



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ  
ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН



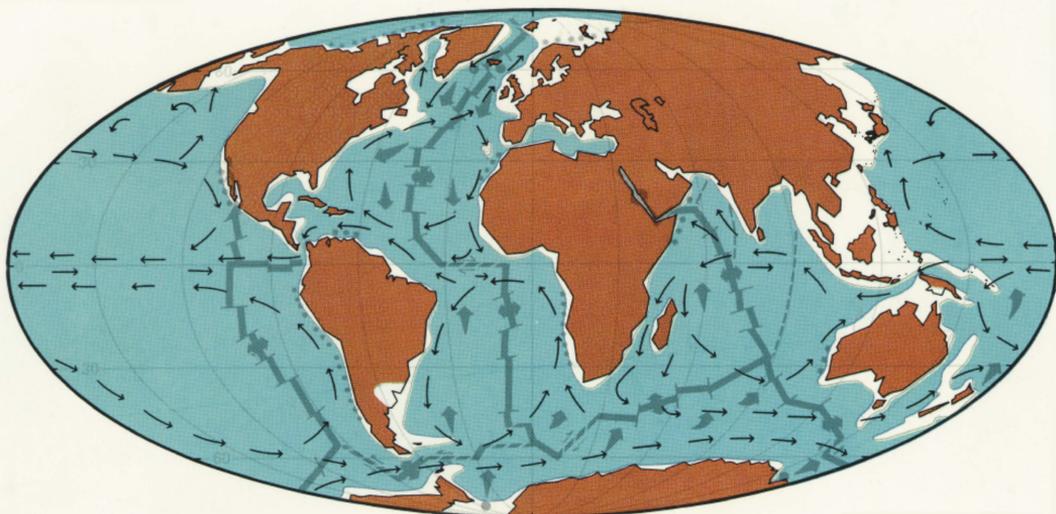
Материалы  
XXII  
Международной  
научной  
конференции  
(Школы)  
по морской  
геологии

Москва

2017

# ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Том IV



*РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН*

**ГЕОЛОГИЯ  
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

**Материалы XXII Международной научной конференции  
(Школы) по морской геологии**

**Москва, 20–24 ноября 2017 г.**

**Том IV**

**GEOLOGY  
OF SEAS AND OCEANS**

**Proceedings of XXII International Conference on Marine  
Geology**

**Moscow, November 20–24, 2017**

**Volume IV**

Москва / Moscow  
ИО РАН / IO RAS  
2017

ББК 26.221  
Г35  
УДК 551.35

**Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. – М.: ИО РАН, 2017. – 403 с.**

В настоящем издании представлены доклады морских геологов, геофизиков, геохимиков и других специалистов на XXII Международной научной конференции (Школе) по морской геологии, опубликованные в пяти томах.

В томе IV рассмотрены проблемы, связанные с биогеохимическими процессами в морях и океанах, геоэкологией, загрязнением Мирового океана, новыми методами четырехмерного мониторинга.

**Материалы опубликованы при поддержке издательства ГЕОС.**

Ответственный редактор  
Академик А.П. Лисицын

Редакторы к.г.-м.н. Н.В. Политова, к.г.-м.н. В.П. Шевченко

**Geology of seas and oceans: Proceedings of XXII International Conference on Marine Geology. Vol. IV. – Moscow: IO RAS, 2017. – 403 pp.**

The reports of marine geologists, geophysicists, geochemists and other specialists of marine science at XXII International Conference on Marine Geology in Moscow are published in five volumes.

Volume IV includes reports devoted to the problems of biogeochemical processes in the seas and oceans, geoecology, pollution of the World Ocean and new methods of four-dimensional monitoring.

Chief Editor  
Academician A.P. Lisitzin  
Editors Dr. N.V. Politova, Dr. V.P. Shevchenko

ISBN 978-5-89118-758-0  
ББК 26.221

© ИО РАН 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### **Биохимические процессы в морях и океане**

<i>Байкова И.Б.</i> Актуальность создания экспозиционного раздела «Лаборатория Жизни» в новой экспозиции «Планета Океан»	19
<i>Батурин Г.Н.</i> Самые тяжелые металлы в океане	24
<i>Батурин Г.Н., Гордеев В.В.</i> Золото и ртуть в Амазонке	27
<i>Гарькуша Д.Н., Фёдоров Ю.А., Тамбиева Н.С.</i> Влияние дреджинга и дампинга на формирование концентраций метана в Таганрогском заливе	31
<i>Глазырин Е.А.</i> К структуре геохимического поля подводного грязевого вулкана	36
<i>Глазырина Н.В.</i> Петрографическая характеристика карбонатных построек метановых сипов неогенового разреза Таманского полуострова	41
<i>Григорьев А.Г., Неевин И.А.</i> Формы нахождения ряда химических элементов в донных осадках различных этапов развития Балтийского моря (на примере Финского залива)	46
<i>Гурский Ю.Н.</i> Основные результаты исследования геохимии иловых вод внутренних морей и процессов в литогидросфере	50
<i>Дамм Е., Виноградова Е.Л., Улиг К.</i> Роль трансарктического дрейфа льда в цикле метана в Северном Ледовитом океане	55
<i>Дарьин А.В., Бабич В.В., Калугин И.А., Rogozin Д.Ю.</i> Корреляция химического состава донных осадков озера Беле (Хакасия) с вариациями солнечной активности на временном интервале последних 400 лет	60
<i>Демина Л.Л., Будько Д.Ф., Соломатина А.С.</i> О применении рентгено-флюоресцентного анализа для литолого-геохимических исследований донных осадков	63
<i>Дубинина Е.О., Коссова С.А., Мирошников А.Ю.</i> Изотопная ( $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta\text{D}$ ) систематика вод в Арктическом секторе России	68
<i>Ершова Е.А., Кособокова К.Н.</i> Пилотные исследования зоопланктона Восточно-Сибирского моря: структура мезопланктонных сообществ на разрезах от шельфа в	73

океан	
<i>Злобин А.А.</i> Биогеохимическая характеристика верхнеюрских микробиальных сообществ Западной Сибири по результатам спектральных и структурных методов исследования	77
<i>Кокрятская Н.М., Титова К.В., Шевченко В.П., Вахрамеева Е.А.</i> Биогеохимия донных осадков озер острова Вайгач	82
<i>Копелевич О.В., Артемьев В.А., Глуховец Д.И., Муравья В.О., Салинг И.В., Вазюля С.В., Шеберстов С.В.</i> Оценка биогеохимических характеристик поверхностного слоя вод Баренцева моря летом 2017 г. по оптическим данным	87
<i>Кособокова К.Н., Даазе М., Хатлбакк М., Сорейде Я.</i> О биологии самцов копепод рода <i>Calanus</i> в арктических водах	92
<i>Коссова С.А., Дубинина Е.О., Мирошников А.Ю.</i> Источники опреснения вод заливов Новой Земли по изотопным данным ( $\delta D$ , $\delta^{18}O$ )	97
<i>Кудрявцева Е.А., Александров С.В.</i> Распределение первичной продукции в российском секторе Гданьского бассейна Балтийского моря	102
<i>Кукина С.Е., Лобус Н.В.</i> Распределение металлов во взвешенном веществе и донных отложениях эстуарной системы река Кай – залив Нячанг (Южно-Китайского море)	107
<i>Лазарева Е.В., Восель Ю.С., Брянская А.В., Таран О.П., Чикунев А.С., Розанов А.С., Пельтек С.Е., Жмодик С.М.</i> Физико-химические особенности поровых растворов донных отложений озера Солёное (Новосибирская обл.)	112
<i>Лейбман М.О., Дворников Ю.А., Хомутов А.В., Бабкин Е.М., Бабкина Е.А., Ваништейн Б.Г., Кизяков А.И., Облогов Г.Е., Семенов П.Б., Стрелецкая И.Д.</i> Водно-химические особенности воды озер и воронок газового выброса, вложенных в морские отложения севера Западной Сибири	117
<i>Леонова Г.А., Мальцев А.Е., Меленевский В.Н., Копотева Т.А., Бобров В.А.</i> Методологические подходы к вопросу выявления источников и генезиса современного и захороненного органического вещества на примере голоценовых разрезов сапропелей малых озер юга	122

Западной Сибири и Прибайкалья	
<i>Маккаев П.Н., Гордеев В.В., Завьялов П.О., Хлебопашев П.В., Коченкова А.И.</i> Гидрохимические исследования устьевой области реки Урал 2016–2017 гг.	127
<i>Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А.</i> Интенсивность процесса бактериальной сульфатредукции в осадках малых озер Сибири	132
<i>Меленевский В.Н., Леонова Г.А., Климин М.А.</i> Особенности диагенеза органического вещества сапропелей и торфов по данным пиролиза	137
<i>Орехова Н.А., Коновалов С.К., Овсяный Е.И., Гуров К.И.</i> Окислительно-восстановительные процессы в бактериальных матах северо-западного побережья Крыма	140
<i>Параскив А.А., Терещенко Н.Н., Проскурнин В.Ю., Сидоров И.Г.</i> Оценка седиментационных потоков плутония в донные отложения в Севастопольской бухте в период до и после аварии на ЧАЭС	144
<i>Пахомова С.В., Якушев Е.В.</i> Моделирование циклов ртути и никеля в морской воде и верхнем слое осадка	149
<i>Петрова В.И., Батова Г.И., Куриева А.В., Литвиненко И.В., Моргунова И.П.</i> Углеродные молекулярные маркеры рассеянного органического вещества триасовых пород северо-восточной части Баренцева моря	154
<i>Погодаева Т.В., Жученко Н.А., Хлыстов О.М., Егоров А.В., Ходжер Т.В.</i> Органическое вещество донных отложений озера Байкал	159
<i>Подгорный К.А.</i> Подход к моделированию влияния биотурбации на обменные процессы вблизи границы раздела между водой и донными отложениями в Вислинском заливе Балтийского моря	163
<i>Поляков Д.М.</i> Особенности накопления химических элементов субколлоидной фракцией донных осадков маргинального фильтра под влиянием повышенного стока р. Раздольная (Амурский залив, Японское море)	168
<i>Проскурнин В.Ю., Терещенко Н.Н., Гулин С.Б., Чужикова-Проскурнина О.Д.</i> Геохронологическая реконструкция как инструмент изучения самоочищения Чёрного моря в отношении плутония	173
<i>Римская-Корсакова М.Н., Дубинин А.В., Розанов А.Г.</i>	178

Поведение Мо и W в процессах осадкообразования в анаэробных условиях в Черном море	
<i>Русанов И.И., Засько Д.Н., Захарова Е.Е., Юсупов С.К.</i>	183
Биогеохимические аспекты продукции и трансформации ВОУ и РОУ в водной толще Черного моря	
<i>Саввичев А.С., Кадников В.В., Кравчишина М.Д., Галкин С.В., Новигатский А.Н., Пименов Н.В., Леин А.Ю., Флинт М.В.</i>	188
Метан как трофическая основа микробного сообщества и источник органического вещества на холодном сипе в море Лаптевых	
<i>Савенко А.В., Савенко В.С.</i>	193
Взаимодействие канкринита с морской водой (по данным экспериментального моделирования)	
<i>Саттарова В.В., Аксентов К.И.</i>	198
Особенности распределения ртути в донных осадках северо-западной Пацифики	
<i>Семенов П.Б., Крылов А.А., Ваништейн Б.Г.</i>	203
Геохимические особенности миграции метана при деградации субаквальной мерзлоты (на примере приямальской части южнокарского шельфа)	
<i>Силкин В.А., Паутова Л.А., Востоков С.В., Часовников В.К.</i>	208
Биогеохимический статус водной массы и его индикаторы	
<i>Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А.</i>	210
Сульфатредукция в донных отложениях озера Белое (Архангельская область)	
<i>Федоров Ю.А., Трубник Р.Г., Гарькуша Д.Н., Морозова М.А.</i>	215
Экспериментальные и натурные исследования участия сульфитредуцирующих кластридий ( <i>Clostridium perfringens</i> ) в образовании метана и сероводорода в водных объектах различной минерализации	
<i>Филатова Т. Б., Алёшина Е.Г., Клещенко А.В.</i>	220
Содержание биогенных элементов в атмосферных осадках (дождевой воде)	
<i>Цыганкова А.Е., Бердников С.В., Швердяев И.В.</i>	223
Изучение особенностей поведения соединений тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd) в устьевой области Дона: математическое моделирование и лабораторные эксперименты	

<i>Часовников В.К., Чжу В.П., Очередник О.А., Петров И.Н.</i>	228
Гидрохимический мониторинг в прибрежной зоне Черного моря в районах с различной степенью антропогенной нагрузки	
<i>Часовников В.К., Чжу В.П., Очередник О.А.</i>	231
Мониторинг техногенного загрязнения вод и донных отложений в прибрежной зоне Черного моря в районе Геленджика	
<i>Nasr S.M., Okbah M.A., El-Gamal S.M.</i>	235
Geochemistry and Mobilization of some Trace Metals in core sediments and interstitial water along the Mediterranean Coast of Egypt	
<i>Pogojeva M., Yakushev E., Ilinskaya A., Braaten H.-F.</i>	241
Experimental study on influence of thawing permafrost on chemical properties of the sea water	
<i>Yakushev E., Ilinskaya A., Protsenko E., Wallhead P., Yakubov S., Pakhomova S.</i>	245
Modeling the influence of a fish farm on water column and sediment biogeochemistry using a 2-dimensional Benthic-Pelagic model	
<i>Yakushev E., Nøst O.A., Bruggeman J., Ghaffari P., Protsenko E.</i>	249
Modeling lake Urmia biogeochemical regime changes in the period of the lake drying	

**Симпозиум им. Н.А. Айбулатова «Геоэкология, загрязнение Мирового океана, новые методы четырехмерного мониторинга»**

<i>Аракелян Ф.О., Зубко Ю.Н., Левченко Д.Г.</i>	255
Особенности создания и эксплуатации систем сейсмической защиты для АЭС	
<i>Белов Н.С., Данченков А.Р.</i>	260
Возможности совместного использования БПЛА и наземного лазерного сканирования для мониторинга береговой зоны	
<i>Бубнова Е.С., Крек А.В., Данченков А.Р., Романь Н.М.</i>	265
Геоэкологические условия вод северного побережья Калининградской области	
<i>Гладыш В.А., Логвина Е.А.</i>	270
Литодинамические процессы в морском судоходном канале (Обская губа)	
<i>Глянцева Ю.С., Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х.</i>	275
Содержание и состав углеводов в донных осадках прибрежной зоны Восточно-Сибирского моря	
<i>Гурский Ю.Н.</i>	280
Исследование антропогенных загрязнений	

системы придонная – иловая вода – осадок в прибрежных и приустьевых зонах	
<i>Доманов М.М., Амбросимов А.К., Доманова Е.Г., Новичкова Е.А., Парфенова Л.М.</i> Структура углеводородного состава битумоидов и распределение естественных радионуклидов в донных осадках на широтном разрезе в Северной Атлантике	285
<i>Ермакова Л.А., Черкашён Г.А.</i> Охрана окружающей среды в ходе разведки и будущей добычи глубоководных полезных ископаемых: правовое регулирование, текущее состояние и проблемы	290
<i>Ермолов А.А., Кизяков А.И.</i> Геоморфологический подход при оценке экологической чувствительности арктических берегов к разливам нефти (на примере морей Карского и Лаптевых)	292
<i>Захаренко В.С.</i> Экологические риски при нефтегазовом освоении арктических шельфов	297
<i>Зыкова Е.Н., Зыков С.Б.</i> Четные изотопы урана в поверхностных водах озера Кудмьозеро	302
<i>Иванов М.В.</i> Ртутометрические исследования о. Русский залива Петра Великого Японского моря	307
<i>Котова Е.И., Виноградова А.А.</i> Роль стран Европы в загрязнении свинцом и кадмием	312
<i>Кропинова Е.Г.</i> Вопросы экологии как одна из ведущих тем экспозиционного комплекса «Планета Океан» в Музее Мирового океана	317
<i>Круглякова Р.П., Курилов П.И., Тереножкин А.М.</i> Многолетние наблюдения за активностью грязевых вулканов Темрюкского залива (Азовское море)	322
<i>Кузнецов А.Н., Заграничный К.А.</i> Результаты десятилетнего мониторинга уровня и состава нефтяного загрязнения береговой зоны Чёрного моря в районе г. Новороссийска	327
<i>Литвиненко И.В., Моргунова И.П., Петрова В.И., Куриева А.В., Батова Г.И., Щербаков В.А.</i> Углеводороды природного и антропогенного происхождения в донных осадках в районе потенциального нефтяного загрязнения (Залив Петра Великого, Японское море)	332
<i>Медведева В.Н.</i> «Лаборатория Воды» Мирового океана	337

<i>Мельник В.Ф.</i> Эпифауна железомарганцевых конкреций, зона разлома Кларирон-Клиппертон, Тихий океан.	342
<i>Мельник Ф.В.</i> Фоновая характеристика мегафауны гайота Паллада, Тихий океан	347
<i>Онегина В.Д., Немировская И.А.</i> Загрязненность нефтяными углеводородами Феодосийского залива Черного моря	352
<i>Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю., Локтев А.С., Терехина Я.Е., Росляков А.Г., Миронюк С.Г., Щербаков В.А.</i> Геологические опасные процессы – один из основных элементов современных морских геологических исследований на шельфе	357
<i>Рыбалко А.Е., Щербаков В.А., Иванова В.В., Кель Д.Л., Сличенков В.И., Локтев А.С., Токарев М.Ю., Шабалин Н.В.</i> Новые данные о строении четвертичных отложений и проявлении геологических опасных процессов в заливе Петра Великого по результатам мониторинга геологической среды	362
<i>Савицкий В.А., Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Зимовец А.А., Доценко И.В.</i> Ртуть в донных осадках устьевых областей рек бассейна Белого моря	367
<i>Симонян Г.С., Пирумян Э.Г., Симонян А.Г., Пирумян Г.П.</i> Продукты окисления аминов в качестве термостабилизаторов при деградации нефти в гидросфере	372
<i>Синицына Н.Н.</i> Оседание смеси частиц с различной плотностью. Сообщение 1.	376
<i>Синицына Н.Н.</i> Оседание смеси частиц с различной плотностью. Сообщение 2.	381
<i>Трубкин И.П., Немировская И.А.</i> Пространственная изменчивость состава донных осадков в районе дампинга (модельные расчеты на примере полигона в заливе Находка)	386
<i>Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Ярославцев В.М., Доценко И.В.</i> Уровни и распределение удельной активности тория и урана в донных осадках Азовского моря и водных объектах его бассейна	391
<i>Филатов А.А.</i> Мониторинг водных объектов и их водоохраных зон	396
<i>Холмянский М.А., Анохин В.М., Заносов О.Ю.</i>	399

# Классификация техногенных фаций дна морских акваторий

## CONTENTS

### **Biogeochemical processes in the seas and oceans**

<i>Baykova I.B.</i> Relevance of Life Laboratory Exposition as a Part of a New Museum Complex The Planet Ocean	19
<i>Baturin G.N.</i> The most heavy metals in the Ocean	24
<i>Baturin G.N., Gordeev V.V.</i> Gold and mercury in Amazon River	27
<i>Gar'kusha D.N., Fedorov Yu.A., Tambieva N.S.</i> The impact of dredging and dumping on the formation of methane concentrations in the Taganrog Bay	31
<i>Glazyrin E.A.</i> To the structure of the geochemical field of an underwater mud volcano	36
<i>Glazyrina N.V.</i> Petrographic characteristics of carbonate structures of methane syphes of the Neogene section of the Taman Peninsula	41
<i>Grigoriev A.G., Neevin I.A.</i> Forms of heavy metals occurrence in the bottom sediments of the eastern Gulf of Finland	46
<i>Gursky Yu.N.</i> The main results of study of Geochemistry interstitial waters of inland seas and processes in lithohydrosphere	50
<i>Damm E., Vinogradova E.L., Uhlig K.</i> Impacts of the Transpolar sea ice drift to methane pathways in the Arctic Ocean	55
<i>Darin A.V., Babich V.V., Kalugin I.A., Rogozin D.Y.</i> Correlation of the chemical composition of Lake Bele (Khakassia) bottom sediments with variations of solar activity over a time interval of the last 400 years	60
<i>Demina L.L., Budko D.F., Solomatina A.S.</i> X-ray fluorescence analysis for lithological geochemical studies of bottom sediments	63
<i>Dubinina E.O., Kossova S.A., Miroshnikov A.Yu.</i> Water isotope ( $\delta^{18}O$ , $\delta D$ ) systematics at the Russian Arctic Zone	68
<i>Ershova E.A., Kosobokova K.N.</i> Cross-shelf distribution and structure of mesozooplankton communities in the East-Siberian Sea – a pilot study	73
<i>Zlobin A.A.</i> Biogeochemical characteristics of Upper Jurassic microbial communities in Western Siberia from the results of spectral and structural methods of investigation	77

<i>Kokryatskaya N.M., Titova K.V., Shevchenko V.P., Vakhrameeva E.A.</i> Biogeochemistry of the bottom sediments of lakes on the Vaigach Island	82
<i>Kopelevich O.V., Artemiev V.A., Glukhovets D.I., Muravya V.O., Sahling I.V., Vazyulya S.V., Sheberstov S.V.</i> Assessment of biogeochemical characteristics of the surface layer in the Barents Sea from optical data in summer 2017	87
<i>Kosobokova K.N., Daase M., Hatlebakk M., Søreide J.E.</i> On the biology of Calanus males in Arctic waters	92
<i>Kossova S.A., Dubinins E.O., Miroshnikov A.U.</i> Fresh water sources of Novaya Zemlya bays by isotope data ( $\delta D$ , $\delta^{18}O$ )	97
<i>Kudryavtzeva E.A., Aleksandrov S.V.</i> Spatial distribution of primary production in the Gdansk Basin of the Baltic Sea	102
<i>Koukina S.E., Lobus N.V.</i> Metal distribution in suspended particulate matter and sediments of the Khai River – Nha Trang Bay estuarine system (South China Sea)	107
<i>Lazareva E.V., Vosel' Y.S., Bryanskaya A.V., Taran O.P., Chikunov A.S., Rozanov A.S., Peltek S.E., Zhmodik S.M.</i> Physico-chemical peculiarity of bottom sediments pore solutions of Lake Solenoye (Novosibirsk region)	112
<i>Leibman M.O., Dvornikov Yu.A., Khomutov A.V., Babkin E.M., Babkina E.A., Vanshtein B.G., Kizyakov A.I., Oblogov G.E., Semenov P.B., Streletskaya I.D.</i> Hydro-chemical features of water in lakes and gas-emission craters embedded in the marine deposits of West-Siberian north	117
<i>Leonova G.A., Maltsev A.E., Melenevskii V.N., Kopoteva T.A., Bobrov V.A.</i> Methodological approaches to the problem of identifying sources of modern and buried organic matter by the example of Holocene incisions of sapropels of small lakes in the south of Western Siberia and the Baikal region	122
<i>Makkaveev P.N., Gordeev V.V., Zavalov P.O., Khlebopashev P.V., Kochenkova A.I.</i> Hydrochemistry investigation in the estuary of the Ural river 2016–2017	127
<i>Maltsev A.E., Leonova G.A., Bobrov V.A.</i> Intensity of the process of bacterial sulfate reduction in the sediments of Siberian lakes	132
<i>Melenevsky V.N., Leonova G.A., Klimin M.A.</i> Features of diagenesis of organic matter of sapropels and peats from the data of pyrolysis	137

<i>Orekhova N.A., Konovalov S.K., Ovsyany Eu.I., Gurov K.I.</i>	140
Red-Ox processes in microbial mats of the northwestern Crimea coast	
<i>Paraskiv A.A., Tereshchenko N.N., Proskurnin V.Y., Sidorov I.G.</i>	144
Assessment of plutonium sedimentation fluxes into bottom sediments in the Sevastopol Bay during period before and after the Chernobyl accident	
<i>Pakhomova S.V., Yakushev E.V.</i>	149
Modeling of mercury and nickel cycles in the seawater and upper sediment layer	
<i>Petrova V.I., Batova G. I., Kursheva A.V., Litvinenko I.V., Morgunova I.P.</i>	154
Hydrocarbon molecular markers of dispersed organic matter of Triassic rocks in the northeastern part of the Barents Sea	
<i>Pogodaeva T.V., Zhuchenko N.A., Khlystov O.M., Egorov A.V., Khodzher T.V.</i>	159
Organic matter of bottom sediments of Lake Baikal	
<i>Podgornyj K.A.</i>	163
Approach to modelling of the influence of the bioturbation on exchange processes near the interface between water and bottom sediments in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea	
<i>Polyakov D.M.</i>	168
Properties accumulation chemical elements subcolloidal fraction sediments marginal filter the influence of the increased flow on Razdol'naya River (Amursky Bay, Sea of Japan)	
<i>Proskurnin V.Yu., Tereshchenko N.N., Gulin S.B., Chuzhikova-Proskurnina O.D.</i>	173
Geochronological reconstruction as a tool for the Black Sea self-purification studying against plutonium	
<i>Rimskaya-Korsakova M.N., Dubinin A.V., Rozanov A.G.</i>	178
Mo and W behavior during anaerobic sedimentation in the Black Sea	
<i>Rusanov I.I., Zasko D.N., Zakharova E.E., Yusupov S.K.</i>	183
Biogeochemical aspects of production and transformation of POC and DOC in the water column of the Black Sea	
<i>Savvichev A.S., Kadnikov V.V., Kravchishina M.D., Galkin S.V., Novigatsky A.N., Pimenov N.V., Lein A.Yu., Flint M.V.</i>	188
Methane as an Organic Matter Source and the Trophic Basis of the Laptev Sea Cold Seep Microbial Community	
<i>Savenko A.V., Savenko V.S.</i>	193
Interaction between cancrinite	

and seawater (by the data of experimental modeling)	
<i>Sattarova V.V., Aksentov K.I.</i> Features of mercury distributions in sediments of the North Pacific Ocean	198
<i>Semenov P.B., Krylov A.A., Vanshtein B.G.</i> Geochemical features of methane migration due to submarine permafrost degradation (on the example of the Yamal shelf of the South Kara shelf)	203
<i>Silkin V.A., Pautova L.A., Vostokov S.V., Chasovnikov V.K.</i> Biogeochemical status of the water mass and its indicators	208
<i>Titova X.V., Kokryatskaya N.M., Zhibareva T.A.</i> Sulphate reduction in bottom sediments of Lake Beloe (Arkhangelsk Region)	210
<i>Fedorov Yu.A., Trubnik R.G., Gar'kusha D.N., Morozova M.A.</i> Experimental and field research of the participation of sulfite-reducing clostridia ( <i>Clostridium perfringens</i> ) in the formation of methane and hydrogen sulphide in water bodies of various salinity	215
<i>Filatova T.B., Aleshina E.G., Kleshnikov A.V.</i> The content of nutrients in atmospheric precipitation (rain water)	220
<i>Tsygankova A.E., Berdnikov S.V., Sheverdyayev I.V.</i> The study of the behavior of heavy metals (Cu, Pb, Cd) in estuarine region of the Don: mathematical modeling and laboratory experiments	223
<i>Chasovnikov V.K., Chjoo V.P., Ocherednik O.A., Petrov I.N.</i> Hydrochemical monitoring in the coastal zone of the Black Sea with different levels of anthropogenic load	228
<i>Chasovnikov V.K., Chjoo V.P., Ocherednik O.A.</i> Monitoring of technogenic pollution of water and bottom sediments in the coastal zone of the Black Sea in the Gelendzhik region	231
<i>Nasr S.M., Okbah M.A., El-Gamal S.M.</i> Geochemistry and Mobilization of some Trace Metals in core sediments and interstitial water along the Mediterranean Coast of Egypt	235
<i>Pogojeva M., Yakushev E., Ilinskaya A., Braaten H.-F.</i> Experimental study on influence of thawing permafrost on chemical properties of the sea water	241
<i>Yakushev E., Ilinskaya A., Protsenko E., Wallhead P., Yakubov S., Pakhomova S.</i> Modeling the influence of a fish farm on water column and sediment biogeochemistry using a 2-dimensional Benthic-Pelagic model	245

*Yakushev E., Nøst O.A., Bruggeman J., Ghaffari P., Protsenko E.* Modeling lake Urmia biogeochemical regime changes in the period of the lake drying 249

**N.A. Aibulatov Memorial Symposium “Geoecology, pollution of the World Ocean, new methods of four-dimensional monitoring”**

*Arakelyan F.O., Zubko U.N., Levchenko D.G.* Creation and operation experience Systems of seismic protection for the Atomic power stations 255

*Belov N., Danchenkov A.* The possibilities of using UAV and terrestrial laser scanning for coastal monitoring 260

*Bubnova E.S., Krek A.V., Danchenkov A.R., Roman N.M.* Geoecological conditions of the water near the northern coast of the Kaliningrad region 265

*Gladyshev V.A., Logvina E.A.* Lithodynamic processes in the marine navigable channel (the Gulf of Ob) 270

*Glyaznetsova Yu.S., Zueva I.N., Chalaya O.N., Lifshits S.H.* The content and composition of hydrocarbons in bottom sediments of the coastal zone of the East Siberian Sea 275

*Gursky Yu.N.* Study of anthropogenic pollution of system near-bottom and interstitial water – sediment in coastal and estuarine areas 280

*Domanov M.M., Ambrosimov A.K., Domanova E.G., Novichkova E.A., Parfenova L.M.* Structure of hydrocarbonic composition of bitumoid and distribution of natural radionuclides in the bottom sediments on the latitudinal section in the Northern Atlantic 285

*Ermakova L.A., Cherkashov G.A.* Environmental protection during exploration and future exploitation of deep-sea minerals: legal regulation, current state and problems 290

*Ermolov A.A., Kizyakov A.I.* Geomorphological approach for assessing the environmental sensitivity of Arctic coasts to oil spills (on the example of the Kara and Laptev Seas) 292

*Zakharenko V.S.* Environmental risks in the oil-gas emergency development of Arctic shelf 297

*Zykova E.N., Zikov S.B.* The even-numbered uranium isotopes in surface waters of Lake Kudmozero 302

*Ivanov M.V.* Mercury in the air, water and bottom sediments 307

of the Russian Island Japan Sea

- Kotova E.I., Vinogradova A.A.* The role of European countries in lead and cadmium pollution of the Northern European Russia 312
- Kropinova E.G.* Ecology issues as one of the main topics of the exposition complex "Planet Ocean" in the Museum of the World Ocean 317
- Kruglyakova R., Kuriliv P., Terenoshkin A.* Long-term observations of the activity of the mud volcanoes of the Temryuk Sea (Azov Sea) 322
- Kuznetsov A.N., Zagranichny K.A.* Results of Ten-Year Monitoring of the Oil Pollution Level and Composition in the Black Sea Coastal Zone in the Area of the City of Novorossiysk 327
- Litvinenko I.V., Morgunova I.P., Petrova V.I., Kursheva A.V., Batova G.I., Scherbakov V.A.* Hydrocarbons of natural and anthropogenic origin in bottom sediments in the area of potential oil pollution (Peter the Great Bay, Sea of Japan) 332
- Medvedeva V.N.* «Water Laboratory» of the World Ocean 337
- Melnik V.Ph.* Manganese nodule epifauna, Clarion-Clipperton Fracture Zone, Pacific Ocean 342
- Melnik Ph.V.* Background characteristic of megafauna of the Pallada seamount, Pacific Ocean 347
- Onegina V.D., Nemirovskaya I.A.* Pollution by oil hydrocarbons of the Feodosiya Bay of the Black Sea 352
- Rybalko A., Tokarev M., Loktev A., Terekhina Ya., Roslyakov A., Mironyuk S., Cherbakov V.* Geological hazards processes – one of the basic elements of modern marine geological research on the shelf 357
- Rybalko A., Shcherbakov V., Ivanova V., Kell.D., Slichenkov V., Loktev A., Tokarev M., Schabalin N.* New data on the geology of Quaternary sediments and the geological hazardous processes in the Peter the Great Gulf based on the results of the geoenvironmental monitoring 362
- Savitskiy V., Fedorov Yu., Ovsepyan A., Zimovets A., Dotsenko I.* Mercury content in bottom sediments of the river estuarine areas of the White Sea basin 367
- Simonyan G.S., Pirumyan E.G., Simonyan A.G., Pirumyan G.P.* Oxidation products of amines as thermostabilizers for oil 372

degradation in the hydrosphere	
<i>Sinitsina N.N.</i> Sedimentation of differential particle mixture. Part 1.	376
<i>Sinitsina N.N.</i> Sedimentation of differential particle mixture. Part 2.	381
<i>Trubkin I.P., Nemirovskaya I.A.</i> Spatial variability of composition of bottom sediments in the dumping area (model calculations based on a polygon in the Gulf of Nakhodka)	386
<i>Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Yaroslavtsev V.M., Dotsenko I.V.</i> The levels and distribution of thorium's and uranium's specific activities in the bottom sediments of the Sea of Azov and waterbodies of its basin	391
<i>Filatov A.A.</i> Monitoring of water bodies and their water protection zones	396
<i>Kholmianskii M.A., Anokhin V.M., Zanosov O.Y.</i> Classification of technogenic facies of the bottom of marine areas	399

***БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ  
ПРОЦЕССЫ В МОРЯХ И  
ОКЕАНАХ***

***BIOGEOCHEMICAL PROCESSES  
IN THE SEAS AND OCEANS***

**Байкова И.Б.**

(ФГБУК Музей Мирового океана, Калининград, e-mail: [irina.baykova@gmail.com](mailto:irina.baykova@gmail.com))

## **Актуальность создания экспозиционного раздела «Лаборатория Жизни» в новой экспозиции «Планета Океан»**

**Baykova I.B.**

(The Federal State Government-financed Institution for Culture “The Museum of the World Ocean”, Kaliningrad)

## **Relevance of Life Laboratory Exposition as a Part of a New Museum Complex The Planet Ocean**

Ключевые слова: Мировой океан, естественноисторический музей, экспозиция, биология океана

Тематический раздел «Лаборатория Жизни» посвящен биологии океана, науке, изучающей биологические процессы и явления в Мировом океане. Актуальность данного тематического раздела, его задачи и предлагаемые способы реализации обсуждаются в статье

Процесс познания и освоения Мирового океана в настоящее время очень активен. Все более доступными становятся отдых на островах, участие в морских путешествиях, возможность заниматься дайвингом. Неуклонно растет и интерес к природным ресурсам Мирового океана, но при этом заметно отставание в вопросах экологической культуры, в понимании сущности основных природных процессов и явлений.

На фоне потребительского подхода и глобального ухудшения экологической ситуации, связанного с антропогенным воздействием, в обществе возрастает понимание необходимости бережного отношения к природному наследию, важности изучения и сохранения биоразнообразия, понимания механизмов функционирования экосистем. Неслучайно во всем мире естественнонаучные музеи, выступающие как центры экологической культуры, предоставляющие актуальную научную информацию в доступной интересной форме, переживают новый расцвет.

Музей Мирового океана взял на себя ответственную роль – создать новую современную экспозицию, поместив в музейное пространство Океан как глобальную экосистему [1], объединить и представить в комплексе различные естественнонаучные направления, создать возможность понимания природных процессов на основе формирования у посетителя метапредметных знаний.

Целью создания новой экспозиции «Планета Океан» является комплексное представление Мирового океана на основе знаний о единстве физических, химических, биологических и геологических процессов; демонстрация научных основ рационального использования морских

ресурсов и обеспечения экологической безопасности в интересах устойчивого развития человечества. Тематический раздел «Лаборатория Жизни» в рамках создаваемого музейного комплекса должен отразить различные аспекты морской биологии, показать ее связь с другими океанологическими науками.

Основные задачи тематического раздела «Лаборатория Жизни»

- дать представление об основных современных научных теориях происхождения жизни, о роли океана в возникновении и эволюции органического мира на Земле

- рассказать о биологической эволюции в Мировом океане, основных периодах и представителях, показать взаимосвязь эволюции человека и эволюции органического мира

- показать особенности адаптаций к жизни в океане, основные экологические группы и закономерности функционирования морских экосистем

- дать представление о влиянии биоты на процессы планетарного масштаба, формирование газового состава атмосферы

- осветить вопросы взаимоотношений человека и океана, рационального природопользования,

Для создания представления о явлениях и процессах в морской биологии необходимо задействовать мультимедийные вспомогательные средства, но центром музейной экспозиции останется музейный предмет. По естественнонаучным направлениям музей располагает хорошими коллекциями. Самой крупной из естественнонаучных коллекций является палеонтологическая коллекция – 9727 предметов. В ней довольно широко представлены образцы, характеризующие различные этапы развития органического мира [2].

Коллекция биологических предметов насчитывает 1636 единиц. Из них 1035 единиц относится к научно-вспомогательному фонду, 601 единица – к основному. Коллекция биологических предметов начала формироваться с момента создания музея как часть естественнонаучной коллекции, в ее основу лег тематический принцип комплектования. При создании экспозиционных комплексов на НИС «Витязь» подбирались предметы, помогающие воссоздать атмосферу лабораторий.

В настоящее время используется комплексный подход, позволяющий комплектовать как типичные предметы, систематизированные по таксономическим категориям, так и предметы по темам, которые могут способствовать всестороннему представлению биоты Мирового океана[3].

Каждый предмет в экспозиции можно будет рассматривать с нескольких позиций: как природного объекта, как исторического объекта (история появления предмета, история изучения процесса), культурного объекта (эстетическое и гуманитарное значение предмета и включение знаний о нем в общекультурный контекст).

В каждом блоке тематического раздела можно будет выделить «главный предмет», задающий тон и формирующий образ экспозиции. В тематической структуре раздела «Лаборатория Жизни» выделено 3 темы: «Микрожизнь», «Древняя жизнь», «Современная жизнь».

Тема «Микрожизнь» посвящена живым организмам, размер которых исчисляется микронами. К этой категории относятся представители разных групп: бактерии, археи, одноклеточные эукариоты. Особенности строения клеток различных групп организмов обуславливают и различность процессов, происходящих в них и вызываемых ими. А результатом процессов, происходивших в микробных сообществах, стал современный облик планеты Земля. Микробиота изменила атмосферу и климат, формируя для себя условия своего существования. Три четверти всего времени существования на Земле жизнь как таковая была представлена исключительно микроорганизмами, пока не произошел качественный скачок эволюции, приведший к появлению высокоорганизованных организмов, включая человека.

Тема «Микрожизнь» расскажет о строении клетки, как элементарной структурной единицы живого, покажет особенности прокариот и эукариот, объяснит различные способы преобразования энергии (хемосинтез, бескислородный фотосинтез, кислородный фотосинтез) и расскажет о поисках ответа на главный вопрос: как появилась жизнь

Тема «Древняя Жизнь» будет посвящена вопросам развития жизни в океане в прошедшие геологические эпохи. Огромное разнообразие современных обитателей – это лишь малая доля всех видов, которые в нем обитали. Палеонтологическая летопись имеет много пробелов, но и по неполной летописи мы можем судить о том, какой была жизнь океана в прошедшие эпохи. К счастью, многие морские организмы имели твердые части: раковины, панцири, кости, зубы и т.п. Каждый геохронологический период интересен присущими только ему ископаемыми остатками организмов. В экспозиции будут показаны основные систематические группы беспозвоночных и позвоночных животных, связанные с морскими местообитаниями.

Большое внимание будет уделено палеореконструкции вымерших морских организмов, для которой будет использован иллюстративный материал и средства мультимедиа.

Тема «Современная жизнь» покажет океан как живую экосистему планетарного масштаба, его сложную биологическую структуру, биоразнообразие, характер и принципиальные особенности функционирования экосистем. Большое внимание будет уделено роли биоты океана в гомеостазе планетарного климата и сохранении жизни на Земле.

Говоря о современной биоте океаносферы, будет целесообразно рассказать о предковых формах, провести параллели, поскольку

современное разнообразие видов и сообществ живых организмов - результат длительного эволюционного процесса.

Поскольку Музей Мирового океана еще и музей технический, в этой теме будет интересно рассмотреть принципы морской бионики. Бионика - наука, представляющая симбиоз техники и биологии. Животные, заселяющие гидросферу, выработали эффективные механизмы перемещения под водой, подводной связи, навигации, ориентации в водном пространстве, маскировки, строительства, предсказания погоды и другие. В рамках комплекса должны быть представлены: технические заимствования у морских животных, применяемые в различных областях, использование бионических принципов в технике, предназначенной для использования в водной среде.

Важным моментом в экспозиции должно стать «присутствие человека» не только в роли «продукта эволюции», но и как фактора, влияющего на процессы, происходящие в Мировом океане. Аспекты взаимоотношений человека и океана, вопросы сохранения биоразнообразия, охраны окружающей среды, рационального природопользования – будут главным лейтмотивом всех экспозиционных комплексов.

Окончание строительства нового корпуса «Планета Океан» ожидается в 2018 году. За 5-летний период ожидания неоднократно вносились изменения в тематическую структуру экспозиции в соответствии с изменением музейных технологий, появлением новых интересных идей и научных фактов. Предлагаемый вариант реализации также оставляет широкие возможности для внесения дополнений, поправок, для сотрудничества с учеными. Но неизменной остается сверхзадача, поставленная музеем: повысить уровень экологической культуры в целом, заставить посетителя задуматься о своей роли на этой планете и об ответственности перед будущими поколениями за то, в каком мире им придется жить.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивкова С.Г., Байкова И.Б., Зубина Л.В., Стрюк В.Л. Как вместить Мировой океан в музейное пространство? // Материалы 2-ой междунар. конф. «Актуальные вопросы деятельности академических естественнонаучных музеев». Вестник ИРГСХА. 2013. Вып. 57. Ч. II. С. 143–149.
2. Морское собрание. Каталог лучших музейных предметов Музея Мирового океана / ред. Л.В. Зубина, И.Н. Бойкина. Калининград: ФГБУК Музей Мирового океана, 2015. 200 с.
3. Байкова И.Б., Латышева О.Ю., Зубина Л.В. Морская биология в Музее Мирового океана // Морские биологические исследования: достижения и перспективы. Сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 145-летию

Севастопольской биологической станции (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.) / А.В. Гаевская (ред.). Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 1. С. 13–16.

Thematic section “Laboratory of Life” is dedicated to biology of ocean creatures, to the science that studies biological processes and life phenomenon in World Ocean. Here we discuss the originality and topicality of this thematic section, its main tasks and also how to achieve our aims.

**Батурин Г.Н.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: galibatur@list.ru)

## **Самые тяжелые металлы в океане**

**Baturin G.N.**

(Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow)

## **The most heavy metals in the Ocean**

Ключевые слова: самые тяжелые металлы в океане – золото, ртуть, висмут, свинец и теллур, морская вода, осадки, железомарганцевые конкреции и корки

Исследовано содержание и распределение самых тяжелых металлов (Au, Hg, Bi, Pb, Tl) в океане, включая морскую воду, осадки, железомарганцевые конкреции и железомарганцевые корки. Установлены связи между золотом - ртутью и висмутом – свинцом и отмечены особенности поведения тяжелых металлов в океане.

Внимание к редким элементам в океане появилось у морских геологов в связи с обобщающей работой А.П. Виноградова [1], который систематизировал имевшиеся сведения о распределении основных и некоторых редких элементов в океане. В течение последующих 50 лет объем знаний в этой области вырос, и были получены определения концентраций большинства элементов, включая редкие [2–11], но пять самых тяжелых металлов с атомным весом более 200, занимающие последнюю строку в таблице Менделеева (Au, Hg, Tl, Pb и Bi), представляют особый интерес и нуждаются в дополнительном исследовании.

Существенные данные о содержании этих элементов в осадочных породах и в морских осадках приводились ранее в работах геохимиков и литологов [1–11] при наличии различий в оценках средних содержаний элементов. В данном случае использованы преимущественно наши результаты и данные Ли [6] с некоторыми дополнениями на основе результатов, полученных автором при обработке материалов, собранных с подводных Срединных Тихоокеанских гор.

Анализ материал выполнен методом ИСП–МС в Аналитическом Испытательном Центре ИПТМ РАН. Результаты анализа проведены в таблице.

Общей чертой всех пяти тяжелых металлов является то, что они относятся к числу наиболее редких элементов, причем все они, кроме золота, сопряжены в литосфере с сульфидами.

Как видно из таблицы, минимальное содержание рассматриваемых элементов установлено для висмута в морской воде, ртути – в глинистых и в пелагических осадках, а также в железомарганцевых конкрециях, а для золота – в железомарганцевых корках.

Таблица. Среднее содержание тяжелых и сопутствующих цветных металлов в океанской среде.

Объект	Содержание элементов, г/т (мор. вода – мг/т)								
	Au*	Hg	Pb	Bi	Tl	Cu	Ni	Co	Zn
Морская вода	0.03	0.42	2.7	0.004	14	210	530	1.2	320
Глин. осадки.	0.5	0.18	20	0.43	0.7	45	50	90	67
Пелаг. осадки.	2.1	0.1	80	0.53	1.8	250	230	90	170
Fe-Mg конкр.	2.0	0.15	900	7	150	4500	6600	2700	1200
Fe-Mg корки	250	20	1400	29	250	1100	3900	8400	540
Осадок/вода	70 т	250	30 т.	13 т.	130	1200	460	75 т.	540
ЖМК/осадок	0.95	1.5	11	13	83	18	286	30	7
Корки/конкреции	125	133	1.5	4	1.7	0.24	0.6	3	0.45

Примечание: золото в твердой фазе – в мг/т.

Максимальное содержание установлено для таллия в морской воде и для свинца в осадках и в железомарганцевых образованиях.

В целом оказывается, что по всем перечисленным соотношениям наиболее близки с одной стороны золото и ртуть и с другой стороны свинец и висмут, что отражает сходство их распределения в природной среде.

Что касается цветных металлов, то морская вода и пелагические осадки обеднены кобальтом, а морская вода, пелагические конкреции и железомарганцевые корки относительно обогащены никелем, медью и кобальтом.

Для пяти основных рассматриваемых редких металлов характерны их соотношения друг с другом и с осадочной геохимией в целом.

Данные по общей геологии и минералогии показывают, что в континентальных условиях пять рассматриваемых редких микроэлементов тяготеют к сульфидам, о чем свидетельствует наличие золото-теллурических руд и распространенность сульфидов свинца и висмута в сульфидных месторождениях [12].

В данном случае рассматривается окислительная морская среда, характерная для глубоководного железомарганцевого рудного процесса, не сопоставимая с восстановительной обстановкой.

Тем не менее, окислительная среда не препятствует рудному процессу, в который вовлечены те же пять рассмотренных элементов, участвующих в пелагическом рудном процессе.

Приведенные в таблице данные свидетельствуют, что обогащение железомарганцевых корок происходит за счет металлов, растворенных в морской воде.

Основной результат приведенного сопоставления содержания и форм микроэлементов в океане заключается в том, что главным источником обогащения глубоководных железомарганцевых корок является морская вода, из которой наиболее активно извлекаются золото, ртуть, висмут и

кобальт и менее активно свинец и таллий. На последнем месте остаются цветные металлы – медь, никель и цинк, которые превалируют в железомарганцевых конкрециях, питаемых преимущественно поровыми водами из подстилающих осадков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М. Наука. 1967. 157 с.
2. Железомарганцевые конкреции Тихого океана / Безруков П.Л. (ред.). М. Наука, 1976. 302 с.
3. Sorem R.K., Fewkes R.H. Manganese nodules and methods of investigation. N.Y.: Plenum Press, 1979. 723 p.
4. Батурин Г.Н. Геохимия железомарганцевых конкреций океана. М.: Наука, 1986. 328 с.
5. Manheim F.T., Lane-Bostwick C.M. Chemical composition of ferromanganese crusts in the world ocean; a Review and comprehensive data-base. Woods-Hole, Mass.:USGS,1989. 200 p.
6. Li Y.H. Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis // *Geochim. et cosmochim.* 1991. V. 55. P. 3223–3240.
7. Батурин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 304 с.
8. Гайоты Западной Пацифики / Батурин Г.Н.(ред.). М.: Наука, 1995. 380 с.
9. Кобальтбогатые руды Мирового океана / Андреев С.И. (ред.). СПб: ВНИИОкеанГеология, 2002. 174 с.
10. Аникеева Л.И., Казакова В.Е. Геохимия железомарганцевых корок // Там же. С. 55–91.
11. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУГП ГНЦ Зарубежгеология, 2005. 231 с.
12. Glossary of Geology / Gary M., Mc Affi R., Wolf C.L. (eds.). Washington: D.C. American Geologic Institute, 1972. V. 1. 590 p.

The study of five most heavy metals (namely Au, Hg, Te, Pb, and Bi) begun in early past century owing to efforts of some amateurs of oceanic and marine science, but the data about these heavy metals appeared much later and are rather rare which moved this study based on published and original data recovered by study of oceanic samples collection which showed the close Au-Hg and Pb-Bi relations in all oceanic phases.

**Батурин Г.Н., Гордеев В.В.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: galibatur@list.ru)

**Золото и ртуть в Амазонке**

**Baturin G.N., Gordeev V.V.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Gold and mercury in Amazon River**

Ключевые слова: золото, ртуть, реки мира, речная взвесь, Амазонка, осадочные породы, соотношение золота и ртути, экология, ртутное отравление, соотношение золота и ртути в речных взвесах.

Добыча золота в бассейне Амазонки привлекла до миллиона рудокопов, извлекающих металл из речных осадков амальгамным методом, что повышает содержание во взвеси ртути и золота в 4–5 раз относительно среднемирового для рек уровня. По нашим данным, часть взвесей обогащена также цветными металлами, что может быть связано с наличием рудной минерализации на площади водосбора.

Амазонка как самая крупная и полноводная река в мире давно исследуется географами, геохимиками и другими специалистами разных стран в течение нескольких десятилетий [1–7]. В конце прошлого века в ее русловых отложениях было обнаружено золото, что вызывало к реке повышенный интерес. Но интерес океанологов к этой реке связан прежде всего с оценкой ее роли в поставке осадочного материала в Атлантический океан, для чего в 1983 г. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН направил в Амазонку свое исследовательское судно «Профессор Штокман» под руководством В.В. Гордеева [4]. В данной работе используются результаты анализа этих материалов, включая для сопоставления с имеющимися данными содержание золота и ртути в реках [8, 9].

Добыча золота в Бразилии началась много раньше прихода конкистадоров. После колонизации страны португальцы расширили добычу, и бразильское золото в течение многих лет превалировало на мировом рынке драгметаллов в связи с разработкой коренных месторождений. Однако затем серьезными конкурентами стали Калифорния, Австралия, Аляска и Африка. Относительно недавно речное золото поддержало бразильский ресурс: добыча этого металла оказалась доступна всем, кто готов работать лопатой в надежде разбогатеть, и к берегам Амазонки хлынула масса рудокопов, добывающих металл архаичным амальгамным методом, описанным почти две тысячи лет назад римским историком Плинием Старшим: речной песок насыпают в металлическую емкость, заливают ртутью и размешивают, затем ртуть с растворенным золотом сливают в другую емкость и выпаривают на костре, после чего на дне остаются частицы золота. При этом испаряющаяся ртуть рассеивается в окружающей среде – воздухе, воде, почве и в биосе, который

весьма чувствителен к парам токсичной ртути, вызывающей у человека разрушительную болезнь «минамата» (по названию японской префектуры, где люди отравились ртутными выбросами химического комбината).

Другой аспект этой ситуации – каким образом добыча золота со дна реки влияет на его содержание, равно как и ртути, в речной системе, а также количество металлов, поступающих в океан с речным стоком.

Для рассмотрения этого вопроса использованы данные о среднем содержании золота и ртути в осадочных породах [10] и в речных взвесах [11], а также результаты анализа проб взвесей Амазонки, собранных в экспедиции Института океанологии РАН (таблица).

Таблица. Среднее содержание металлов в речных взвесах и в глинах

Элемент	Содержание, г/т			
	Амаз., от – до	Амаз., среднее	Реки мира	Глин. породы
Ag	0.04–0.7	0.27	0.3	0.2
Bi	1.8–3.4	2.2	1.7	2.8
Cd	0.29–0.6	0.44	0.3	0.38
Co	13–18	15.3	19	19
Cu	28–112	<b>70</b>	45	36
Li	30–96	<b>72</b>	35	46
Mo	0.76–1.7	1.2	1.8	1.4
Ni	33–66	49	50	47
Pb	29–638	<b>112</b>	25	14
Sn	37–332	<b>55</b>	2.9	3.5
W	16–2.8	2.2	1.4	2.6
Zn	120–960	<b>540</b>	130	52
Au			0.05	0.065
Hg	0.2–2.44	<b>0.42</b>	0.104	0.089

Согласно этим результатам и данным о речном стоке мира [11], среднее содержание золота, ртути и отношение Au/Hg во взвеси рек и в глинах распределяется следующим образом:

	Au (г/т)	Hg (г/т)	Au/Hg
Глин. породы	0.0065	0.089	0.073
Взвеси рек	0.0500	0.104	0.480
Взвесь Амазонки	0.2500	0.420	0.600

Это свидетельствует о сходстве поведения золота и ртути в глинистых породах и в речном стоке. Ранее примеры сходного поведения обоих металлов наблюдались в некоторых осадочных процессах и в осадочном рудообразовании [12].

Наряду с этим следует упомянуть, что оба рассмотренных металла тяготеют к органическому веществу с одной стороны и к ассоциации с

некоторыми цветными металлами, включая свинец, олово и цинк (таблица), что в данном случае, возможно, связано с поставкой в реку рудного материала из выветривающихся месторождений, поскольку взвесь обогащена этими металлами.

В связи с тем, что ртуть способна испаряться, она может заражать, наряду с водой и живым веществом, также растительность и воздух в пределах основного русла и притоков, в первую очередь в Колумбии, где работают около 200000 рудокопов, (всего около миллиона). Вдалеке от промышленной зоны содержание золота в воздухе составляет около 300 нг/м<sup>3</sup>, а вблизи ювелирных предприятий около 10<sup>6</sup> нг/м<sup>3</sup> золотоносных центров [9].

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Взвеси рек обогащены относительно глинистых пород ртутью и золотом в результате континентального выветривания и размыва осадков при паводке.

2. Содержание золота и ртути превышает их среднее содержание в глинистых породах примерно в одинаковой степени или с небольшим преимуществом золота.

3. Взвеси Амазонки обогащены обоими элементами в 4-5 раз по сравнению со средним содержанием во взвесьях рек мира в связи с интенсивной добычей золота амальгамным методом.

4. Наряду с водой и взвесью в золотоносных частях бассейна Амазонки зафиксировано заражение ртутью воздуха.

5. Взвесь Амазонки обогащена также рядом цветных металлов, что является признаком оруденения в пределах водосборной площади.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gibbs R.J. The geochemistry of Amazon River system: the factors that control the salinity and the composition of suspended solids // Amer. Geol. Bull. 1967. V. 78. P. 1203–1242.
2. Gibbs R.J. Transport phases of transition metals in Amazon and Yukon rivers // Bull. Geol. Soc. Amer. 1977. V. 88. № 6. P. 829–843.
3. Sholcovitz E.R., Price N.B. The major element chemistry in suspended matter in the Amazon estuary // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1980. V. 44. № 2. P. 163–171.
4. Gordeev V.V., Miklishansky A.Z., Artemiev V.E. Rare elements distribution in the surface suspended matter in the Amazon river basin // Transport of carbon and minerals in major World rivers. Pt.3. / Eds. E.T. Degens et al. Hamburg; SCOPE/UNEP, 1985. P. 225 – 243.
5. Тримонис А.Э., Стрюк В.Л., Гордеев В.В. Количественное распределение взвеси в Амазонке и в прилегающей части Атлантического океана // Океанология. 1987. № 6. С. 971–976.
6. Гордеев В.В., Монин А.С. Геохимия амазонской речной системы //

Амазония / Ред. Монин А.С., Гордеев В.В. М.: Наука, 1988. С. 90–113.

7. Гордеев В.В., Орешкин В.Н. Ag, Cd и Pb в водах реки Амазонки, ее притоков и эстуария // Геохимия. 1990. № 2. С. 244–256.

8. Veiga M.M. Mercury in artisanal gold mining in South America: Facts and Solutions // UNIDO Expert Group Meeting. Vancouver: Univ. British Columbia, 1997. 23 p.

9. Cordy P., Veiga M.M, Salin I. Mercury contamination from artisanal gold mining in Amasonia, Columbia: the World's highest mercury pollution // Science of the Total Environment. 2011. V. 10. P. 154–160.

10. Григорьев Н.А. Среднее содержание элементов в горных породах // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.

11. Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 175 с.

12. Юдович Я.Ф., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах // Екатеринбург: Наука, 1994. 306 с.

The study of suspended matter sampled from Amazon waters during Russian expedition on board of oceanic research vessel «Professor Shtockman» (1983) has been accomplished using ICP-MS method which showed that all samples are enriched in gold and mercury along with Cu, Pb, and Zn. Evidently it is bound to amalgamation method of gold recovery used by gold diggers while other metals might indicate to possible ore deposit in weathered surrounding rocks.

**Гарькуша Д.Н.<sup>1</sup>, Фёдоров Ю.А.<sup>1</sup>, Тамбиева Н.С.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Институт наук о Земле Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, e-mail: gardim1@yandex.ru; <sup>2</sup>ФГБУ «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону)

**Влияние дреджинга и дампинга на формирование концентраций метана в Таганрогском заливе**

**Gar'kusha D.N.<sup>1</sup>, Fedorov Yu.A.<sup>1</sup>, Tambieva N.S.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don; <sup>2</sup>FGBI «Hydrochemical Institute», Rostov-on-Don)

**The impact of dredging and dumping on the formation of methane concentrations in the Taganrog Bay**

Ключевые слова: метан, водная толща, донные отложения, судоходные каналы, морской порт, дноуглубительные работы, подводное складирование грунтов

Рассмотрены результаты экспедиционных исследований, направленных на изучение воздействия дноуглубительных работ и подводного складирования грунтов на формирование концентраций метана в водной толще и донных отложениях Таганрогского залива Азовского моря.

Азовское море с его мелководной акваторией и довольно развитой инфраструктурой судоходных путей, является весьма показательным объектом для выявления и изучения воздействия строительства и эксплуатации судоходных каналов на мелководьях на формирование газового состава морских вод. Берега Азовского моря отмелы, и к каждому из его портов ведут судоходные каналы, сооружаемые посредством дноуглубления. Самые протяженные (до 20–30 км) и глубокие (более 5 метров) подходные каналы прорыты к портам Таганрог, Мариуполь и Ейск, расположенным в мелководном Таганрогском заливе. В незначительном удалении от подходных каналов обустроены многочисленные свалки грунта. В настоящей работе на примере Таганрогского подходного канала, обеспечивающего морские подходы к Таганрогскому портовому комплексу, а также морской части Азово-Донского канала, связывающего реку Дон с судоходной акваторией Таганрогского залива, рассматриваются результаты экспедиционных исследований, направленных на изучение воздействия дноуглубительных работ и подводного складирования грунтов на формирование концентраций метана.

Изучение влияния функционирования судоходных каналов на концентрацию метана в Таганрогском заливе проводилось в период с апреля по июнь 2017 г. в ходе 4-х съемок на станциях, расположенных в акватории морского порта Таганрог, Таганрогского подходного канала (ТПК) и подводного отвала грунта № 956, изъятых при портовом строительстве и дноуглублении, а также 1-ой съемки на станциях, расположенных в акватории Азово-Донского морского канала (АДМК), подводном отвале

грунта № 970 и “фоновых” участках (рисунок). При проведении экспедиционных исследований отбор проб воды и донных отложений производился с борта судов Азовского бассейнового филиала ФГУП “Росморпорт” на станциях локального экологического мониторинга [1]. Исследования заключались в отборе проб воды для определения содержания метана, величин рН и температуры; также выполнялись измерения прозрачности воды по диску Секки.

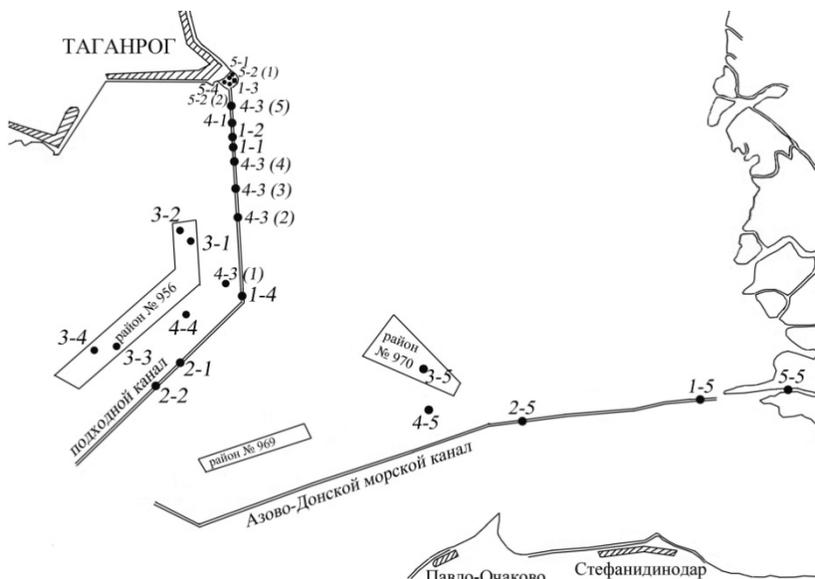


Рисунок. Схема расположения станций наблюдения в акватории Таганрогского залива на участках морского порта Таганрог, Таганрогского подходного канала, морской части Азово-Донского канала и подводных свалок грунта №№ 956 и 970 в апреле – мае 2017 г.

На всех станциях воду отбирали из поверхностного горизонта. Донные отложения (верхний горизонт до 6–7 см) отбирали дночерпателем конструкции Петерсена или непосредственно с многочерпаковых замснарядов, ведущих дноуглубительные работы. Отбор проб и последующее определение метана на газовом хроматографе “Хроматэк-Кристалл 5000.2” с дозатором равновесного пара на пламенно-ионизационном детекторе проводили согласно аттестованным методикам анализа [2].

Наиболее высокие концентрации метана в воде (18.0–110.4 мкл/дм<sup>3</sup>, в среднем 56.1 мкл/дм<sup>3</sup>) характерны для морского порта Таганрог (глубины до 6 м), акватория которого защищена молами, существенно ослабляющими

влияние волнений и течений, по сравнению с более открытыми и мелководными прилегающими участками. Как следствие, происходит снижение аэрации придонных горизонтов воды, что способствует активному протеканию в накапливающихся здесь тонкозернистых иловых осадках анаэробных процессов и, в частности, метаногенеза. Последнее фиксируется по содержанию метана в донных отложениях (31.2–61.6 мкг/г сухого осадка (с.о.), характеризующихся одними из самых высоких в период исследований его концентраций.

В Таганрогском подходном канале (длина 19 км, ширина 80 м, глубина 5.0–5.5 м) концентрации метана в воде вблизи работающих земснарядов были в среднем в 2 раза выше, чем в подходном канале на удалении от земснарядов на 500 м и более, и варьировали в диапазоне от 3.86 до 26.8 мкл/дм<sup>3</sup>. В пределах первых нескольких десятков метров от работающих земснарядов концентрации метана в воде были выше (10.3–26.8 мкл/дм<sup>3</sup>) со стороны продвижения шлейфа мутьевого потока, вызванного разносом течениями драгируемого материала, в то время как выше по течению (с подветренной стороны), уже в 60–80 м, его концентрации (3.84–6.54 мкл/дм<sup>3</sup>) не превышали значений, характерных для участков подходного канала, более удаленных от земснарядов.

Гранулометрический состав разрабатываемых земснарядами отложений по простиранию Таганрогского подходного канала в первом приближении относят к двум литологическим “типам” [1] – преимущественно илисто-алевритовым отложениям темного цвета мощностью в среднем 0.3–0.5 м, распространённых по всей трассе канала, за исключением отрезка между 7 и 9 км, где дно вплоть до поверхности слагают отложения песчано-детритового состава. В период описываемых исследований отложения подходного канала, отобранные нами непосредственно с земснарядов, были представлены первым типом отложений – мягкими темно-серыми тонкозернистыми илами, сложенными алевритопелитовыми фракциями без примеси песчаного и ракушечного материала. В сравнении с фоновым составом донных осадков Таганрогского взморья (от изобаты 3.0 м и глубже), данный тип отложений, накапливающихся в прорези канала, отличается повышенным в 1.5–2 раза содержанием илистых фракций [1].

В отобранных с земснарядов грунтах подходного канала зафиксированы аномально высокие концентрации метана (56.6–149.8 мкг/г с.о.), в целом не характерные для верхнего 0–50 см горизонта донных отложений Таганрогского залива [3]. Такие концентрации метана, по всей видимости, обусловлены тем, что в прорези канала накапливаются илы, сложенные тонкозернистыми фракциями, обладающими высокими сорбционными свойствами, и характеризующиеся превышением концентраций практически по всем элементам, в том числе, по органическому веществу, по сравнению с концентрациями, которые наблюдаются на фоновых станциях восточной части Таганрогского залива [1, 3–5].

На исследованных участках подводного отвала грунта, расположенного в районе № 956, концентрации метана в воде варьировали в достаточно большом диапазоне – от 2.17 до 34.5 мкл/дм<sup>3</sup> (в среднем 4.4 мкл/дм<sup>3</sup>) в зависимости от давности сброса грунта и направления распространения образуемого в результате разноса шлейфа мутьевого потока. Авторам не удалось отобрать пробы воды сразу же после сброса грунтов, однако можно с уверенностью предположить, что максимальных концентраций метана в воде стоит ожидать в первые несколько часов после сброса в образовавшемся мутьевом облаке взвеси, содержащим как сорбированный на взвеси, так и растворенный в воде метан. По многочисленным наблюдениям [1], после прекращения сброса на глубинах 3–4 м видимая приповерхностная часть мутьевого пятна полностью исчезает за 1–2 часа, однако придонный горизонт сохраняет взвесь на протяжении нескольких часов, иногда дней.

По нашим данным спустя первые сутки после сброса грунта, когда прозрачность воды уже не отличалась от других исследованных районов, концентрации метана в поверхностном слое воды характеризовались относительно высокими значениями 30.0–34.5 мкл/дм<sup>3</sup>. В то же время в воде северных участков подводного отвала грунта (станции 3-1 и 3-2), где сброс грунтов уже длительное время не осуществляется [1], в связи с их ограниченной доступностью из-за малых глубин (около 2.6 м), концентрации метана были минимальны (2.17–6.49 мкл/дм<sup>3</sup>) и не отличались от его концентраций в пробах воды, отобранных вне отвала.

Концентрации метана в поверхностном слое донных отложений (до 6–7 см), отобранных дночерпателем Петерсона с подводного отвала грунта №956, варьируют в пределах 0.63–4.62 мкг/г с.о., что в среднем на порядок выше его концентраций в отложениях участка, выделенного в качестве «фоновое», но на порядок меньше его концентраций в грунтах, отобранных земснарядом при дноуглублении Таганрогского подходного канала и акватории порта г. Таганрог, а также в грунтах, отобранных дночерпателем Петерсона с подводного отвала № 970 и акватории морской части АДМК. Такое значительное различие в концентрациях может быть обусловлено разницей в длительности нахождения грунтов на отвале после их сброса и гидролого-гидрохимическими условиями на участках отвала в период отбора грунтов. По всей видимости, поверхностный слой недавно сброшенных на отвал грунтов в первые часы будет характеризоваться такими же аномально высокими концентрациями метана, как и до сброса их с земснаряда. В последствие уровень концентрации газа в поверхностном слое, соприкасающемся с придонным горизонтом воды, будет снижаться во времени за счет его окисления метаноокисляющими бактериями и эмиссии в водную толщу.

Что касается акватории морской части Азово-Донского морского канала (длина 26 км, ширина 80 м, глубина 4–5 м), связывающего реку Дон с

судоходной акваторией Таганрогского залива, то здесь концентрации метана в воде были заметно выше (47.2–89.6 мкл/дм<sup>3</sup>), по сравнению с Таганрогским подходным каналом и “фоновым” участком. По сути, воды акватории АДМК, являются малотрансформированными, более насыщенными метаном водами р. Дон, на которые значительное влияние оказывают дноуглубительные работы и интенсивное судоходство, способствующие взмучиванию накапливающихся в ложе канала илистых осадков, и дополнительному повышению концентраций метана в воде. Несмотря на то, что в отложениях морской части АДМК и подводного отвала грунта № 970, куда сбрасывается драгируемый материал АДМК, наблюдается некоторое увеличение количества песчаной фракции, обусловленное поступлением песчаных частиц с прилегающих мелководных участков устьевого взморья (авандельты) Дона, концентрации метана здесь были сопоставимы с его концентрациями в грунтах Таганрогского подходного канала и морского порта г. Таганрог и в 190–1038 раз превышали концентрации метана в донных отложениях “фонового” участка (ст. 4-5).

Авторы признательны заведующему кафедрой социально-экономической географии и природопользования ЮФУ В.В. Латуно и доценту О.А. Хорошеву, за помощь в проведении исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00976).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латун В.В. Влияние функционирования судоходных каналов на экосистему Таганрогского залива. Автореф. дисс. ... уч. степ. канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону. РГУ, 2005. 24 с.
2. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах. 2-е изд., перераб. и доп. Ростов-на-Дону; Москва: ЗАО “Ростиздат”, 2007. 330 с.
3. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А. Метан в устьевой области реки Дон. Ростов-н/Д – Москва: ЗАО “Ростиздат”, 2010. 181 с.
4. Федоров Ю.А., Сапожников В.В., Агатова А.И. и др. Комплексные экосистемные исследования в российской части Азовского моря (18–25 июля 2006 г.) // Океанология. 2007. Т. 47. № 2. С. 316–319.
5. Федоров Ю.А., Доценко И.В., Кузнецов А.Н. и др. Закономерности распределения  $C_{орг}$  в донных отложениях российской части Азовского моря // Океанология. 2009. Т. 49. № 2. С. 229–236.

The results of expeditionary investigations aimed at studying the impact of dredging and underwater storage of soils on the formation of methane concentrations in the water column and bottom sediments of Taganrog Bay of the Azov Sea.

**Глазырин Е.А.**

(АО «Южморгеология», Геленджик, e-mail: glazyrin@ymg.ru)

## **К структуре геохимического поля подводного грязевого вулкана**

**Glazyrin E.A.**

(JSC «Yuzhmorgeologiya», Gelendzhik)

## **To the structure of the geochemical field of an underwater mud volcano**

Ключевые слова: грязевой вулкан, структура аномального геохимического поля

Показано, что подводный грязевой вулканизм формирует структурированные аномальные геохимические поля, проявленные в донных отложениях и в подводных каналах.

Грязевой вулканизм играет значительную роль в структурообразовании и осадконакоплении определенных геодинамических обстановок и этапов развития седиментационных бассейнов [1–5 и др.]. Вместе с тем влияние грязевых вулканов на геохимическое поле, его структурообразование изучено слабо. В частности, отмечается повышенное содержание Ba, Na, K, B, Sr, Cs, I, As, Rb, Sb и РЗЭ в водах грязевых вулканов [5], В, Hg, As, Li в сопочном иле [4, 6].

О проявлении выраженного аномального геохимического поля у грязевулканических структур свидетельствуют многолетние данные опробования донных отложений в пределах подводных грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической области. Содержания Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Zn, Pb, As, Cd, Hg, нефтепродуктов (НП), фенолов, полиароматических углеводородов (ПАУ) в практике мониторинга состояния недр рассматриваются как геохимические индикаторы грязевого вулканизма. Так при извержениях подводных грязевых вулканов Темрюкский и Голубицкий (Темрюкский залив Азовского моря) в грязевулканических отложениях устанавливаются аномалии ряда химических компонентов. Концентрации химических компонентов в отложениях достигают: НП – 6994 мг/кг; фенолы – 1.87 мг/кг; ПАУ – 686.7 нг/г (в том числе: бенз(а)пирен – 62.1; флуорантен – 188.9; хризен – 442.1; дибензантрацен – 40.2); Fe – 5.5%; Mn – 5435 мг/кг; Cu – 50 мг/кг; Ni – 73 мг/кг; Co – 29 мг/кг; Zn – 125 мг/кг; Pb – 29 мг/кг; Cd – 2.0 мг/кг; Hg – 0.31 мг/кг; As – 11.7 мг/кг. В периоды покоя подводных грязевых вулканов аномальные концентрации через 1–2 года заметно снижаются до слабо аномальных и надфоновых за счет перераспределения волновой деятельностью и донными течениями на большую площадь и, соответственно, рассеяния. Аномальные концентрации в поле рассеяния могут прослеживаются на расстояние в несколько километров.

Распределение химических компонентов на площади грязевулканической структуры изучено на примере подводного грязевого вулкана Темрюкский по данным опробования донных отложений по 11 станциям в июле 2013 г. По данным мониторинга его активизация произошла между летними периодами 2012 и 2013 гг. Строение Темрюкского грязевого вулкана представлено ранее [7].

В 2013 г. аномальных концентраций в донных отложениях достигли практически все анализируемые химические компоненты. Их коэффициенты концентрации относительно фона составили: НП – 96.5; фенолы – 47.5; ПАУ –  $n \times 10$ ; As – 12.0; Cd – 2.3; Pb – 2.2; Hg – 1.9; Fe – 1.9; Cu – 1.8; Ni – 1.7; Co – 1.7; Mn – 1.6; Zn – 1.3. Вариации составили: НП – 83.0–6994.0 мг/кг; фенолы – 0.02–0.95 мг/кг; ПАУ – 39.9–686.7 нг/г (флуорантен – 10.8–188.9; хризен – 15.0–442.1; бенз(а)пирен – 8.5–22.6; дибензантрацен – 2.0–40.2); Fe – 2.0–4.8%; Mn – 270.0–607.0 мг/кг; Zn – 45.0–98.0 мг/кг; Cu – 15.0–42.0 мг/кг; Pb – 18.0–29.0 мг/кг; Ni – 34.0–61.0 мг/кг; Cd – 0.8–1.6 мг/кг; Co – 12.0–20.0 мг/кг; Hg – 0.021–0.057 мг/кг; As – 1.6–4.8 мг/кг; Cu/Ni – 0.4–0.7.

Распределение химических компонентов на Темрюкском участке носит выраженный зональный характер (рис. 1). Максимальными и наиболее контрастно изменяющимися концентрациями в донных отложениях обладают НП, фенолы, ПАУ, а также As, Cd, Pb и Hg. Концентрации остальных компонентов (Fe, Cu, Ni, Co, Mn, Zn) менее контрастны, их максимумы связаны преимущественно с выносом на морское дно из геологического разреза геохимически специализированных отложений майкопской серии и вторичными концентрациями на геохимических барьерах.

В структуре аномального геохимического поля участка выделяется три зоны: центральная (ядерная), транзита (переходная) и вторичного накопления (периферическая) (рис. 2).

Центральная зона обладает максимальными аномальными содержаниями почти всех анализируемых компонентов, в первую очередь углеводородного ряда (НП, фенолы, ПАУ), повышенным (эндогенным) медно-никелевым соотношением (Cu/Ni до 0.7). В донных отложениях отмечается повышение щелочности (рН до 7.7). Центральная зона отвечает грязевулканической литодинамической обстановке (рис. 1), где происходит флюидно-газовая разгрузка и поставка на морское дно грязевулканических отложений.

Зона транзита характеризуется снижением аномальных содержаний компонентов, вплоть до фоновых для элементов с низкими коэффициентами концентрации (Cu, Hg, Fe, Mn, Zn, Ni). Зона транзита окружает центральную зону и отвечает полого-наклонной поверхности морского дна, окружающей грязевулканическую структуру. Она соответствует аккумулятивно-абразионной литодинамической обстановке, где

преобладают процессы размыва и транзита донных отложений.

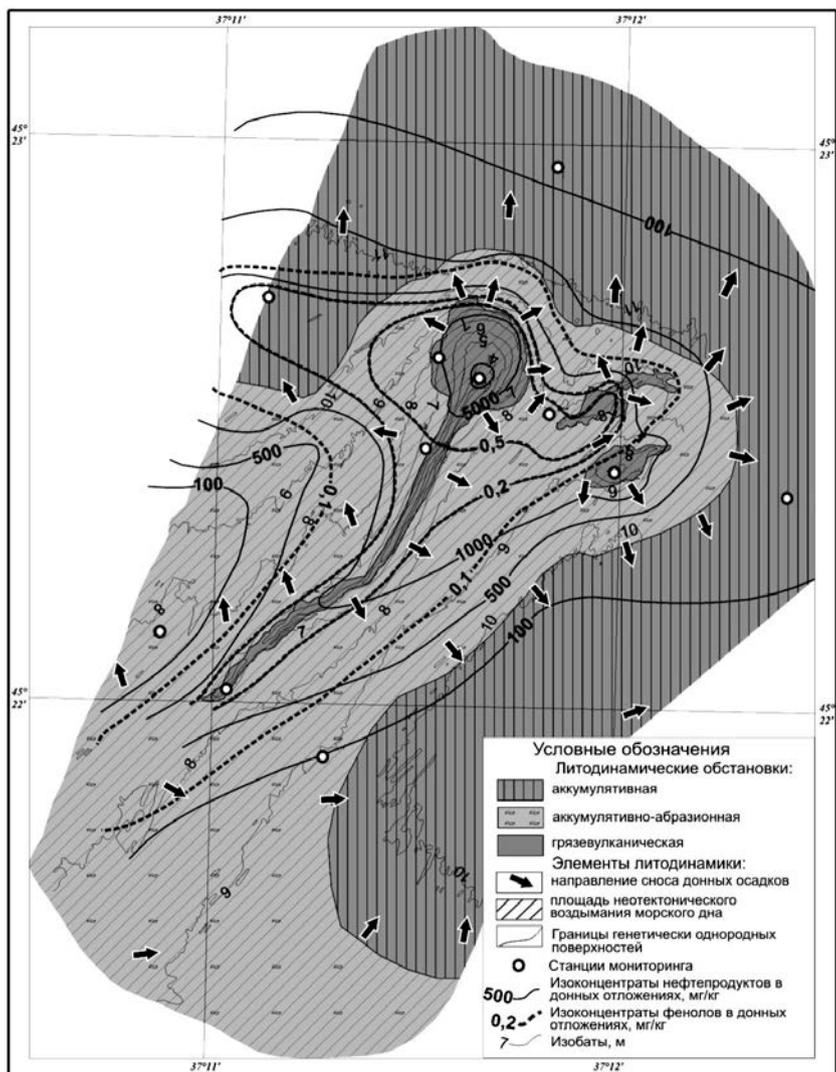


Рисунок 1. Распределение нефтепродуктов и фенолов на Темрюкском грязевулканическом участке.

Зона вторичного накопления окружает с периферии зону транзита. Она соотносится с аккумулятивной литодинамической обстановкой и приурочена к субгоризонтальным понижениям морского дна, где

накапливаются преимущественно пелитовые ундафлювиальные и нефелоидные осадки, обогащенные органическим веществом. Эта зона обладает минимальными значениями Eh и выступает как область комплексного геохимического барьера за счет одновременной реализации сорбционного (сорбция глинистым, органическим и сульфидным веществом) и восстановительного (сероводородного) барьеров. Здесь продолжается снижение компонентов нефтяного ряда (НП, фенолы, ПАУ), Hg, Cd, Cu/Ni отношения, а на геохимическом барьере формируются вторичные слабые аномалии свойственных ему химических элементов (As, Pb, Cu, Co, Ni, Fe).

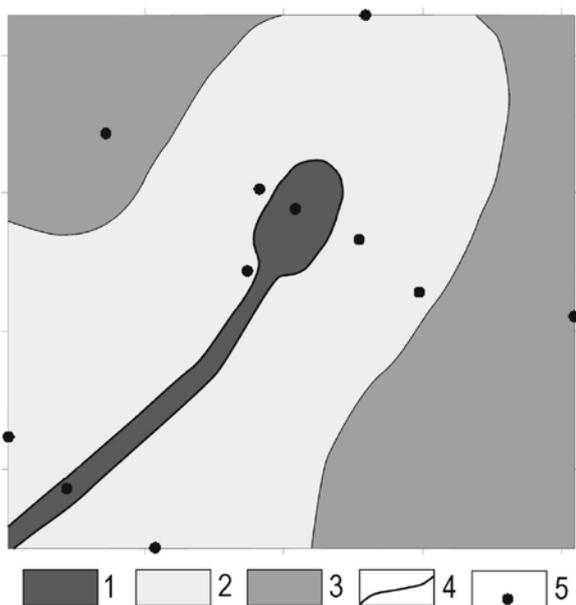


Рисунок 2. Структура аномального геохимического поля участка Темрюкский: 1 – центральная (ядерная) зона; 2 – транзитная (переходная) зона; 3 – зона вторичного накопления (периферическая); 4 – границы зон; 5 – станции пробоотбора.

На основе факторного анализа отобранных проб для центральной зоны характерен следующий геохимический спектр: фенолы (коэффициент корреляции 0.90), ПАУ (0.88), НП (0.86), Pb (0.48), As (0.39), Cd (0.38), Eh (0.33), Ni (0.20), Cu (0.18), Zn (0.15), Hg (0.14), Mn (-0.29). Для зоны вторичного накопления устанавливается иной геохимический спектр: As (0.51), Ni (0.40), Pb (0.26), Fe (0.18), Cu (0.16), Co (0.14), Hg (-0.52), Cd (-0.41), Cu/Ni (-0.30), ПАУ (-0.27), Zn (-0.18).

Аномальные концентрации индикаторных химических компонентов устанавливаются в подводных каналах грязевулканических структур. Опробование некков, даек и силлов потухших грязевых вулканов в обнажающемся в береговых обрывах палеоген-неогенового разреза Таманского полуострова показало, что концентрации здесь достигают (мг/кг): НП – 6000; фенолов – 42.24; Со – 38; Ni – 129; Mn – 32591; Cu – 41; Zn – 114; Pb – 29; Cd – 1.6; Hg – 0.031; ПАУ – 547.9 нг/г. Присутствуют прожилки самородной серы.

Таким образом, данные опробования свидетельствуют, что грязевулканическая деятельность формирует структурированные аномальные геохимические поля.

В работе использованы геологические материалы, полученные в результате выполнения государственных контрактов № 42/01/60-9, 35/01/60-11, 01/20/60-2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахманов Г.Г., Лимонов А.Ф. Грязевулканические отложения: генетические признаки и роль в осадконакоплении // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1999. № 5. С. 22–28.
2. Холодов В.Н. Грязевые вулканы: закономерности размещения и генезис // Литология и полезные ископаемые. 2002. № 3. С. 227–241.
3. Холодов В.Н. Грязевые вулканы: распространение и генезис // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. № 4. С. 5–27.
4. Шнюков Е.Ф. Грязевые вулканы Керченско–Таманского региона / Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Краснодар: ГлавМедиа, 2006. 176 с.
5. Kopf A.J. Significance of mud volcanism // Rev. Geophys. 2002. V. 40(2). P. 1005.
6. Федоров Ю.В., Маслов А.В., Ронкин Ю.Л. Систематика элементов–примесей в продуктах извержений ряда грязевых вулканов Керченско–Таманской области (по данным ICP–MS) // Литосфера. 2011. № 5. С. 117–123.
7. Глазырин Е.А. Модель строения подводного грязевого вулкана банки Темрюкской (Азовское море) по геофизическим данным // Геология морей и океанов: Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. V. М.: ГЕОС, 2013. С. 56–59.

It is shown that underwater mud volcanism forms structured anomalous geochemical fields in bottom sediments and in the supply channels.

**Глазырина Н.В.**

(АО «Южморгеология», Геленджик, e-mail: eaglazyrin@mail.ru)

**Петрографическая характеристика карбонатных построек метановых сипов неогенового разреза Таманского полуострова**

**Glazyrina N.V.**

(JSC «Yuzhmoreologiya», Gelendzhik)

**Petrographic characteristics of carbonate structures of methane sypes of the Neogene section of the Taman Peninsula**

Ключевые слова: петрография, карбонатные постройки, метановые сипы, Таманский полуостров

Дана петрографическая характеристика карбонатных построек из неогенового разреза Таманского полуострова, рассматриваемых как производные метановых сипов. Выделенные структурно-генетические типы карбонатных агрегатов хорошо соотносятся с описанными аналогами из других регионов.

Образование аутигенных карбонатов в пределах субмаринных холодных газо-флюидных разгрузок метанового состава – метановых сипов - служит распространенным явлением. В последние 30 лет такие карбонатные образования выявлены на дне современных морей, диагностированы в древних отложениях и описаны в многочисленных публикациях. Морфология метаногенных карбонатных образований разнообразна, это воронкообразные тела, корки, плиты и постройки различной морфологии, трубо- и жилообразные тела и др. [1–3 и др.]. Одной из характерных особенностей метановых разгрузок служит активное развитие специфических симбиотрофных донных сообществ, формирующих каркас карбонатных построек [4 и др.].

Примером региона развития метаногенных карбонатных построек служит неогеновый разрез Таманского полуострова [5–7], что коррелирует с проявлением в Керченско-Таманском регионе начиная с неогена активной углеводородной разгрузки, в том числе грязевого вулканизма. В докладе характеризуются метаногенные специфические карбонатные тела из глинистого разреза сармат-мэотического возраста неогенового разреза Таманского полуострова, обнажающиеся в береговых обрывах и карьерных выемках между мысами Панагия и Железный Рог. К ним отнесены воронкообразные тела карбонатизации и биогермные постройки [6, 7].

*Воронкообразные тела карбонатизации* (CaO 72.4%, MgO 7.0%) встречены в морских глинах нижней подсвиты ( $N_{1z}l_1$ ) зеленой свиты (нижний и средний подъярусы сарматского яруса). Они имеют придонный характер развития. Текстура брекчиевая, брекчиевидная, комковатая, ноздревато-кавернозная за счет присутствия каналов дегазации,

инкрустированных колломорфным карбонатом. Размер тел составляет первые метры в поперечнике. Верхняя граница «воронки» синседиментационная с присутствием обильной «прижизненной» донной фауны (раковины моллюсков и др.). Нижние границы «воронки» имеют постепенные контакты с вмещающими глинами.

Под микроскопом тела представлены комковатым пористым глинистым известняком доломитистым, образованным за счет карбонатизации в различной степени брекчированного и фрагментированного пелитового ила (рис. 1а). Комочки размером от долей до нескольких миллиметров представлены в различной степени карбонатизированным диагенетически не уплотненным пелитом. Они сцементированы тонкой (сотые доли миллиметра) каймой микрозернистого доломит-кальцитового агрегата. На границе пор и полостей эта кайма имеет друзитовый характер. Крупные поры и каналы дегазации инкрустированы кальцитом с реликтовой радиально-волоконистой структурой арагонита мощностью в десятые доли миллиметров. Поры (10–15%) присутствуют между комочками, распределены крайне неравномерно.

*Биогермные постройки* залегают в виде частых холмообразных бугристых тел высотой до 15 м и шириной до 20 м специфического строения в основании холоднодолиновской свиты ( $N_1hd$ ) на границе сарматского и мэотического яруса, где описываются как мшанковые биогермы. Сложены они несколькими типами известняка глинистого доломитистого ( $CaO$  69.9–74.5%,  $MgO$  1.2–12.3%) – мшанковым, серпуловым, строматолитовым и копролитовым.

*Мшанковый известняк* составляет основной объем построек, имеет пористую, кавернозную текстуру с колломорфными структурами облекания. Объем пор составляет 20–25%. В породе выделяется три структурных элемента: каркасообразующие остатки эпифауны (мшанки, гидроиды?); тонкозернистый карбонат микробильно-водорослевой природы; цементационный карбонат.

Остатки эпифауны составляют каркас породы (25% площади шлифа) и представлены преимущественно мшанками (рис. 1б).

Тонкозернистый карбонат микробильно-водорослевой природы пигментирован органическим веществом. Слагает микрокомочки в межформенном пространстве (рис. 1в) и тонкие каймы (сотые доли миллиметра) обрастания эпифауны (рис. 1б). Форма комочков овальная, размером в десятые доли миллиметров. Часть из них, вероятно, представлены копролитами.

Цементационный карбонат представлен двумя генерациями (рис. 1б, в). Первая представлена тонкими микрозернистыми крустификационными доломит-кальцитовыми оболочками вокруг тонкозернистого карбоната микробильно-водорослевой природы. Вторая генерация преобладает. Она образует структуры облекания и представлена кальцитом с реликтовой

колломорфной радиально-волокнистой и ритмично-зональной структурой арагонита.

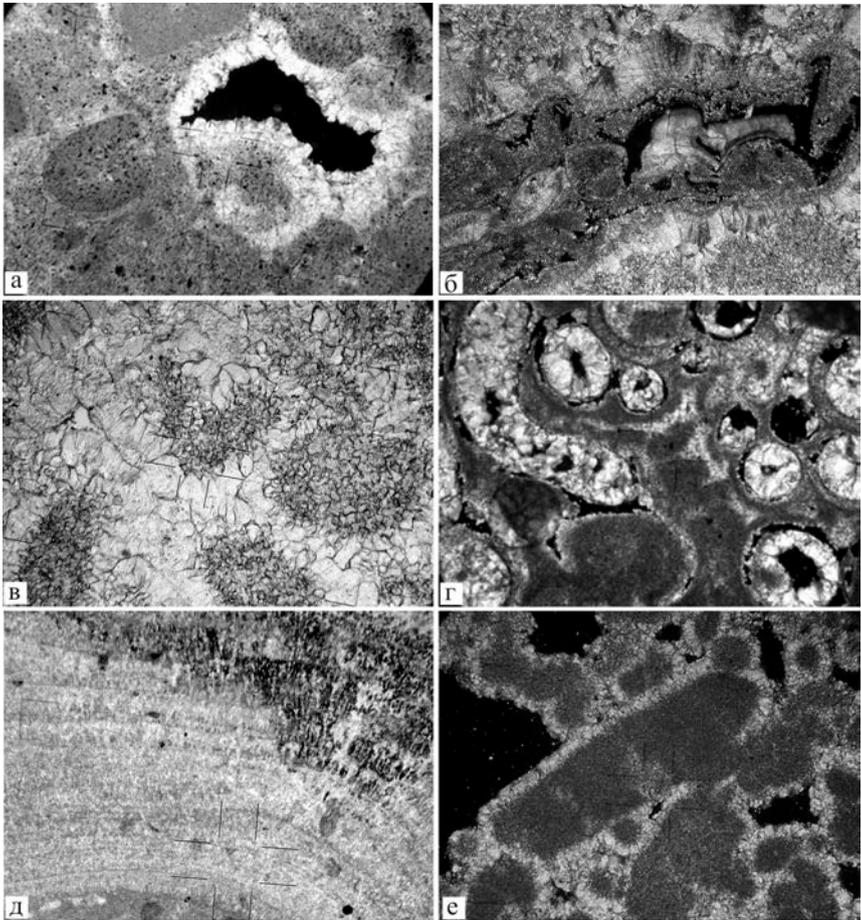


Рисунок. Основные структуры карбонатных тел: а - воронкообразное тело карбонатизации, б – мшанковый известняк, в – межформенное заполнение мшанкового известняка; г – серпуловый известняк, д – строматолитовый известняк, е – копролитовый известняк.

В скрещенных (а, б, г–е) и параллельных (в) николях, ширина кадра 1 мм.

*Серпуловый известняк* формирует верхнюю оболочку построек мощностью до 20 см. Текстура пористая, поры составляют 20–25%. В строении породы выделяются три структурных элемента (рис. 1г):

каркасообразующие остатки эпифауны (серпулы); тонкозернистый карбонат микробиально-водорослевой природы; цементационный карбонат.

Каркасообразующие остатки эпифауны составляют около 55% от общей площади шлифа. Известковые трубочки полихет диаметром менее 1 мм двухслойные, с темным пелитоморфным и светлым яснокристаллическим слоем доломитового замещения.

Тонкозернистый карбонат микробиально-водорослевой природы и цементационный карбонат аналогичны выше описанным для мшанкового биогерма.

*Строматолитовый известняк* образует слои облекания с железомарганцевой гидроокисной минерализацией в кровле биогермов, которые нередко разьединены серпуловым известняком мощностью первые сантиметры. Базальный слой имеет онколитовый облик. Вверх по разрезу он сменяется микрослоистым бугристо-почковидного и волнистого строения. В его строении выделяются структурные элементы (рис. 1д): микрослоистый матрикс; остатки эпифауны (серпулы, мшанки, гидроиды?); сгустково-микрокомковатый тонкозернистый карбонат микробиально-водорослевой природы; цементационный карбонат.

Микрослоистый матрикс составляет основу породы. Имеет слабоволнистую волнистую микрослоистую текстуру со щелями роста. Представлен чередованием слоев с различными микроструктурами – пелитоморфных микрослоев с пигментацией органическим веществом и на порядок более мощных (десятые доли миллиметров) тонкозернистых с реликтами округлых биогенных (?) агрегатов размером до 0.01 мм. В строении принимает участие железомарганцевая окисная минерализация в виде дендритовидных агрегатов, растущих перпендикулярно от основания слоев. Отмечается присутствие дисульфидов железа.

Остатки эпифауны (серпулы, мшанки, гидроиды?) присутствуют в подчиненном количестве как основание роста, синхронные линзовидные включения, а также в виде детрита в щелях роста и карманах.

Тонкозернистый карбонат микробиально-водорослевой природы сгустково-микрокомковатого сложения заполняет карманы, поры и щели роста, обволакивает детрит эпифауны.

Цементационный карбонат двух генераций присутствует в щелях роста, карманах и порах, аналогичен выше описанному для мшанкового известняка.

*Копролитовый известняк* образует шлейфовую фацию. Он представлен тонкоплитчатым микрокомковатым известняком. Сложен тонкозернистыми пигментированными органическим веществом копролитами размером 0.02–0.12 мм. Присутствует детрит эпифауны. Копролиты и детрит покрыты кристификационными доломит-кальцитовыми оболочками, которые формируют цемент контактово-порового и порового типа (рис. 1е). Цемент составляет 25–28%, открытые поры – до 5%.

Описанные структурно-генетические типы минеральных агрегатов карбонатных построек метановых сипов неогенового разреза Таманского хорошо соотносятся с описанными [8, 9] аналогами из других регионов.

В работе использованы геологические материалы, полученные в результате выполнения ГК № 42/01/60-9, 01/20/60-2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mazzini A., Svensen H., Hovland M. et al. Comparison and implications from strikingly different authigenic carbonates in a Nyegga complex pockmark, G11, Norwegian Sea // *Marine Geology*. 2006. V. 231. P. 89–102.
2. Campbell K.A., Francis D.A., Collins M. et al. Hydrocarbon seep–carbonates of a Miocene forearc (East Coast Basin), North Island, New Zealand // *Sedimentary Geology*. 2008. V. 204. P. 83–105.
3. Campbell K.A., Farmer J.D., Des Marais D. Ancient hydrocarbon seeps from the Mesozoic convergent margin of California: carbonate geochemistry, fluids and palaeoenvironments // *Geofluids*. 2002. P. 63–91.
4. Levin L.A. Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes // *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 2005. V. 43. P. 1–46.
5. Ростовцева Ю.В. Седиментогенез в бассейнах среднего и позднего миоцена Восточного Паратетиса (стратотипический Керченско–Таманский регион). Автореф. дисс. на соискание уч. степ. д-ра геол.–минерал. наук. Москва, 2012. 50 с.
6. Глазырин Е.А., Глазырина Н.В. Карбонатные производные холодной газо–флюидной подводной разгрузки Азово–Таманского региона // *Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. II. М.: ГЕОС, 2015. С. 143–146.
7. Глазырин Е.А., Глазырина Н.В. Неоген–четвертичные карбонатные постройки и образования подводных газо–флюидных разгрузок Азово–Таманского региона // *Геология рифов: Материалы Всероссийского литологического совещания*. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2015. С. 32–33.
8. Campbell K.A., Farmer J.D., Des Marais D. Ancient hydrocarbon seeps from the Mesozoic convergent margin of California: carbonate geochemistry, fluids and palaeoenvironments // *Geofluids*, 2, 2002. P. 63–91.
9. Hammer O., Nakrem H.A., Crispin T.S. Little et al. Hydrocarbon seeps from close to the Jurassic–Cretaceous boundary, Svalbard // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2011. V. 306. P. 15–26.

Petrographic characteristics of carbonate structures from the Neogene section of the Taman Peninsula, considered as derivatives of methane sipes, are given. The isolated structural-genetic types of carbonate aggregates are well correlated with the analogues described from other regions.

**Григорьев А.Г., Неевин И.А.**

(Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, e-mail: Andrey Grigiryev@vsegei.ru)

**Формы нахождения ряда тяжелых металлов в донных осадках восточной части Финского залива**

**Grigoriev A.G., Neevin I.A.**

(A.P.Karpinsky Russian Research Geological Institute (VSEGEI), St.Petersburg)

**Forms of heavy metals occurrence in the bottom sediments of the eastern Gulf of Finland**

Ключевые слова: формы нахождения металлов, химические элементы, Финский залив, донные осадки

Рассматривается распределение форм нахождения ряда химических элементов в разновозрастных донных осадках Финского залива. Определялись следующие формы нахождения: Воднорастворимые соединения, Сорбированные формы, Формы, связанные с битумной органической составляющей, Формы, связанные с гумусовой органической составляющей, Формы, связанные с карбонатными соединениями, Формы, связанные с оксидами и гидроксидами железа и марганца, Металлы в труднорастворимом остатке. Материалом исследований служили пробы ленточные глины приледниковых озер, глинистые отложения Балтийского ледникового озера, Анцилового озера и Литоринового моря.

В настоящей работе рассматривается распределение форм нахождения Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Pb в разновозрастных донных осадках восточной части Финского залива. Определялись следующие формы нахождения: Воднорастворимые соединения, Сорбированные формы, Формы, связанные с битумной органической составляющей, Формы, связанные с гумусовой органической составляющей, Формы, связанные с карбонатными соединениями, Формы, связанные с оксидами и гидроксидами железа и марганца (Оксидно-гидроксидные), Металлы в труднорастворимом остатке (труднорастворимые минеральные формы). Материалом исследований служили пробы алевро-глинистых и глинисто-алевритовых прослоев ленточных глин приледниковых озер, глинистые отложения Балтийского ледникового озера, Анцилового озера и Литоринового моря.

Рассмотрим полученные результаты. В отложениях приледниковых озер, для которых основным источником поступления осадочного материала являлись продукты таяния ледника, а гидрохимические процессы на начальном этапе развития акватории играли подчиненную роль, труднорастворимая (минеральная) форма нахождения является преобладающей для изучаемой группы химических элементов. В наибольшей степени она характерна для литофильных элементов, широко распространенных в терригенных минералах (73–99%). Для сидерофильных

и халькофильных элементов, содержание труднорастворимой формы несколько ниже, чем для литофильных, но, тем не менее, и для них она также является преобладающей (53–89% и 59–78% соответственно). Достаточно велико значение форм нахождения, связанных с оксидами и гидроксидами железа и марганца. Особенно это характерно для халькофильных, сидерофильных элементов и Mn (3–28%). Вполне очевидно, что широкое распространение оксидно-гидроксидных форм этих элементов обусловлено их сорбцией входящими в эту группы гидроокислами железа и марганца [1]. Карбонатные формы нахождения играют существенную роль для Mn, Co, Ni, Cu (3–12%), что в целом согласуется с данными А.И. Блажчишина, И.Д. Данилова и ряда других авторов [1–3], отмечавших присутствии конкреций и пелитоморфного карбонатного материала в ледниково-озерных отложениях Балтийского моря. Следует отметить, что содержание труднорастворимых форм нахождения в существенно алевритовых прослоях ленточных глин приледниковых озер, как правило, несколько выше, чем в их существенно глинистых прослоях. И, напротив, для оксидно-гидроксидных и карбонатных форм более высокое содержание типичных для них элементов, как правило, характерно для существенно глинистых прослоев. Очевидно, в существенно алевритовых разностях донных отложений сидерофильные и халькофильные элементы преимущественно входят в состав терригенных минералов. В то же время, в существенно глинистых разностях их заметное количество связано с образующимися аутигенными минералами (гидроокислами железа и марганца, а также карбонатами). Литофильные элементы, как в алевритовых разностях, так и в глинистых разностях преимущественно входят в состав терригенных минералов. Содержание воднорастворимых форм в ледниково-озерных отложениях варьируется в относительно широких пределах от 0 до 11% и общих закономерностей в их распределении не наблюдается. Сорбированные формы, а также формы, связанные с битумной органической и гумусовой органической составляющими, имеют крайне ограниченное распространение.

В процессе формирования и развития Балтийского ледникового озера сидементационные условия акватории претерпевают значительные изменения. Кромка ледника находится на значительном удалении, в связи, с чем резко меняются условия поступления терригенного материала. Начинается поступление в акваторию заметного количества органического вещества, меняются гидрохимические условия. Как следствие этого формы нахождения ряда химических элементов претерпевают значительные количественные изменения. Отложения Балтийского ледникового озера по отношению к ледниково-озерным отложениям характеризуются резким уменьшением содержания труднорастворимых минеральных форм (8–85%). Особенно это характерно для халькофильных (8–47%) и сидерофильных элементов (17–27%). В тоже время резко возрастает относительное

содержание форм, связанных с оксидами и гидроксидами железа и марганца. Для литофильных элементов (10–64%), халькофильных (46–75%), сидерофильных (70–79%). Относительное содержание оксидно-гидроксидных форм для всех элементов за исключением – Ti, V, Sr, Pb в данном случае значительно превышает содержание их труднорастворимой минеральной форме. Всё это может говорить об интенсивных сорбционных процессах и образовании аутигенных железомарганцевых минералов, а также и гидроксидов железа и марганца в нераскristализованной форме. Характерной чертой отложений Балтийского ледникового озера является появление в заметных количествах гумусово-органических форм нахождения, главным образом халькофильных элементов (3–16%). В тоже время наблюдается заметное уменьшение распространённости карбонатных форм, составляющих для разных элементов от 0 до 1.48% общего объема. И завершающим отличием отложений БЛО от ледниково-озерных отложений является уменьшение содержания в них воднорастворимых форм нахождения (0–3%). Сорбированные формы, а также формы, связанные с битумной органической составляющей, в отложениях БЛО, так же, как и в отложениях приледниковых озер имеют крайне ограниченное распространение.

Отложения Анцилового озера обладают рядом отличий в распределении форм нахождения химических элементов по отношению к подстилающим их отложениям БЛО. В первую очередь наблюдается некоторое уменьшение распространённости оксидно-гидроксидных форм, что особенно характерно для халькофильных элементов (за исключением Zn). В тоже время, в различной степени увеличивается доля форм, связанных с гумусовой органической составляющей. Что наиболее свойственно (за исключением Zn) халькофильным элементам (4–30%). Формы нахождения цинка в данном случае ведут себя достаточно стабильно. Следует отметить некоторое увеличение содержания воднорастворимых форм особенно для таких элементов, как As, Cu, Mn, Pb (4–12%). Содержание карбонатных, сорбированных, битумно-органических форм нахождения меняется незначительно.

В отложениях Литоринового моря продолжается тенденция к некоторому уменьшению содержания оксидно-гидроксидных форм ряда элементов, таких как Mn, Sr, Fe, Co, Ni, Cu. Содержание труднорастворимых форм сидерофильных, большей части литофильных и главным образом халькофильных (за исключением Zn), элементов заметно увеличивается. Содержание форм, связанных с гумусовой органической составляющей по отношению к подстилающим отложениям остается достаточно стабильным за исключением группы халькофильных элементов кроме цинка, для которых содержание форм, связанных с гумусовой органической составляющей, сокращается в 3–5 раз. Распространенность воднорастворимых форм, за исключением V (5%) крайне незначительна

(0.06–1.76%), при этом отмечается резкое, на порядок и более, уменьшение содержания таких форм для Cu, As, Pb (0–15%) по отношению к отложениям Анцилового озера. Содержание карбонатных и сорбированных форм, а также форм, связанных с битумно-органической составляющей значительных изменений, не претерпевают.

На основании вышеизложенного, можно сделать ряд кратких выводов:

1. Каждое возрастное подразделение геологического разреза, как правило, характеризуется специфическим набором и соотношением доминирующих форм нахождения изучаемых химических элементов
2. Для изученной части геологического разреза наиболее распространенными формами нахождения изучаемых химических элементов являются труднорастворимые минеральные и оксидно-гидроксидные формы.
3. Сорбированные формы, а также формы, связанные с битумной органической составляющей, имеют крайне ограниченное распространение для всех изученных возрастных подразделений.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Жамойда В.А. Литология и минералогические особенности Верхнечетвертичных отложений гляциального шельфа (на примере Финского залива Балтийского моря). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Ленинград. 1987.
2. Блажчишин А.И. Микроконкреции и зональность аутигенного минералообразования в современных донных осадках Балтийского моря // Конкреции и Конкреционный анализ. М.: Наука, 1978. С. 187–190.
3. Лито- и биостратиграфия донных отложений Балтийского моря / Под редакцией В.К. Гудялиса. Вильнюс: Мокслас, 1985. 205 с.

The distribution of the forms of occurrence of a number of chemical elements in the different ages' bottom sediments of the Gulf of Finland is considered. The following forms were determined: Water-soluble compounds, Sorbed forms, Forms associated with bituminous organic matter, Forms associated with humic organic component, Forms associated with carbonate compounds, Forms associated with iron and manganese oxides and hydroxides, Metals in sparingly soluble residue. The material of the studies was the samples of varved clays of preglacial lakes and clay deposits of the Baltic Glacial Lake, Ancylus Lake and Littorina Sea.

**Гурский Ю.Н.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: yurgur@list.ru)

**Основные результаты исследования геохимии иловых вод  
внутренних морей и процессов в литогидросфере  
Gursky Yu.N.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**The main results of study of Geochemistry interstitial waters of  
inland seas and processes in lithohydrosphere**

Ключевые слова: иловые воды, внутренние моря, донные осадки, геохимия, диагенез, макросостав, литогидросфера, микроэлементы, факторный анализ

Представлен обзор результатов исследования геохимии иловых вод некоторых внутренних морей. Разработаны концепция литогидросферы и ее классификация. Изучены процессы прямой и обратной метаморфизации иловых вод. Выполненный факторный анализ данных.

Проблема изучения геохимии иловых вод впервые была поставлена и сформулирована акад. В.И. Вернадским еще в 30-х гг. минувшего столетия [1]. Он писал: «Не меньшее, если не большее значение имеет в геохимии и в геологии семейство иловых соленых вод. Оно покрывает все дно океанов и морей, а равно и соленых водоемов суши. *Иловые воды* – воды восстановительные; они играют огромную роль в создании биогенных руд и минералов. Они же дают начало той воде, которая входит в состав вод осадочных пород, образовавшихся из морских и наземных илов путем диагенезиса. Подцарство почвенных и *иловых вод* – с точки зрения количественного химического их состава, очень мало выяснено, несмотря на огромное практическое его значение. Перед нами огромная область неизученных явлений. Как раз сейчас действительное внимание геохимиков и океанографов в нашем Союзе обращено к количественному изучению состава морской и океанической иловой воды. К сожалению, нельзя дать точные цифры и для *иловых вод резко ограниченных морей*. В последние годы значение химического исследования всех этих вод и их отличия от основной морской воды стало ясным, и надо думать, что скоро будут собраны новые количественные данные, и наше понимание морских иловых вод резко изменится».

Большое значение проблеме изучения геохимии иловых вод придавал и акад. А.П. Виноградов, организатор и первый заведующий кафедрой геохимии на геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Он писал: «Иловые воды *пелагиали* океанов не изменяют заметно своего состава на большую глубину осадков. Совершенно иное дело – захороненные воды илов морей, богатых органическим веществом, где развиваются восстановительные процессы. Изменения иловых вод в морях

прослеживаются на глубину 10–20 м ила, и, вероятно, идут и глубже, т.е. имеют возраст многие сотни тысяч лет. Илы и иловая вода являются, таким образом, источником йода так называемых йод-бромных пластовых вод осадочных толщ. Со временем, при выпрессовывании жидкой нефти при уплотнении илов, освобождается и захороненная вода, обогащенная в процессе диагенеза ила йодом и бромом» [2].

Под руководством А.П. Виноградова и проф. М.Г. Валяшко мы начинали исследования геохимии иловых вод, начиная с середины 60-х гг. прошлого века. Результаты включают около двух сотен публикаций и рукописных работ, среди которых – дюжина крупных хозяйственных фундаментальных отчетов по изучению химического состава иловых вод и осадков, проблемам экологии и охраны среды. Основная информация содержится в двухтомной монографии автора объемом 107 печатных листов – 786 с. [3, 4]. Отв. редактор – акад. А.П. Лисицын. Главные работы проводились во внутренних морях, хотя велись исследования и в океанах.

В развитие идеи В.И. Вернадского о парагенетических геосферах нами было разработано представление о литогидросфере – водной фазы литосферы, включающей совокупность иловых, поровых и других видов воды в стратиферу, которые в генетическом, или структурном отношении связаны с Мировым океаном и свободной гидросферой. Основным объектом изучения были внутренние моря: Черное, Азовское, Каспийское, Средиземное, Красное, Балтийское, Белое плюс Баренцево.

Цель исследований – изучение закономерностей формирования химсостава иловых вод в донных отложениях внутренних морей, процессов на границе вода – осадок, а в более широком понимании, – процессов в системе литосфера – гидросфера. Задачи: анализ информации о результатах исследований по геохимии иловых и поровых вод; усовершенствование методов и аппаратуры для изучения иловых вод и осадков; разработка методологии комплексного исследования объектов морской литогидросферы; изучение региональных и фациальных закономерностей формирования химического состава иловых вод; выявление генетических отличий иловых вод при седиментации, диагенезе и эпигенезе донных отложений; изучение состава иловых вод и процессов обмена в приустьевых зонах; анализ процессов метаморфизации поровых вод морей по материалам бурения; разработка, обоснование представления о литогидросфере, её классификация.

В тезисах мы можем привести лишь отдельные фрагменты по результатам исследования и небольшой иллюстративный материал. Более полный материал будет представлен в докладе.

Процесс редукции сульфатов, широко развитый в осадках Черного моря (рис. 1), приводит к существенной перестройке анионного состава иловой воды: удалению  $\text{SO}_4$  и повышению  $\text{Alk}$  ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ), затем осаждению  $\text{Ca}^{2+}$  в виде  $\text{CaCO}_3$ :  $2[\text{CH}_2\text{O}] + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S} + 2\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

→  $\downarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Далее рассмотрим типы катионного обмена между иловой водой и поглощенным комплексом осадка:  $\text{Ca}^{2+}_{\text{пк}} + \text{Mg}^{2+}_{\text{ив}} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{\text{ив}} + \text{Mg}^{2+}_{\text{пк}}$ ;  $\text{Ca}^{2+}_{\text{пк}} + 2\text{Na}^{+}_{\text{ив}} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{\text{ив}} + 2\text{Na}^{+}_{\text{пк}}$ .

По результатам проведенных исследований существенно усовершенствована общая методология изучения литогидросферы. Улучшены способы получения и анализа иловой воды и осадков, а также методы обработки данных. Разработана схема комплексных исследований на полигонах по системе фациальных профилей с послойным отбором проб из колонок донных отложений. Комплексные исследования включали анализ химического состава главных ионов, биогенных и микроэлементов иловой и придонной воды, оценку физико-химического состояния среды по величине pH и Eh, изучение геологической ситуации в регионе, стратиграфии осадков и литологии, состава и содержания ОВ, битумоидов и газов. При обобщении результатов использовалась диаграмма природных вод (рис. 2), отношения ионов и методы математической статистики, включая факторный анализ.

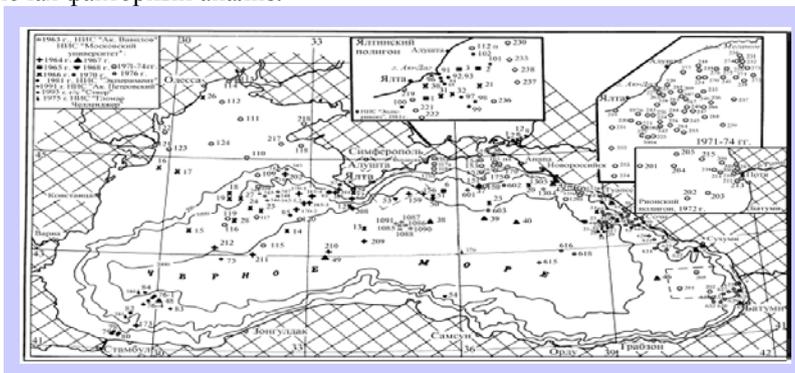


Рисунок 1. Схема расположения станций в Черном море

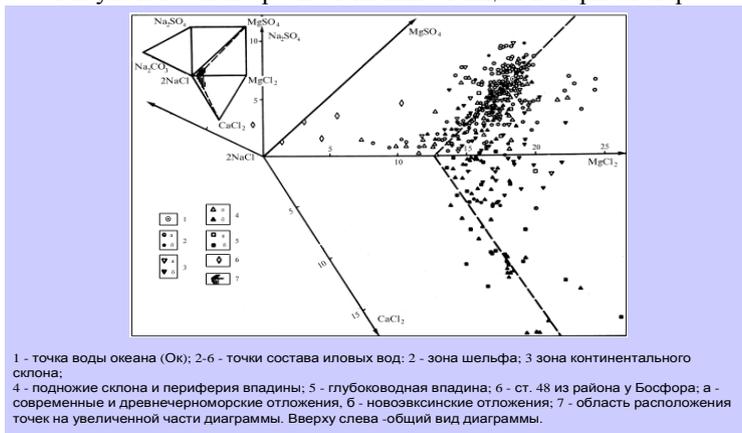
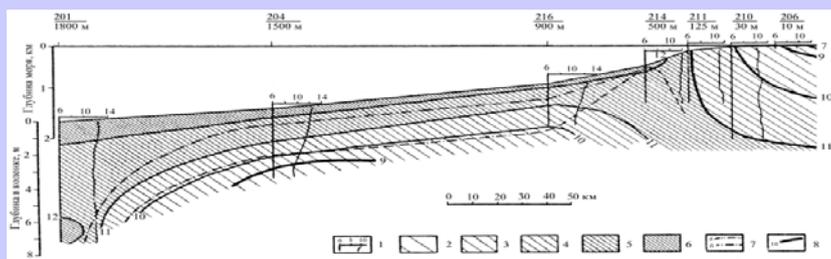


Рисунок 2 Диаграмма химического состава иловых вод Черного моря  
 Для примера приводим широтный профиль распределения хлора от устья р. Риони на восток, до глубоководной впадины (рис. 3).



1 - распределение Cl в колонках, 2-6 - содержание Cl, г/л: 2 - <9; 3 - 9-10; 4 - 10-11; 5 - 11-12; 6 - >12; 7 - границы между современными и древнечерноморскими (а); древнечерноморскими и новозевксинскими (б) отложениями; 8 - линии изоконцентраций Cl-иона.

Рисунок 3. Распределение хлора в иловой воде на профиле от устья р. Риони

Для иллюстрации методов статистической обработки данных приводим результаты факторного анализа данных по Балтийскому морю (табл.). Здесь на первом месте в центральном районе оказался солевой фактор с высокой факторной нагрузкой (58%), который отражает взаимосвязь Na, Cl, Mg, K при участии сульфатредукции и пониженном Eh. Сульфатредукцию хорошо отражает второй фактор, показывающий её связь с глубиной и Eh в колонке: потерю сульфатов и рост щелочности. На Клайпедском полигоне I фактор (33% факторной дисперсии) хорошо отражает накопление калия в восстановительной среде с понижением Eh и глубиной в осадках. На втором месте солевой фактор, отражающий взаимосвязь макроионов, а на третьем – в том и другом районах –накопление Ca с глубиной в колонках (смотри выше катионный обмен (реакцию).

Результаты факторного анализа данных по составу иловых вод Балтийского моря

Ионы и другие показатели	Центральный район (n = 32)			Клайпедский полигон (n = 25)		
	N фактора (% дисперсии)					
	I (58%)	II (22%)	III (10%)	I (33%)	II (22%)	III (17%)
Cl	0,97	0,14	0,17	0,06	0,88	0,36
SO <sub>4</sub>	0,07	-0,96	0,06	0,04	0,69	0,04
Alk	0,57	0,78	0,04	0,21	0,08	0,06
Na	0,98	0,11	0,16	-0,11	0,95	0,21
K	0,92	0,09	-0,01	0,83	0,18	0,25
Ca	0,16	0,09	0,96	0,31	0,21	0,60
Mg	0,96	0,21	-0,01	0,01	0,79	-0,52
Eh	-0,38	-0,68	0,03	-0,86	0,10	-0,24
Глубина в колонке	0,03	0,80	0,37	0,21	0,11	0,94

Результаты исследований показали, что главное направление преобразования химического состава вод морской литогидросферы связано

с прямой метаморфизацией захороненной в отложениях морской воды и формированием поровых вод хлоркальциевого типа. Обратная метаморфизация имеет локальное проявление, ограниченное в пространстве и времени. Предложен рациональный комплекс методов изучения химического состава вод современной морской литогидросферы, который был реализован и испытан на многих геохимических полигонах во внутренних морях. Показана возможность применения данных по составу иловых вод для решения задач прикладного характера при комплексном изучении системы донных отложений. Результаты проведенных исследований создают методическую основу для разработки поисковой гидрогеохимической съемки аномальных проявлений на морском дне.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т. 2. История природных вод. Л.: ОНТИ. Химтеоретиздат, 1933–36. Ч. 1. Вып. 1–3. 562 с.
2. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 215 с.
3. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Т. 1. Методы изучения и процессы формирования химического состава иловых вод в отложениях Черного, Азовского, Каспийского, Белого, Балтийского морей. М.: ГЕОС, 2003. 332 с.
4. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Т. 2. Иловые воды Красного и Средиземного морей. Зоны эстуариев. Закономерности формирования и классификация вод литогидросферы. М.: ГЕОС, 2007. 450 с.

An overview of the results of the study Geochemistry of interstitial waters of some Inland Seas. Developed the idea of lithohydrosphere and was given its classification. Studied processes of direct and inverse metamorphization of interstitial waters. Performed factor analysis of the data.

**Дамм Е.<sup>1</sup>, Виноградова Е.Л.<sup>2</sup>, Улиг К.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт полярных морских исследований Альфреда Вегенера, Бремерхафен, Германия; <sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: [vinogradova@ocean.ru](mailto:vinogradova@ocean.ru); <sup>3</sup>Университет Род Айленд, Кингстон, США)

## **Роль трансарктического дрейфа льда в цикле метана в Северном Ледовитом океане**

**Damm E.<sup>1</sup>, Vinogradova E.L.<sup>2</sup>, Uhlig K.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven, Germany; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Science, Moscow; <sup>3</sup> University of Rhode Island, Kingston, USA)

## **Impacts of the Transpolar sea ice drift to methane pathways in the Arctic Ocean**

Ключевые слова: растворенный метан, трансарктический дрейф льда, арктические поверхностные воды, Северный Ледовитый океан

Насыщение метаном арктических поверхностных вод (АПВ) в евразийском бассейне Северного Ледовитого океана (СЛО) обусловлено взаимодействиями АПВ со льдом. Показаны особенности трансарктического ледового дрейфа, определяющие неоднородности в насыщении метаном АПВ вдоль разреза по 60°Е. Рассчитано накопление метана в АПВ с учетом этих особенностей.

Регистрируемые высокие концентрации метана в атмосфере над районами открытой воды или частично покрытыми льдом в Северном Ледовитом океане (СЛО) [1] указывают на влияние арктического льда на потоки метана в атмосферу. Сокращение площади ледового покрова СЛО, вызванное глобальным потеплением [2], его толщины, постепенное исчезновение многолетнего и увеличение доли однолетнего льда сопровождаются изменением потоков метана на границе вода/лед – атмосфера. В этих условиях механизмы переноса метана в центральный бассейн и выноса его в пролив Фрама, интенсивный обмен метаном между льдом и арктическими поверхностными водами привлекает особое внимание. Включение метана пересыщенных шельфовых вод или осадков в лед осенью и зимой, как и ледовый перенос метана - пропавшее звеном в цикле метана в СЛО.

В 94-м рейсе Поларштерна нами было получено распределение растворенного метана в водах центрального бассейна СЛО и льду.

Лед из центрального бассейна СЛО пересыщен метаном относительно содержания равновесного с атмосферой. Скорости окисления метана и метанотрофная активность, особенно в нижних слоях льда, указывает на роль льда, как потенциального продуцента метана, так и резервуара, сохраняющего шельфовый метан разного генезиса, захваченный льдом в процессе формирования [3].

Локальный контраст в насыщении метаном арктических поверхностных

вод (АПВ) выявляет недосыщение в южных и пересыщение в северных акваториях евразийского бассейна СЛО, обусловленные циркуляцией водных масс и длительностью контакта АПВ со льдом.

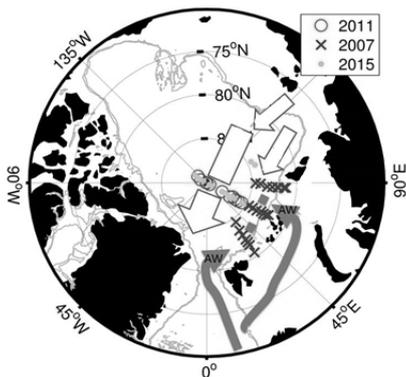


Рисунок. Схема циркуляций трансарктического дрейфа льда, арктических полярных и атлантических вод в евразийском секторе СЛО. Расположение станций по разрезу 60°N: кружками обозначены станции рейса 2011, точками – 2015, крестиками – 2007 гг.

В южном секторе евразийского бассейна недосыщение АПВ метаном наиболее заметно в западной части (30°E), снижается с запада на восток, превышая 90% (90°E). Перемещаясь на юг через Норвежское море и пролив Фрама, воды Атлантики остывают примерно на 10°С до температур близких к температуре замерзания [4]. В результате охлаждения и распреснения вследствие таяния льда растворимость метана увеличивается на 30%. Диффузионное поглощение атмосферного метана контролируется скоростью ветра и низкой проницаемостью льда [5]. Однако течение, направленное вдоль континентальных окраин Шпицбергена и Баренцева моря с юго-запада противоположно ветровому переносу льда с северо-востока [6], обеспечивает лишь кратковременный контакт АПВ со льдом. Выделяющийся из льда метан насыщает АПВ, но недолго.

В северном секторе евразийского бассейна СЛО, где теплые воды Атлантики изначально изолированы подстилающими галоклинные водами, АПВ перенасыщены метаном. Отсюда трансарктическим дрейфом почти  $3.48 \times 10^5$  км<sup>2</sup> льда, сформированного в море Лаптевых, выносятся в пролив Фрама [7, 8]. Ветры и подповерхностные течения перемещают лед в одном направлении с северо-востока на юго-запад [9]. Во время долгого путешествия, в результате длительного контакта АПВ со льдом (вследствие замерзания и таяния льда) формируется солевая конвекция [10, 11]. Здесь однолетний лед сменяется многолетним, отражаясь в его взаимодействии с подстилающими АПВ, пересыщение метаном которых имеет ледовый

генезис.

Рассматривая траектории льда пересекающего 60°E в 2011 и 2015 гг. и изотопный состав кислорода  $\delta^{18}\text{O}$ , мы обнаружили различия в возрасте льда и районах его формирования. Однолетний лед в 2015 г. был сформирован на внешнем шельфе моря Лаптевых в октябре (на 10–11 месяцев ранее) и адвективно вынесен преимущественно офшорными ветрами до 60°E. Здесь фоновые концентрации метана превышают его содержание в АПВ летом 2014 г. [12]. При замерзании в октябре лед захватил немного метана. Это позволило предположить, что однолетний лед, сформированный на внешнем шельфе моря Лаптевых, потенциально вносит небольшое количество метана в трансарктический дрейф.

В 2011 г. разрез вдоль 60°E пересек лед, сформированный 21 месяц назад. В этот год лед в разных сегментах 60°E отличался разными районами формирования. Лед в районе 87.5°N сформированный, главным образом, на внешнем шельфе моря Лаптевых, сопоставим со льдом 2015 г. Лед в районах между 85° и 87.5°N (это районы с АПВ, пересыщенными метаном до 10<sup>4</sup>%), был сформирован в прибрежной полынье в октябре – декабре. Полынья моря Лаптевых формируется в результате адвективного выноса льда от берега в трансарктический дрейф [7]. В районе открытой воды в течение нескольких месяцев формирование льда сопровождается отжатием рассола, обуславливающим зимнюю вертикальную циркуляцию. Конвективное перемешивание усиливает турбулентность и взмучивает взвесь над осадком, способствуя выделению из них метана и поднимая его к поверхности [13]. Кроме метана льдом в процессе быстрого замерзания зимой захватывается и органическая взвесь, способная усваиваться микробальным сообществом.

Насыщение АПВ метаном связано с глубиной проникновения зимней халинной конвекции. Глубина зимнего перемешанного слоя определяет глубину проникновения отжатого рассола в АПВ предыдущей зимой [10], т.о. отражает интенсивность зимнего замерзания. Действительно, экстремальное пересыщение метаном в 2011 г. было локализовано между 85° и 87.5°N в районе с наиболее глубоким слоем зимнего перемешивания, что отражает суровые условия замерзания. Наблюдения, подтверждаются изотопным анализом кислорода  $\delta^{18}\text{O}$ , которое показывает, главным образом, отрицательные фракции талой воды в зимнем перемешанном слое и отражает замерзание с сопутствующим выделением рассола. Положительные фракции талой воды фиксировались лишь в верхних 20 м в 2011 г. В этом случае, трансарктический дрейф переносит и накапливает метан “ледового” генезиса, захваченный изначально в районе прибрежной полыньи моря Лаптевых в суровых условиях зимнего замерзания. Ограниченный стратификацией “избыточный” метан [3] надолго заостается в АПВ благодаря таянию льда летом и последующим замерзанием осенью.

По-разному влияет на сохранность метана в АПВ сезонное таяние льда.

В начале таяния льда, содержащего метан, отжимаемый рассол, содержащий метан, способствует пересыщению им АПВ. При дальнейшем таянии льда распреснение снижает насыщение метаном АПВ. В 2011 г. таяние льда сопровождалось опусканием слоя зимнего перемешивания на глубину менее 1 м. Поэтому распреснение зимнего перемешанного слоя и последующее разбавление метана осталось довольно низким. Пересыщение метаном было локализовано в холодных водах, насыщение в которых растет с охлаждением. Напротив, в 2015 г., когда пересыщение распространилось на распресненные воды, снижение солености во время таяния льда способствовало увеличению насыщения. В дальнейшем тонкий слой пресной воды с летним льдом на поверхности ограничивал поток метана в атмосферу и способствовал его накоплению в АПВ, где окисление метана довольно низкое [3].

Т.о. АПВ являются временным резервуаром для метана, захваченного льдом на сибирском шельфе, который, в конечном счете, обеспечивает поток метана в атмосферу во время штормов или способствует его погружению на глубину при смешивании с глубинными водными массами.

Перенос льда с внутреннего шельфа моря Лаптевых обеспечивает пересыщение метаном АПВ до 200%. При среднем пересыщении 150% экстраполированным на трансарктический дрейф льда (4 млн. км<sup>2</sup>) верхние 30 м АПВ удерживают 3.8 Тг метана. Перенос льда, сформированного в польнье моря Лаптевых, обеспечивает пересыщение метаном АПВ до 10<sup>4</sup>%. Экстраполируя на 100 км<sup>2</sup> и верхние 60 м 3.4 Тг метана захватывается льдом. Сопоставимые объемы метана, захваченные льдом на малых и обширных территориях, подчеркивают значимость особенностей ледового переноса для накопления метана в АПВ. Процессы, инициированные захватом метана льдом на шельфе во время его формирования и выделение метана, при дальнейшем замерзании и таянии указывают на сезонность накопления метана во льду, которые связывают удаленные источники метана с районами его выделения, где и он может, как поглощаться океаном, так и выделяться в атмосферу. Ледовый вынос метана с шельфа моря Лаптевых отражает меньшее пересыщение метаном шельфовых вод в свободные ото льда сезоны [14] по сравнению с другими районами арктического шельфа [12].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kort S.C., Wofsy B.C., Daube M. et al. Atmospheric observation of Arctic Ocean methane emissions up to 82° north // *Nature geosciences*. 2012. DOI: 10.1038/NGEO1452.
2. Parmentier F.J.W., Christensen T.R., Sørensen L.L. et al. The impact of lower sea-ice extent on Arctic greenhouse gas exchange // *Nature climate change*. 2013. DOI: 10.1038/NCLIMATE1784.
3. Damm E., Rudels B., Schauer U., Mau S., Dieckmann G. Methane excess in

Arctic surface water-triggered by sea ice formation and melting // *Scient. Rep.* 2015. DOI: 10.1038/srep16179.

4. Orvik K. A., Niiler P. Major pathways of Atlantic water in the northern north Atlantic and Nordic seas toward Arctic // *Geophys. Res. Lett.* 2002. V. 29(19). P. 1896. DOI:10.1029/2002GL015002.

5. Rutgers van der Loeff M., Cassar N., Nicolaus M., et al. The influence of sea-ice cover on air-sea gas exchange estimated with radon-222 profiles // *J. Geophys. Res., C – Oceans.* 2014. DOI: 10/1002/2013JC009321.

6. Spreen G., Kwok R., Menemenlis D. Trends in Arctic sea ice drift and role of wind forcing: 1992–2009 // *Geophys. Res. Lett.* 2011. V. 38. P. 1–14.

7. Krumpen T., Janout M., Hodges K.L., et. al. Variability and trends in Laptev Sea ice outflow between 1992–2011 // *The Cryosphere.* 2013. V. 7. P. 349–363.

8. Krumpen T., Gerdes R., Haas C., et al. Recent summer sea ice thickness surveys in Fram Strait and associated ice volume fluxes // *The Cryosphere.* 2016. V. 10. P. 523–534.

9. Rudels B. Arctic ocean circulation // *Encycl. of Ocean Sciences / eds. Steele J.H., Turekian K.K., Thorpe S.A.* 2009. Acad. Press Oxford. P. 211–225.

10. Rudels B., Anderson L.G., Jones P. Formation and evolution of the surface mixed layer and halocline of the Arctic Ocean // *J. Geophys. Res.* 1996. V. 101. C4. P. 8807–8821.

11. Korhonen M., Rudels B., Marnela M., et al. Time and space variability of freshwater content, heat content and seasonal ice melt in the Arctic Ocean from 1991 to 2011 // *Ocean Sci.* 2013. V. 9. P. 1015–1055.

12. Thornton B.F., Geibel M.C., Crill P.M. et al. Methane fluxes from the sea to the atmosphere across the Siberian shelf seas // *Geophys. Res. Lett.* 2016. DOI: 10.1002/2016GL068977.

13. Damm E., Schauer U., Rudels B., Hass C. Excess of bottom-released methane in an Arctic shelf sea polynya in winter // *Cont. Shelf Res.* 2007. V. 27. P. 1692–1701.

14. Bussmann I., Hackbusch S., Schaal P., Wichels. Methane distribution and oxidation around the Lena Delta in summer 2013 // *Biogeosciences Discuss.* 2017. <https://doi.org/10.5194/bg-2017-22>, in review.

Methane super- and under-saturation in Polar surface water (PSW) in the Eurasian basin obviously strongly linked to sea ice-ocean interactions. Shifts in sea ice drift pattern within the Transpolar drift stream is evident for inter-annual distinct super-saturations along the 60°E section. The source regions from sea ice at this section have been identified. Methane budgets stored in the PSW have been calculated.

**Дарьин А.В.<sup>1</sup>, Бабич В.В.<sup>1</sup>, Калугин И.А.<sup>1</sup>, Rogozin Д.Ю.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, e-mail: [darin@ngs.ru](mailto:darin@ngs.ru);

<sup>2</sup>Институт биофизики СО РАН, Новосибирск)

**Корреляция химического состава донных осадков озера Беле (Хакасия) с вариациями солнечной активности на временном интервале последних 400 лет**

**Darin A.V.<sup>1</sup>, Babich V.V.<sup>1</sup>, Kalugin I.A.<sup>1</sup>, Rogozin D.Y.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch of RAS, Novosibirsk; <sup>2</sup>Institute of Biophysics Siberian Branch of RAS, Novosibirsk)

**Correlation of the chemical composition of Lake Bele (Khakassia) bottom sediments with variations of solar activity over a time interval of the last 400 years**

Ключевые слова: донные осадки, соленые озера, стратификация, сканирующий микроанализ, геохимические маркеры, солнечная активность

В образцах кернов донных осадков соленого озера Беле (Хакасия) получены распределения микроэлементов на временном интервале 1600–2000 гг. Датировка осадков проведена подсчетом визуально выделяемых годовых слоев и подтверждена данными по распределению изотопов Cs<sup>137</sup> и Pb<sup>210</sup>. Сравнение отношения Mo/Mn с данными о солнечной активности (sun spot number) на временном интервале последних 4-х столетий показало наличие значимой отрицательной корреляции (коэффициент корреляции –0.55).

Отбор кернов донных осадков озера Беле (Хакасия) проводился в 2012 и 2014 гг. с использованием ударных пробоотборников. После вскрытия в лабораторных условиях керны резались вдоль оси отбора на две половины. Половина керна разделялась на дискретные образцы с шагом 10 мм. После сушки эти образцы использовались для физико-химических и изотопных исследований. Вторая половина керна разделялась на твердые препараты, пропитанные эпоксидной смолой, из которых готовились оптические шлифы и образцы для сканирующего рентгено-флуоресцентного микроанализа на пучках синхротронного излучения. Методика пробоподготовки и проведения сканирующего анализа описана в работах [1, 2].

Построение временной модели «глубина керна – возраст осадка» проводилась по данным подсчета визуально выделяемых в шлифах годовых слоев с учетом аналитических исследований отдельных слоев. Детальные исследования внутреннего строения годовых слоев озера Беле и датировка верхнего интервала (0–100 мм) описана в работе [3]. Верификация модели проведена с учетом распределения изотопов Cs<sup>137</sup>, Pb<sup>210</sup> и трех радиоуглеродных датировок (УМС C<sup>14</sup>).

С использованием полученной модели были построены временные ряды

литолого-геохимических данных на временном интервале от современности до 460 г.н.э.

Для сравнения геохимических профилей с вариациями солнечной активности были использованы данные о SSN (sun spot number) с интернет-ресурса NOAA – National centers for environmental information (<https://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-indices/sunspot-numbers>).

Обработка результатов показала, что самую сильную корреляцию SSN имеет с отношением Mo/Mn. Коэффициент корреляции составляет величину  $-0.55$  при годовом сравнении (рис.), и достигает  $-0.68$  для данных, сглаженных 11-летним средним.

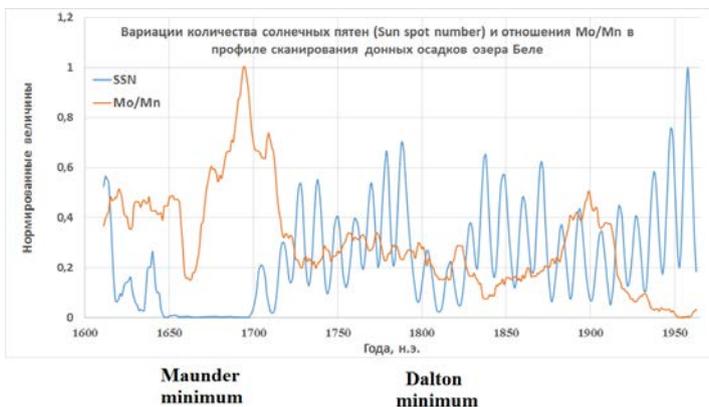


Рисунок. Сравнение нормированных от 0 до 1 величин: Sun spot number (SSN) и отношение Mo/Mn, полученное при сканирующем микроанализе зерна донных осадков оз.Беле.

Следует заметить, что отношение Mo/Mn в мелководных бассейнах является индикатором редокс-условий формирования осадочных последовательностей [4]. Для многих соленых озер характерно формирование меромиктических условий, при которых часть водной толщи не вовлекается в процесс ежегодного перемешивания. В рассматриваемом озере, скорее всего, смена окислительно-восстановительных обстановок является следствием перехода из голомиктического состояния в меромиктическое и обратно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 16-05-00647, 16-05-00657).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. Сканирующий

рентгеноспектральный микроанализ образцов донных осадков с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2013. Т. 77. № 2. С. 204.

2. Дарьин А.В., Ракшун Я.В. Методика выполнения измерений при определении элементного состава образцов горных пород методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2013. № 2 (51). С. 112–118.

3. Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В. и др. Микроаналитическое исследование годовых слоев в современных осадках оз. Беле // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2015. Т. 79. № 1. С. 146.

4. Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса. М.: Геос, 2006. 608 с.

Microelement distributions were obtained in the samples of the salt lake Bele bottom sediments over the time interval 1600-2000. The time model was carried out by counting visually identifiable annual layers and confirmed by data on the distribution of Cs<sup>137</sup> and Pb<sup>210</sup> isotopes. Comparison of the Mo / Mn ratio with the data on the solar spot number over the time interval of the last 4 centuries showed the presence of a significant negative correlation (correlation coefficient -0.55).

**Демина Л.Л., Будько Д.Ф., Соломатина А.С.**

(Институт океанологии им.П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: l\_demina@mail.ru)

**О применении рентгено-флюоресцентного анализа для  
литолого-геохимических исследований донных осадков  
Demina L.L., Budko D.F., Solomatina A.S.**

(Shishov Institute of Oceanology of RAS, Moscow)

**X-ray fluorescence analysis for lithological geochemical studies  
of bottom sediments**

Ключевые слова: рентгено-флюоресцентный анализ, химический состав, донные осадки, Северная Атлантика, Белое море

Обсуждаются первые данные рентгено-флюоресцентного анализа колонок донных осадков из Северной Атлантики и Белого моря. Установлено, что отношения некоторых элементов могут служить геохимическими индикаторами палеосреды осадконакопления.

На основании химического анализа колонок донных осадков можно получить информацию об источниках осадочного вещества, характеристиках палеоклимата, биопродуктивности, океанской циркуляции и других параметрах среды осадкообразования, а также о постседиментационных процессах. В химическом составе донных осадков океанов и морей отражается количественный вклад осадкообразующих процессов: терригенных (привнос с континентов), биогенных (органические остатки, включая скелетные части), гидrogenных (неорганические фракции, осажденные из морской воды), космогенных (метеоритный материал), диагенетических (аутигенные фракции, образующиеся в осадочной толще) [1]. Кроме того, анализ распределения по длине колонки значений отношения ключевых осадкообразующих химических элементов, наряду с микроэлементами, способствует правильной интерпретации полученных данных и позволяет исследовать геохимические индикаторы для реконструкции палеосреды осадконакопления.

Метод рентгено-флюоресцентного анализа (РФА) на основе аппарата СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM (НПО СПЕКТРОН, г. Санкт-Петербург) предоставляет возможность экспрессного и массового количественного анализа большой группы химических элементов (Mg, Al, Si, Ca, K, Fe, Ti, Mn, V, Ni, Cu, Zn, Pb, Co, Sr, Zr, Ba, Sc, P, Cr, Rb, As, S общ.) с достаточно высокой точностью для большинства определяемых элементов ( $< \pm 12\%$ ) и хорошей воспроизводимостью результатов – от 0.1 до 2.5%. Преимущество этого метода заключается в том, что из одной небольшой навески (0.5 г) без предварительного кислотного разложения можно определить концентрацию как породообразующих компонентов, так и микроэлементов, что важно для сопоставления литолого-геохимических данных.

Донные осадки в Северной Атлантике на восточном склоне хребта Рейкьянес в районе дрефта Снорри (ст. 3378, ТБД, длина 466 см) представлены однородным окисленным светло-коричневым илом, обогащенным (до 87%) карбонатным материалом со следами ледового разноса. Выделено 6 МИС, охватывающих период около 190 тыс. лет [2]. Предварительные результаты показали значительную вариабельность по длине колонки содержания породообразующих окислов Al, Fe, Si, Ca, а именно, ритмичное чередование их высоких и низких концентраций, что, по-видимому, обусловлено изменениями условий осадконакопления в ледниковые и межледниковые периоды. Минимумы содержания приурочены как с современным осадкам (гор. 0–10 см), так и к более древним. Отмечается синхронность изменения литогенных элементов Al и Si по колонке (с коэффициентом корреляции  $R^2=0.96$ ), а также некоторых тяжелых металлов (Fe, V, Cr, Zn) и элементов-индикаторов терригенного привноса (Ti и Zr) (рис. 1); что может свидетельствовать о терригенном источнике этих элементов.

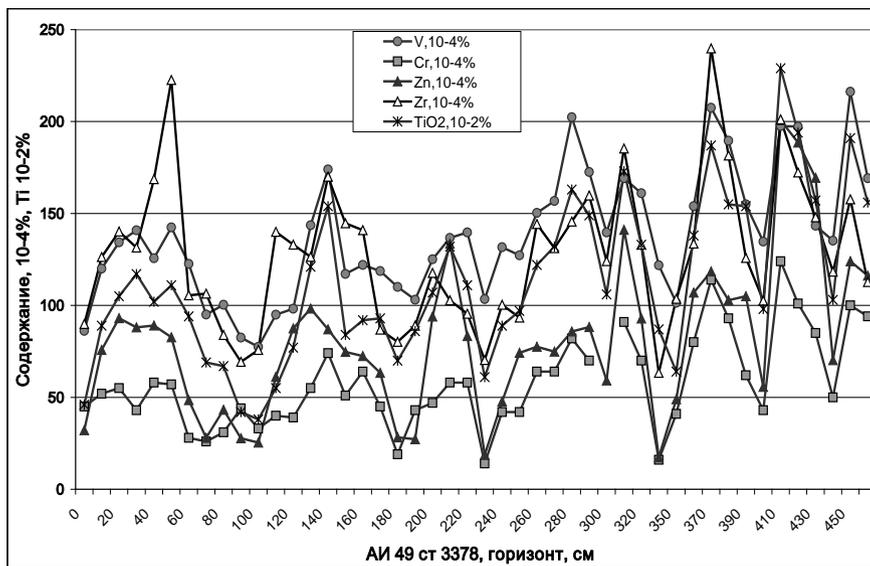


Рисунок 1. Синхронное и ритмичное изменение содержания V, Cr, Zn, Zr и Ti в колонке донных осадков на ст. 3378 (59°29. 977 с.ш., 32°50.533 з.д., глуб. 2192 м) в Северной Атлантике.

Вариации вертикального распределения Al, Fe, Si, V, Cr, Zn, Zr и Ti вполне закономерно находятся в противофазе с изменениями Ca, который в данном случае (фораминиферо-кокколитофоридовые осадки) служит индикатором биогенного карбоната накопления. С другой стороны, также на

протяжении всей колонки можно отметить синхронные вариации Ca и Sr ( $R^2=0.79$ ), являющихся основными компонентами биогенных карбонатных осадков. Выделяются 3 пика высоких содержаний Ca и Sr – на гор. 0–10, 90–100 и 350–360 см (рис. 2). Отношение Sr/Ca служит геохимическим индикатором климатических изменений: ледниковые периоды ( $\delta^{18}\text{O}$ ) характеризуются минимальными значениями Sr/Ca, межледниковья – высокими отношениями Sr/Ca, Rb/Sr [3]. По нашим предварительным данным, вариации отношения Sr/Ca в донных осадках ст. 3378 соответствуют выделенным Е.А. Новичковой [2] МИС 1-6.

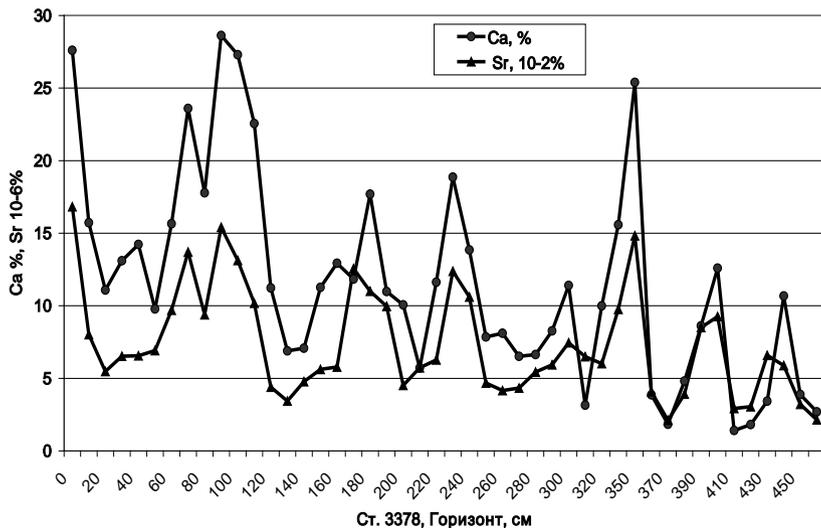
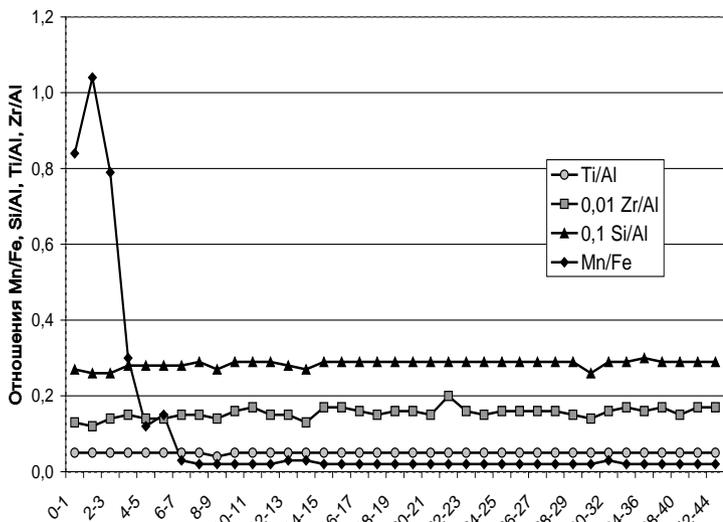


Рисунок 2. Синхронное изменение Ca и Sr по длине колонки ст. 3378 (59°29.977 с.ш., 32°50.533 з.д., глуб. 2192 м) в Северной Атлантике.

В геохимических исследованиях алюминий как консервативный в процессах выветривания и миграции элемент и имеющий близкие концентрации в ряду от кислых до основных пород, обычно используется для нормализации содержания химических элементов, в частности, микроэлементов, с целью корректировки разбавляющего эффекта карбонатного и силикатного (кремневого) материала и для последующего сопоставления с аналогичными нормированными значениями по осадочным породам земной коры. Однако нормировка по Al неприемлема в случае, если доля терригенного материала в осадке (карбонатном или кремнистом) составляет менее 3–5%, а также, если в составе форм Al доминирует его аутигенная (глинистая или гидроксидная) фракция [4]. Если определен низкий коэффициент вариации Al (ниже коэффициента вариации для микроэлементов), то разнообразные сопоставления и корреляции следует

более корректно делать, исходя из оригинальных (ненормированных) значений концентрации. Кроме того, в ряде работ для расчета общего содержания литогенной части донных осадков предложена формула:  $Al_{вал}(\%) \cdot 11.65$  [5].

В колонках морских донных осадков для характеристики относительной крупности частиц используются индикаторы размерности частиц (Si/Al, Ti/Al и Zr/Al), исходя из следующего факта. По сравнению с алюмосиликатами кварц (SiO<sub>2</sub>), рутил (TiO<sub>2</sub>) и циркон (ZrSiO<sub>4</sub>) обладают более высоким показателем твердости ( $\geq 7$  по шкале Мооса), что приводит к их нахождению в более крупных гранулометрических фракциях – алевритовой и мелко-песчанистой – по сравнению с алюмосиликатными, в основном глинистыми минералами. Эти литолого-геохимические "гранулометрические" индикаторы были применены нами при изучении высокоразрешающей колонки (Трубка Неймисто) голоценовых морских осадков Белого моря, ст. 1404, однородных по гранулометрии (85–96% пелитовой фракции), с хаотичными пятнами гидротроилита, охватывающих возрастную диапозон до 500 лет. Как видно из рис. 3, отношения Si/Al, Ti/Al и Zr/Al практически не изменяются по всей длине колонки, что подчеркивает постоянство преобладания пелитового материала в этих терригенных осадках.



Ст. 1404, Белое море, Горизонт, см

Рисунок 3. Отношение Si/Al, Ti/Al, Zr/Al и Mn/Fe по длине высокоразрешающей колонки донных осадков ст. 1404, Белое море.

С другой стороны, в поверхностном 6-см отношении редокс-чувствительных металлов Mn/Fe резко увеличивается по сравнению с нижележащей толщей (рис. 3). Отношение Mn/Fe используется для палеорекострукции динамики кислорода [6], которая обуславливает окислительно-восстановительные условия среды осадкообразования. Наши исследования геохимических форм нахождения металлов показали, что резкое возрастание отношения Mn/Fe происходит за счет геохимически подвижных форм (адсорбированной, карбонатной и аморфных Fe-Mn гидроксидов), формирующихся в верхнем осадочном слое в результате раннедиагенетических процессов Mn [7].

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну за поддержку работы, А.А. Ключиткину, Н.В. Политовой и Е.А. Новичковой за сбор материала в Северной Атлантике. Работа выполнена в соответствии с Госзаданием ФАНО по теме № 0149-2016-0001, при финансовой поддержке РФФИ, проект №15-05-08372, а также грантов РНФ, проекты № 14-50-00095 и № 14-17-00681.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goldberg E.D. Mineralogy and chemistry of marine sedimentation // *Submarine geology* / F.P. Shepard (Ed.). New York: Harper and Row, 1963. P. 436–466.
2. Новичкова Е.А., Саввичев А.С., Баширова Л.Д. и др. Литолого-биогеохимические исследования донных осадков Северной Атлантики // *Океанология*. 2017, в печати.
3. Wien K., Kolling M., Schulz H. Close correlation between Sr/Ca ratios in bulk sediments from the Southern Cape basin SPECMAP record // *Geo-Mar. Lett.* 2005. V. 25. P. 265–271.
4. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза. Литологическая геохимия. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 741 с.
5. Лукашин В.Н. Формы элементов в осадках // *Биогеохимия океана* / отв. ред. А.П. Лисицын. М.: Наука, 1983. С. 312–344.
6. Naeher S., Gilli A., North R.P. et al. Tracing bottom water oxygenation with sedimentary Mn/Fe ratios in Lake Zurich, Switzerland // *Chemical Geology*. 2013. V. 352. P. 125–133.
7. Демина Л.Л., Будько Д.Ф., Алексеева Т.Н. и др. Особенности распределения микроэлементов в процессах раннего диагенеза осадков Белого моря // *Геохимия*. 2017. № 1. С. 107–112.

The first data obtained by the X-ray fluorescence analysis on geochemistry of bottom sediments cores from the North Atlantic and White Sea are presented. Character of distribution of ratios of some elements may be used as geochemical proxies of sedimentation paleo-environment.

**Дубинина Е.О., Коссова С.А., Мирошников А.Ю.**

(Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, e-mail: [elenadelta@gmail.com](mailto:elenadelta@gmail.com))

## **Изотопная ( $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta\text{D}$ ) систематика вод в Арктическом секторе России**

**Dubinina E.O., Kossova S.A., Miroshnikov A.Yu.**

(Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow)

## **Water isotope ( $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta\text{D}$ ) systematics at the Russian Arctic Zone**

Ключевые слова: изотопы кислорода и водорода, соленость, морская вода, Арктика, опреснение, континентальный сток

Был изучен и систематизирован изотопный состав кислорода и водорода воды арктических морей. Используя изотопный состав и TS-корреляции, были идентифицированы основные водные массы. Для изученных регионов была установлена роль опреснения и трансформации солености из-за образования морского льда.

В современных исследованиях для идентификации вод и течений в морских бассейнах используются естественные трассеры молекулы воды – изотопный состав кислорода и водорода. В Арктическом регионе, где процессы испарения играют подчиненную роль, связь величин  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  с соленостью определена, главным образом, природой пресного компонента, поступающего в морские воды – региональных атмосферных осадков и речного стока [1–4]. Однако изотопные параметры воды изменяются не только в процессах опреснения, но и при замерзании и таянии льда. За счет резкого изменения солености на фоне малых величин изотопного фракционирования в системе «вода–лед» [5] возникает трансформация связи «изотопный состав–соленость». Такие трансформированные воды формируются в зонах с малыми глубинами, низкими скоростями перемешивания и высокой степенью промерзания. Современная точность измерений позволяет получать прецизионные данные для двух изотопных систем молекулы воды, которые можно использовать не только для изучения вышеуказанных процессов, но и для идентификации морских водных масс, где величины  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  варьируют слабо.

Данная работа выполнена с применением современных методов прецизионного изотопного анализа в образцах, отобранных с помощью гидрофизического комплекса Rosette вдоль крупных трансмаринных разрезов. Основная цель работы – систематизация изотопных параметров морских и пресных вод, присутствующих в регионе, количественная оценка пропорций их смешения и выявление зон трансформации в водах Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых. Для каждого из этих морей характерна разная интенсивность процессов опреснения и формирования

льда [6]. В Баренцевом море солевой и изотопный состав формируется за счет североатлантических водных масс [7]. Для Карского моря характерна высокая интенсивность процессов опреснения [3, 8]. В зоне шельфа моря Лаптевых большое влияние на соотношение изотопных параметров и солености оказывает формирование морского льда [4].

Материал для изотопных исследований был отобран в ходе трех арктических экспедиций НИС «Профессор Молчанов» (2012 г., Баренцево море), НИС «Профессор Штокман» (2014 г., Карское море) и НИС «Академик Мстислав Келдыш» (2015 г., Карское море и море Лаптевых). Изотопный анализ кислорода проведен методом изотопного уравнивания воды с  $\text{CO}_2$  с использованием приборного комплекса GasBenchII и автосэмплера PAL. Измерения изотопного состава кислорода в  $\text{CO}_2$  проведены методом CF IRMS на масс-спектрометре DELTA V+ (Thermo, Finnigan). Изотопный анализ водорода проведен методом DI IRMS с использованием масс-спектрометра DELTAplus (Thermo, Finnigan). Разложение микро-образцов ( $0.001 \text{ см}^3$ ) водных проб с выделением из них водорода проводилось на горячем ( $800^\circ\text{C}$ ) хrome. Величины  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ , приведенные в международной шкале V-SMOW, получены калибровкой относительно международных стандартов V-SMOW и V-SLAP. Точность определения величин  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$  составила  $\pm 0.1$  и  $\pm 0.3\%$  соответственно.

Воды *Баренцева моря* изучались в пределах меридионального профиля, берущего начало от Кольского полуострова («Кольский меридиан»), в профиле через Горло Белого моря и пяти профилях от архипелага Новая Земля в СЗ направлении. Изотопные данные и данные о солености указывают на гомогенность и отсутствие существенной стратификации в водной толще Баренцева моря. Все воды, отобранные с глубин более 5 м, имеют узкий интервал солености ( $33.20\text{--}34.96\%$ ), а размах вариаций изотопного состава кислорода и водорода составляет всего 0.9 и 5.2% соответственно.

Источником вод Баренцева моря являются североатлантические воды, поскольку все изученные пробы расположены вдоль глобальной линии смешения вод Северной Атлантики в координатах  $\delta^{18}\text{O}$ -соленость. На данной диаграмме хорошо проявлены две плотные области: воды, отобранные на профиле «Кольский меридиан» ( $S=34.36\pm 0.02$ ) и воды профилей к СЗ от архипелага Новая Земля ( $S=34.85\pm 0.09$ ). По изотопным параметрам эти водные массы тоже различаются. Для вод «Кольского меридиана» характерен более легкий изотопный состав кислорода и водорода. Возможно, что в формировании этих вод участвуют воды Норвежского прибрежного течения (NCC, [7]), а гомогенность изотопных параметров является результатом эффективного перемешивания в зоне Кольского меридиана.

В водах Баренцева моря, отобранных к СЗ от архипелага Новая Земля, доминирует водная масса с соленостью  $34.90\pm 0.04$  и величинами  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$

+0.26±0.10 и +1.55±0.38% соответственно. По солености и изотопному составу кислорода эти воды соответствуют водам северо-восточного глубинного атлантического течения (NEADW, [5]).

Процессы опреснения вод *Карского моря* изучались по материалам двух рейсов, проведенных в августе-сентябре 2014 и 2015 гг. В экспедиции 2014 г. был исследован субмеридиональный профиль от п-ова Ямал до залива Благополучия на архипелаге Новая Земля (далее Ямальский профиль). В экспедиции 2015 г. изучен профиль через Карское море, расположенный вдоль архипелага Новая Земля (далее Новоземельский профиль). Воды Карского моря резко стратифицированы за счет опреснения водами Оби и Енисея. Изотопный состав кислорода и водорода пресного компонента близок к составу вод Оби и Енисея. Рассчитанное содержание речных вод для разреза вдоль Ямальского профиля составило в основной части водной толщи – 5–10%, на глубинах свыше 100 м – менее 5%. Максимальная доля пресного компонента (выше 40%) наблюдалась в области тонкого (не более 15–20 м) поверхностного слоя, расположенного в центральной части моря. Результаты аналогичного расчета для Новоземельского профиля (2015 г.) по модели двухкомпонентного смешения вод NEADW с речным стоком дали аналогичный результат. Таким образом, речное происхождение опресненного поверхностного слоя в центре Карского моря не вызывает сомнений.

В *море Лантевых* изучен субмеридиональный профиль от аванделъты Лены через всю зону шельфа, и захватывающий часть континентального склона («Ленский профиль»). Картина, полученная для этого моря, оказалась намного сложнее, чем простое опреснение речным стоком. На диаграмме  $\delta D$ -соленость, построенной для Ленского профиля, кроме процессов смешения наблюдаются вариации составов, связанные с формированием и морского льда. Наиболее яркой чертой вод зоны шельфа является их резкая стратификация по солености и изотопному составу кислорода и водорода. Для поверхностных вод явно прослеживается влияние речного стока Лены, большей частью это воды станций, находящихся недалеко от устья реки. При экстраполяции на нулевую соленость, усредненные изотопные параметры речного стока Лены составили  $\delta^{18}O = -19$  и  $\delta D = -144\%$ . Полученная величина  $\delta^{18}O$  близка к опубликованным единичным оценкам (от 18.7 до 19.8‰ [10–12]). По-видимому, полученные изотопные параметры ( $\delta^{18}O$  и  $\delta D$ ) можно считать характеристикой эстуарных вод Лены.

Воды станций Ленского профиля, расположенных в зоне континентального склона, показали принципиально иное поведение изотопных параметров и солености. Здесь наблюдаются наиболее высокие значения величин S,  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  и их наименьшие вариации. Соотношение изотопных параметров и солености соответствует модели двухкомпонентного смешения только в первом приближении. Параметры

пресного компонента в этой зоне характеризуют усредненный состав атмосферных осадков полярной Арктики на 76–78 градусах северной широты. Сложное строение водных масс в этой зоне, фиксируемое по T-S данным, подразумевает вклад нескольких водных масс, в том числе поступающих из зоны шельфа.

Устойчивая стратификация вод в зоне шельфа в море Лаптевых, по-видимому, является одним из главных факторов формирования вод с аномально высокой соленостью по отношению к линии двухкомпонентного смешения на диаграмме «изотопный состав-соленость». Интенсивное формирование морского льда приводит к трансформации солености, что отмечалось и другими исследователями [10, 13]. Нами этот процесс наблюдался в средней части профиля, непосредственно от окончания дельты Лены до континентального склона, на глубинах, превышающих отметку 20 м. Характерным признаком вод с трансформированной соленостью оказалось отсутствие ее связи с величинами  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ . На шельфе моря Лаптевых данные воды обладают следующими чертами: их соленость достаточно высока (30–34.5‰), они имеют низкую температуру (от 0.6 до 1.8°C) и сильно варьирующие величины  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ . При отсутствии значимой корреляции с соленостью, вариации этих величин обнаруживают связь с глубиной отбора пробы. Это означает, что верхние горизонты подвергаются более сильной трансформации при замерзании, чем нижние. Сам факт сохранности вертикального распределения изотопных параметров в водах с трансформированной соленостью свидетельствует о высокой устойчивости стратификации вод в зоне шельфа моря Лаптевых.

Полученный материал позволил систематизировать новую информацию о водных массах, преобладающих в Баренцевом, Карском морях и море Лаптевых. Формирование изотопных, гидрофизических параметров и структуры вод этих арктических морей контролируется двумя основными факторами: смешением водных масс и трансформацией их солености в процессе формирования морского льда. Соотношение этих факторов определяет изотопно-геохимические черты и структуру вод изученных разрезов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bauch D., Hölemann J.A., Dmitrenko I.A. et al. Impact of Siberian coastal polynyas on shelf-derived Arctic Ocean halocline waters // *Journal of Geophysical Research*. 2012. V. 117.
2. Bauch D., Erlenkeuser H., Andersen N. Water mass processes on Arctic shelves as revealed from  $^{18}\text{O}$  of  $\text{H}_2\text{O}$  // *Global and Planetary Change*. 2005. V. 48. P. 165–174.
3. Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov I.S., Sidorova M.V. A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the

- Arctic Ocean // American Journal of Science. 1996. V. 296. P. 664–691.
4. Redfield A.C., Friedman I. The effect of meteoric water, melt water and brine on the composition of polar sea water and of the deep waters of the ocean // Deep-Sea Research. 1969. V. 16. P. 197–214.
  5. Lehmann M., Siegenthaler U. Equilibrium oxygen- and hydrogen-isotope fractionation between ice and water // Journal of Glaciology. 1991. V. 37. P. 23–26.
  6. Aagard K. The Role of Sea Ice and Other Fresh Water in the Arctic Circulation // Journal of geophysical research. 1989. V. 94(10). P. 14485–14498.
  7. Schauer U., Loeng H., Rudels B. et al. Atlantic water flow through the Barents and Kara Seas // Deep-Sea Research. 2002. V. 1(49). P. 2281–2298.
  8. Hazlick D., Aagard K. Freshwater and Atlantic Water in the Kara Sea // Journal of geophysical research. 1980. V. 85(9). P. 4937–4932.
  9. Frew R.D., Dennis P.F., Heywood K.J. et al. The oxygen isotope composition of water masses in the northern North Atlantic // Deep-Sea Research. 2000. V. 47. P. 2265–2286.
  10. Bauch, D., Hölemann J., Willmes S. et al. Changes in distribution of brine waters on the Laptev Sea shelf in 2007 // Journal of Geophysical Research. 2010. V. 115. P. C11008.
  11. Létolle R., Martin J., Thomas A. et al.  $^{18}\text{O}$  abundance and dissolved silicate in the Lena delta and Laptev Sea (Russia) // Marine Chemistry. 1993. V. 43. P. 47–64.
  12. Mueller-Lupp T., Erlenkeuser H., Bauch H.A. Seasonal and interannual variability of Siberian river discharge in the Laptev Sea inferred from stable isotopes in modern bivalves // Boreas. 2003. V. 32(2). P. 292–303.
  13. Johnson M.A., Polyakov I.V. The Laptev Sea as a source for recent Arctic Ocean salinity changes // Geophysical Research Letters. 2001. V. 28(10). P. 2017–2020.

Oxygen and hydrogen isotope composition of Arctic Sea's waters was studied and systematized. Using the isotope composition and TS correlations the main water masses were identified. Role of fresh water input and salinity transformation due to sea ice formation was established for studied regions.

**Ершова Е.А., Кособокова К.Н.**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: [xcosobokova@ocean.ru](mailto:xcosobokova@ocean.ru))

## **Пилотные исследования зоопланктона Восточно-Сибирского моря: структура мезопланктонных сообществ на разрезах от шельфа в океан**

**Ershova E.A., Kosobokova K.N.**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

## **Cross-shelf distribution and structure of mesozooplankton communities in the East-Siberian Sea – a pilot study**

Ключевые слова: зоопланктон, Восточно-Сибирское море, видовой состав, биомасса, водные массы

По материалам 2009 и 2015 гг. и историческим данным, собранным в 1946–48 гг., исследовали видовой состав, пространственное распределение и структуру планктонных сообществ Восточно-Сибирского моря. Полученные результаты могут быть использованы для выявления изменений, происходящих в пелагических экосистемах сибирского шельфа в связи с изменениями ледовитости и климатическими изменениями в Арктическом регионе.

Несмотря на несомненное расширение и активизацию арктических морских исследований в последние десятилетия, большинство из них до последнего времени проводилось в относительно легкодоступных районах Европейского и Североамериканского секторов Арктики. Менее исследованными остаются районы сибирского шельфа, несмотря на их огромное значение для ледообразования и формирования циркуляции вод в Арктическом бассейне. Восточно-Сибирское море (ВСМ) до последнего времени оставалось наименее изученным среди других сибирских арктических морей из-за его удаленности и сложных ледовых условий, затрудняющих проведение в нем судовых экспедиций. Вместе с двумя соседними шельфовыми морями – Карским и Лаптевых – ВСМ является важным источником пресной воды для Северного Ледовитого океана и играет ключевую роль в формировании арктического галоклина, отделяющего холодную и опресненную полярную воду от теплого и более соленого Атлантического слоя [1–2].

Арктика быстро меняется, и наиболее заметные изменения происходят именно в секторе, к которому прилегает ВСМ [3–4]. Исторически это море всегда было покрыто многолетним льдом с относительно небольшой площадью открытой воды в короткий летний сезон. В последние десятилетия отсутствие льда в период сезонного ледового минимума на всем восточносибирском шельфе стало не редкостью [5]. Как и в других районах Арктики, это может иметь серьезные последствия для морских

экосистем этого региона. Увеличение площади открытой воды, изменение закономерностей циркуляции и стратификации вод могут привести к изменениям продолжительности и интенсивности цветения фитопланктона, изменениям его качественного состава, а затем сказаться и на его потребителях - зоопланктоне и представителях более высоких уровней морской пищевой цепи.

Задачей нашего исследования было обобщение и анализ данных о структуре зоопланктонных сообществ ВСМ на основании сопоставления исторических материалов, собранных в период, когда регион был покрыт многолетним паковым льдом (август-сентябрь 1946 и 1948 гг., рис.), с современными данными (август-сентябрь 2012 и 2015 гг.), собранными в тот же сезон, но в свободных ото льда водах.

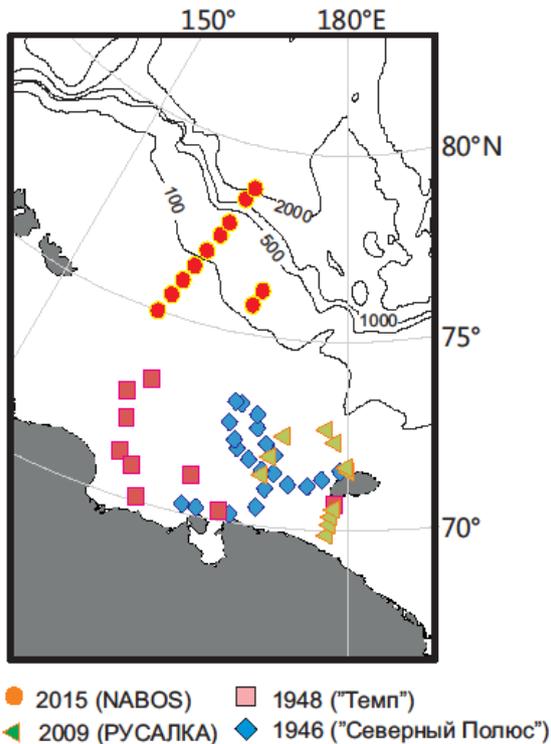


Рисунок. Схема расположения планктонных станций исторических и современных экспедиций в Восточно-Сибирском море

Исторические данные о планктонных сообществах шельфа ВСМ, полученные в экспедициях ледокола «Северный Полюс» в 1946 г. и э/с «Темп» в 1948 г. [6–7] немногочисленны. В качестве современных данных

мы использовали материалы по зоопланктону, собранные на границе с Чукотским морем в экспедиции «РУСАЛКА» в 2009 г. [4], и пробы, собранные в ВСМ в сентябре 2015 г. в экспедиции научно-исследовательского ледокола «Академик Трешников» по программе NABOS-2015. В 2015 г. зоопланктон собирали на двух разрезах (11 станций), простиравшихся от шельфа ВСМ (глубины ~ 35 м) до глубоководного Арктического бассейна (глубины ~ 1500 м) сетями Джели с размером ячеей 180 мкм и диаметром входного отверстия 37 см послойно (рис.). Исследовали видовой состав зоопланктона, его пространственное распределение и структуру планктонных сообществ от мелководий ВСМ до континентального склона Арктического бассейна.

Всего в пробах 2009 и 2015 гг. было идентифицировано 66 таксономических категорий зоопланктона, но количество таксонов на каждой станции и в каждом обловленном слое воды было низким, обычно не превышая 20-30. Наибольшее разнообразие зоопланктона было обнаружено в самых глубоких слоях на наиболее удаленных от берега станциях. Большинство зарегистрированных таксонов было типично для арктических шельфовых и арктических эпи- и мезопелагических сообществ, однако ближе к краю шельфа в планктоне были также встречены атлантические (*Calanus finmarchicus*) и тихоокеанские (*Metridia pacifica*, *Eucalanus bungei*) виды-экспатрианты. В исследованном в 2015 г. районе отсутствовали представители эвригалинной или солоноватоводной фауны. Исключением явилась лишь копепода *Eurytemora herdmanni*, характерная для опресненных речными водами районов сибирского шельфа.

Биомасса зоопланктона по данным 2009 и 2015 гг. колебалась от 10 до 100 мг сух. веса м<sup>-3</sup>. Наиболее высокой она была на станциях в районе континентального склона, главным образом, за счет высокого обилия крупных копепод *Calanus glacialis*, *C. hyperboreus* и *Metridia longa*. На мелководном шельфе биомасса была ниже, не превышая 10-20 мг сух. веса м<sup>-3</sup>. Основным ее компонентом в этих районах были копеподы *Pseudocalanus* spp. и *Oithona similis*. Копеподы и щетинкочелюстные давали самый высокий вклад в биомассу, составляя 20-30% ее суммарной величины на всех станциях, причем щетинкочелюстные *Parasagitta elegans* доминировали на шельфе и склоне, а *Eukrohnia hamata* замещали их в более глубоких районах.

Биомасса зоопланктона на исследованной акватории Восточно-Сибирского моря оказалась ниже, чем в соседнем Чукотском море (40-100 мг сух. веса м<sup>-3</sup>), но выше, чем по оценкам, полученным в 1946-48 гг. [6-7]. Интересно обнаружение в исследованных водах «оазисов» тихоокеанских и атлантических копепод, численность и относительный вклад которых в биомассу, однако, были невелики. Интересно также, что в шельфовых сообществах были обнаружены эфаузииды, предположительно, тихоокеанского происхождения. Эти планктонные животные могут являться

важным источником пищи для китов, встречающихся в регионе.

Несмотря на более низкое таксономическое разрешение в протоколах исторических данных по сравнению с современными, используя всю совокупность данных мы выделили в регионе пять крупных комплексов зоопланктона, распределение которых было связано с особенностями физических характеристик присутствующих здесь водных масс. Полученные результаты могут быть использованы для выявления и оценки изменений, происходящих в пелагических экосистемах сибирского шельфа в связи с изменениями ледовитости и климатическими изменениями в Арктическом регионе.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы NABOS-2015, а также РФФИ (проект № 16-04-00375) и Российского Научного Фонда (проект № 14-50-00095).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Williams W.J., Carmack E.C. The «interior» shelves of the Arctic Ocean: Physical oceanographic setting, climatology and effects of sea-ice retreat on cross-shelf exchange // *Progress in Oceanography*. 2015. V. 139. P. 24–41.
2. Bluhm B.A., Kosobokova K.N., Carmack E.C. A tale of two basins: An integrated physical and biological perspective of the deep Arctic Ocean // *Progress in Oceanography*. 2015. V. 139. P. 89–121.
3. Wood K.R., Bond N.A., Danielson S.L. et al. A decade of environmental change in the Pacific Arctic region // *Progress in Oceanography*. 2015. V. 136. P. 12–31.
4. Ershova E.A., Hopcroft R.R., Kosobokova K.N. et al. Long-Term Changes in Summer Zooplankton Communities of the Western Chukchi Sea, 1945–2012 // *Oceanography*. 2015. V. 28. P. 100–115.
5. Overland J.E., Wang M. When will the summer Arctic be nearly sea ice free? *Geophys Res Lett* // 2013. V. 40. P. 2097–2101.
6. Бродский К.А. Веслоногие рачки (Calanoida) дальневосточных морей СССР и Полярного бассейна. М.-Л.: Издательство Академии Наук СССР, 1950.
7. Павштикс Е.А. Обзор состава и количественного распределения зоопланктона в Восточно-Сибирском море // *Исследования фауны морей*. 1994. Т. 48. № 56. С. 17–46.

We examine recent (September 2009, 2015) as well as historical (August–September 1946, 1948) data to describe the distribution and community structure of poorly studied mesozooplankton in the East-Siberian Sea.

**Злобин А.А.**

(Новосибирский государственный университет, Новосибирск, e-mail: [andrewthestalker@yandex.ru](mailto:andrewthestalker@yandex.ru))

**Биогеохимическая характеристика верхнеюрских микробных сообществ Западной Сибири по результатам спектральных и структурных методов исследования**

**Zlobin A.A.**

(Novosibirsk State University, Novosibirsk)

**Biogeochemical characteristics of Upper Jurassic microbial communities in Western Siberia from the results of spectral and structural methods of investigation**

Ключевые слова: микробные сообщества, биоредукция, фужерит, верхняя юра  
Западная Сибирь

С помощью сканирующего электронного микроскопа, микрозондового химического и рентгенографического анализов проведено изучение структуры и минерального состава тонкослоистых строматолитов, тромболитов и онколитов из отложений верхнего оксфорда – киммериджа Приуральской части Западной Сибири. На палеогеографической схеме цианобактериальные образования обрамляют вулканические постройки пермо-триасового возраста, представляющие острова в позднеюрском морском бассейне. Строматолиты в виде корок и пластовых построек (толщиной от 3–5 см до 5 м) залегают на разных уровнях в разрезах, перекрывая глаукониты, глины, алевроиты, гравелитопесчаники. Установлена однородность ультрамикроструктуры в биолитах с частым чередованием слоев различной окраски. Породы, вероятно, сложены разрушенными коккоидными формами (диаметром 1–2.5 мкм) и фоссилизированным гликокаликсом. Цвет зелёных слоев не связан с концентрированием зёрен глауконита, как предполагалось ранее, а возможно, является побочным продуктом биоредукции одноосновного оксида железа ( $\gamma$ -FeO(OH)) с образованием комплексных карбонатных, сульфатных соединений типа «green rust». В минеральном составе преобладают кальцит (в том числе Mn разновидности), апатит, сидерит. Зафиксирована примесь глинистого материала, пирита, гипса, барита. Для реконструкции развития цианобактериальных образований на территории Западной Сибири, были привлечены опубликованные данные и выполнен сравнительный анализ с изохронными осадками Приуральской части Русской плиты, включающими микробные сообщества.

Детальное изучение верхнеюрских тонкослоистых строматолитов в западной (Приуральской) части Западной Сибири началось в 2000 г., когда Ю.Н. Занин (ИНГГ СО РАН), описывая с коллегами керн скважин Лазаревской и Даниловской площадей Шаимского нефтегазоносного района района (НГР), впервые идентифицировал цианобактериальные образования в прослоях карбонатных пород. Автор данной работы исследовал структуру

и минеральный состав биолитов из разрезов верхней юры, вскрытых скважинами на Усть-Иусской площади Шаимского НГР. Результаты, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ), микрондового химического и рентгенографического анализов, дополняют материалы, опубликованные Ю.Н. Заниным с соавторами [1, 2].

Карбонатно-терригенные отложения позднеюрской региональной трансгрессии накапливались на западном борту Шаимского мегавала (Андреевская площадь) и на склонах вулканических конусообразных структур (Тальниковая, Лазаревская, Даниловская, Северо-Даниловская, Усть-Иусская площади), сформировавшихся в результате пермо-триасового рифтогенеза (Даниловский грабен) и в значительной степени разрушенных к началу верхней юры [3]. Мелкостолбчатые тонкослоистые строматолиты в виде корок и пластовых построек (толщиной от 3–5 см до 5 м) прослеживаются на разных уровнях георгиевского горизонта, перекрывая глауконититы, глины, алевроиты, гравелитопесчаники. Кроме того, в разрезах отмечаются глинисто-карбонатные прослои с тромболитами и онколитами. Тромболиты полностью фосфатизированы, глауконитизированы или сидеритизированы.

Слоистая структура онколитов и строматолитов обусловлена визуально частым чередованием слоев различной окраски (желтовато-серой, коричневой, красно-коричневой, зелёной), которая определяется изменениями в минеральном составе. При изучении образцов в СЭМ с энергетическим спектрометром для химического анализа микрообъектов оказалось, что цвет зелёных слоев не связан с концентрированием зёрен глауконита, как предполагалось ранее, а, вероятно, является побочным продуктом биоредукции одноосновного оксида железа ( $\gamma\text{-FeO(OH)}$ ) с образованием комплексных карбонатных, сульфатных соединений типа «green rust» (рис. 1). Энергетические спектры показывают, что это фужерит ( $\text{Fe}^{2+}_4\text{Fe}^{3+}_2(\text{OH})_{12}[\text{CO}_3]\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) – минерал из группы двойных слоистых гидроксидов, который кристаллизуется в аноксидных обстановках с образованием зелёных полупрозрачных пластинок субмикронного диаметра. Устойчивость микролитов обеспечивается замещением части  $\text{Fe}^{2+}$  на  $\text{Mg}^{2+}$  или  $\text{Zn}^{2+}$ , так как в нормальной воздушной среде пластинки быстро разлагаются в результате окисления, дегидратации и декарбонатизации [4, 5]. Большие кристаллы фужерита были экспериментально синтезированы в результате бактериального (с использованием *Shewanella putrefaciens*) восстановления в анаэробной среде  $\text{FeO(OH)}$ , широко распространенного в естественных условиях [5]. Однако минеральная фаза, полученная без примеси  $\text{Mg}^{2+}$  или  $\text{Zn}^{2+}$ , существовала только в присутствии активных бактерий и трансформировалась в магнетит и сидерит, когда микроорганизмы были уничтожены. Таким образом, можно предполагать, что слои с низким содержанием стабилизирующих катионов изменили свою окраску после гибели бактерий подобных *Shewanella putrefaciens*.

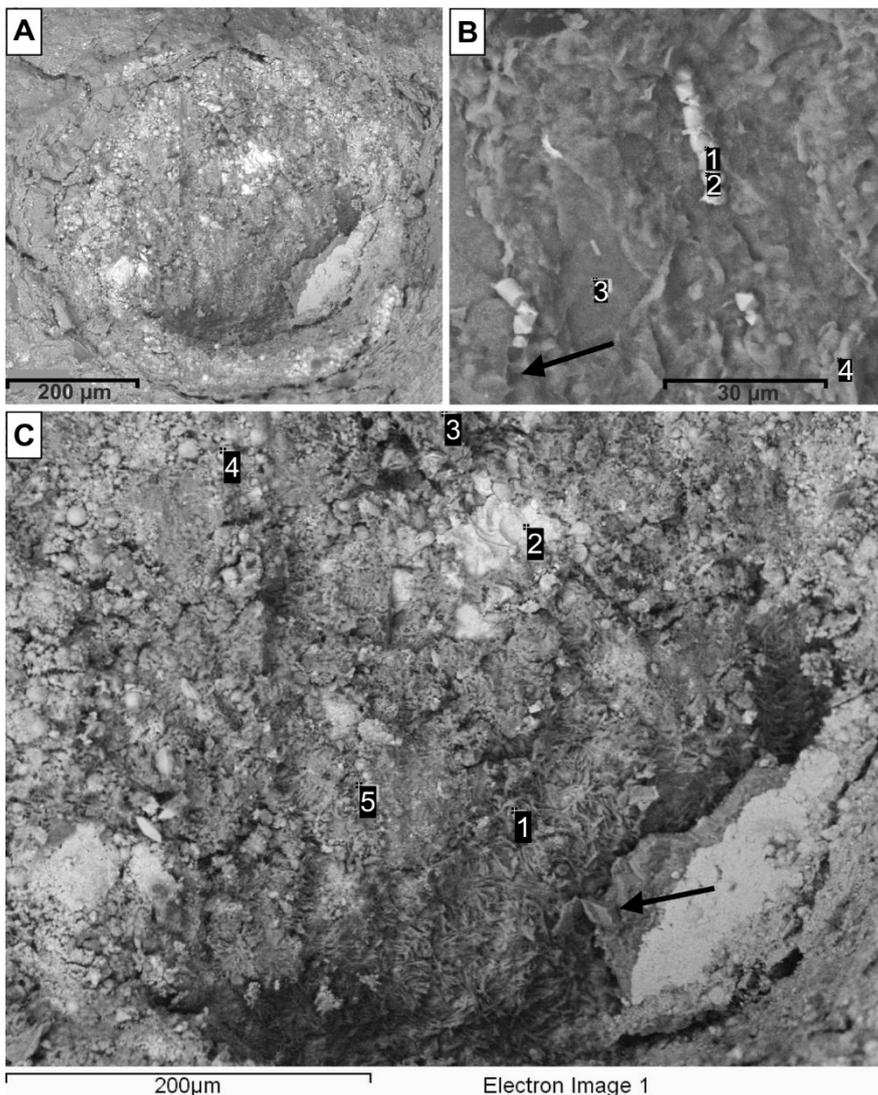


Рисунок 1. Цианобактериальные образования в верхнеюрских отложениях Усть-Иусской площади: А – микроонколит (увеличенный фрагмент на рис. С); В – распадающиеся на отдельные клетки трихомы цианобактерий, замещённые пиритом (1, 2), и округлые углубления (стрелка) в глинисто-карбонатном матриксе (3, 4), трассирующие положение нитей до выпадения клеток; С – пластинчатые агрегаты фужерита (1, 5 и стрелка), сульфид цинка (2), сульфат (3), пирит (4).

В целом, ультрамикроструктура различных слоев однородна и формируется разрушенными коккоидными формами (диаметром 1–2.5 мкм) и фоссилизированным гликокаликсом цианобактерий (рис. 2). В минеральном составе преобладают кальцит (в том числе Мп разновидности), апатит, сидерит. Присутствует примесь глинистого материала, пирита, гипса, барита. Слойки желтовато-серого цвета с выраженным металлическим блеском интенсивно сульфидизированы.

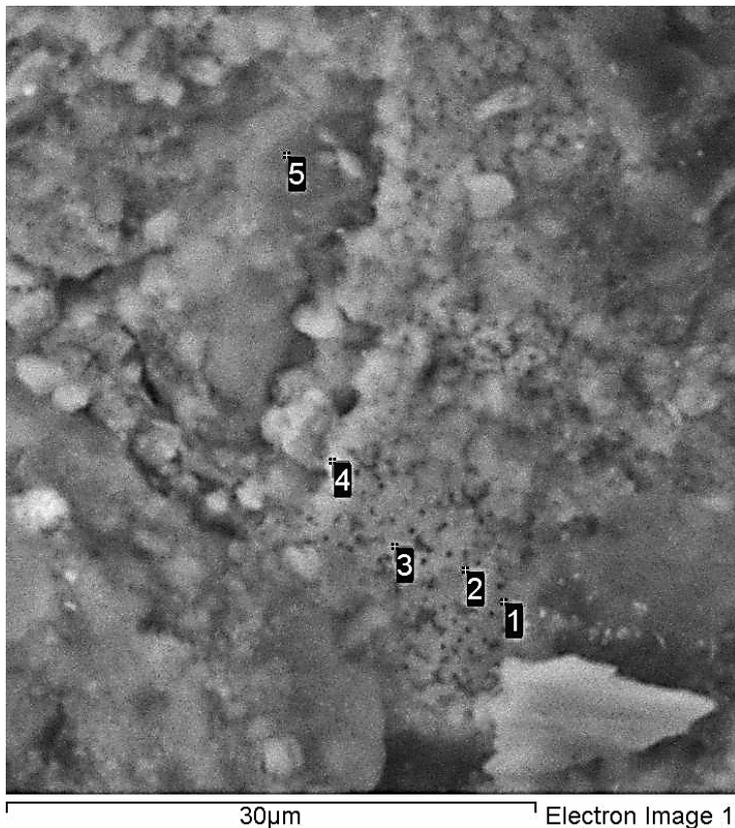


Рисунок 2. Коккоиды и чехлы цианобактерий, замещённые карбонатом (1–4), между ними аморфное глинисто-карбонатное вещество (5).

Структуры биолитов и обстановки их формирования в Шаимском районе во многом схожи с характеристиками микробиальных сообществ в изохронных осадках Приуральской части Русской плиты, за исключением интенсивной фосфатизации последних [6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Занин Ю.Н., Эдер В.Г., Замирайлова А.Г. Бактериальные формы в глауконитах из верхнеюрских отложений Западно-Сибирской плиты // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 6. С. 774–777.
2. Eder V.G., Algarra A.M., Navas A.S. et al. Depositional controls on glaucony texture and composition, Upper Jurassic, West Siberian Basin // Sedimentology. 2007. V. 54. № 6. P. 1367–1387.
3. Злобина О.Н. Опыт реконструкции ландшафтов юры Приуральской части Западной Сибири // Палеонтология биостратиграфия и палеобиогеография бореального мезозоя: Материалы научной сессии, посвященной член–корр. АН СССР В.Н. Саксу. Новосибирск: Изд–во «Гео», 2006. С. 182–185.
4. Blass, G., Graf, H.W., Pichler, A. Sekundäre Neubildungen in Schlacken von St. Martin am Silberberg in Kärnten (2) // Mineralien–Welt. 1997. № 8(6). P. 54–55.
5. Ona–Nguema G., Abdelmoula M., Jorand F. et al. Iron (II, III) Hydroxycarbonate Green Rust Formation and Stabilization from Lepidocrocite Bioreduction // Environmental Science and Technology. 2002. V. 36. № 1. P. 16–20.
6. Малёнкина С.Ю. Осадочные процессы в юрских микробиальных сообществах Русской плиты // Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов. Материалы научной сессии, посвященной член–корр. АН СССР В.Н. Саксу. Новосибирск: Изд–во ИНГГ СО РАН, 2011. Т. 1. С. 157–162.

The structure and mineral composition of thin-layered stromatolites, thrombolites and oncolites from the upper Oxfordian-Kimmeridgian deposits of the Urals part of Western Siberia were studied using the scanning electron microscope, microprobe chemical and radiographic analysis. On the paleogeographic scheme, cyanobacterial formations are framed by volcanic buildings of Permian-Triassic age, representing islands in the Late Jurassic marine basin. Stromatolites lie at different levels in the form of crusts and strata structures (3-5 cm to 5 m thick) in the sections, overlapping clays, silts, and gravel sandstone. It has been established that the ultramicrostructure is uniform in biolites with a frequent alternation of layers of different colors. The rocks are probably composed of destroyed coccooid forms (diameter 1-2.5 microns) and fossilized glycolysis. The color of the green layers is not related to the concentration of glauconite grains, as previously thought, and, perhaps, it is a by-product of the bioreduction of monobasic iron oxide ( $\gamma$ -FeO (OH)) and the formation of complex carbonate, sulfate compounds of the "green rust" type. The mineral composition is dominated by calcite (including Mn varieties), apatite, siderite. An admixture of clayey material, pyrite, gypsum, barite is fixed. Published data was collected and comparative analysis was performed with isochronous sediments of the Ural part of the Russian plate, including microbial communities, to reconstruct the development of cyanobacterial formations on the territory of Western Siberia.

**Кокрятская Н.М.<sup>1</sup>, Титова К.В.<sup>1</sup>, Шевченко В.П.<sup>2</sup>,  
Вахрамеева Е.А.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail: nkokr@yandex.ru; <sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва)

**Биогеохимия донных осадков озёр острова Вайгач  
Kokryatskaya N.M.<sup>1</sup>, Titova K.V.<sup>1</sup>, Shevchenko V.P.<sup>2</sup>,  
Vakhrameeva E.A.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>N.Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Biogeochemistry of the bottom sediments of lakes on the  
Vaigach Island**

Ключевые слова: Арктика; диагенез донных осадков; органическое вещество; реакционноспособное железо; восстановленная сера.

В донных осадках двух озёр острова Вайгач определен гранулометрический состав, определено количество органического углерода, алюминия, кремния, фосфора, форм реакционноспособного железа и соединений восстановленной серы. Полученные данные свидетельствуют о вялости протекающих в осадках редокс-процессов.

Актуальность исследований биогеохимических процессов, протекающих в водоемах Субарктики и Арктики, определяется, прежде всего, нестабильностью их экологического состояния, особенно в условиях изменения климата. Потепление в высоких широтах способствует таянию вечной мерзлоты, при этом законсервированное в криолитозоне органическое вещество (ОВ) начинает поступать в глобальный кругооборот, что приводит к нарушению локальных и региональных биогеохимических циклов химических элементов.

Пробы донных осадков для исследования отобраны в августе 2010 г. в ходе Северной комплексной экспедиции Института экологических проблем Севера УрО РАН. Озеро Талатинское расположено в тундре центральной части острова и по своим морфометрическим характеристикам (длина 2.2 км, ширина 1.6 км, глубина 1 м) относится к малым [1]. Керн для исследования отобран в точке с координатами N 70°13'33.9"; E 59°13'43.0". Рядом с Талатинским чуть выше на небольшом склоне находится очень небольшое (длина и ширина около 10 м) термокарстовое озерко глубиной не более метра, названное нами Тундровым. В нём отобраны пробы в точке с координатами N 70°13'34.0"; E 59°12'15.0".

Содержание Al, Si и P были определены фотометрическим методом [2]. Различные формы серы определяли методом систематического фазового анализа [3], позволяющего определять различные формы серы из одной пробы осадка. Реакционноспособное железо извлекали из осадка

натуральной влажности экстракцией 3.5N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и анализировали согласно [4]. Общий и органический углерод/азот определяли на CHN-анализаторе фирмы «Хьюлетт Паккард» [5].

Осадки обоих озер представляют собой довольно плотные илы коричневатого-серого цвета с влажностью для озера Тундровое от 20.0 до 25.7% (22.0% в среднем), для озера Талатинское от 27.8 до 41.3% (34.6% в среднем). По мере углубления в толщу отложений их влажность уменьшается незначительно.

По данным гранулометрического анализа донные отложения обоих озер близки по содержанию фракций и представлены алеврито-пелитовыми глинистыми илами с содержанием алеврита до 80.45% и 61.90% в озерах Талатинском и Тундровом соответственно. Основное различие между осадками этих водоемов в содержании грубодисперсной фракции, представленной в обоих случаях песком, содержание которого составляет в среднем 0.25% в оз. Талатинском и 17.38% в оз. Тундровом.

В составе донных осадков обоих изученных озер преобладает литогенный материал (рис.1). Содержание Al, являющегося индикатором литогенного вещества, в донных осадках озера Талатинского варьирует от 2.76 до 7.47% (6.36% в среднем), в озере Тундровом – от 7.28 до 8.88% (8.15% в среднем), что близко к среднему содержанию Al в верхней части континентальной земной коры (8.15%) [6]. Здесь и далее все концентрации даны в расчете на сухой осадок. Содержание Si в донных осадках озера Талатинского варьирует от 12.27 до 32.33% (22.74% в среднем), озера Тундрового – от 20.03 до 26.48% (23.0% в среднем), а в верхней части континентальной земной коры – 31.12% [6]. Содержание P в донных осадках озера Талатинского находится в пределах от 0.03 до 0.07% (0.06% в среднем), озера Тундрового – от 0.04 до 0.07% (0.05% в среднем). Среднее содержание P в верхней части континентальной земной коры составляет 0.066% [6].

В осадках обеих станций в общем содержании углерода преобладает органическая составляющая – C<sub>орг</sub> составляет в среднем 80% от C<sub>общ</sub>. Можно отметить, что осадки озера Талатинского более обогащены органическим веществом по сравнению с озером Тундровым – содержание C<sub>орг</sub> составляет 1.16–2.43% (1.82% в среднем) и 0.64–1.47% (0.99% в среднем), соответственно. Повышенное содержание ОВ характерно для верхних слоев осадков обоих озер (рис. 1). По мере углубления в их толщу для озера Талатинского закономерных изменений C<sub>орг</sub> не выявлено. В осадках озера Тундрового на фоне явного уменьшения этого показателя с глубиной можно отметить наличие хорошо выраженного максимума на горизонте 9–10 см. С таким распределением C<sub>орг</sub> хорошо согласуется вертикальный профиль N<sub>орг</sub> – так в осадках озера Талатинское его количество также максимально в самом верхнем слое – 0.41–0.77%, затем содержание азота резко снижается и далее практически не выходит за

границы интервала 0.10–0.18%, а величина C/N-отношения при этом заметно возрастает к низу колонки. В осадках озера Тундровое азота более чем на порядок меньше чем в озере Талатинском; в распределении  $N_{орг}$  отмечается наличие максимума в слое 9–10 см (0.11%) при среднем значении показателя 0.04.

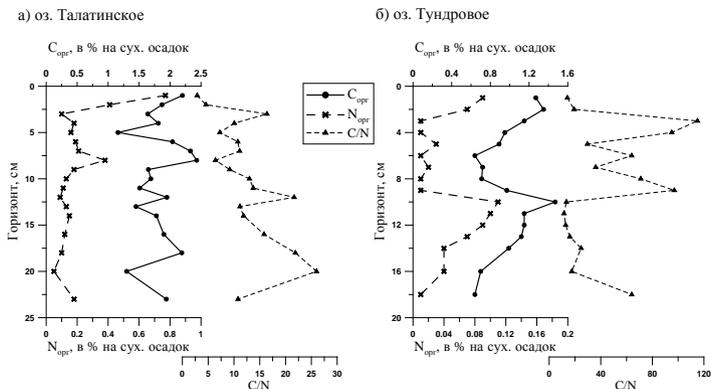


Рисунок 1. Распределение органического углерода, азота и их соотношения в осадках озер острова Вайгач.

Содержание реакционноспособного железа ( $Fe_{реакц}$ ) не только определяет уровень накопления в осадках восстановленной серы, но по соотношению его форм можно судить о направленности протекающих в осадках редокс-процессов. Для осадков обеих станций количество  $Fe_{реакц}$  изменяется в интервале 0.40–1.30% при среднем значении 0.79%. Причем различия в величине этого показателя для исследованных озер не велики: для оз. Талатинского – от 0.58 до 1.30% (в среднем 0.93%), для оз. Тундровое – от 0.40 до 0.92% (в среднем 0.62%). Основной вклад в состав  $Fe_{реакц}$  по всей длине колонки оз. Талатинского вносит несulfидное  $Fe(II)$  – 62.0% от  $Fe_{реакц}$  (52.9–66.3%). Доля железа, связанного с серой максимальна в подповерхностном горизонте (17.5%) при том, что во всех остальных случаях в составе  $Fe_{реакц}$  она не превышает 4–6%. В осадках озера Тундрового, напротив, преобладает  $Fe(III)$  – 88.7% от  $Fe_{реакц}$  (75.0–93.9%), т.е. они более окислены по сравнению с осадками озера Талатинского. Закономерных изменений в вертикальном распределении как двух- так и трехвалентного железа для обоих озер в пределах длины исследованных колонок не выявлено.

В осадках озера Талатинского было определено содержание соединений восстановленной серы – производных бактериального сероводорода (рис. 2), составляющих в сумме ( $\Sigma S_{H_2S}$ ) не менее 80% от общего количества серы. Соединения восстановленной серы (сульфидная, пиритная, элементная и

органическая) присутствовали в отложениях по всей анализируемой толще отложений (16 см). Это объясняется тем, что, несмотря на присутствие кислорода в наддонной воде (глубина озера 1 м), внутри и на поверхности частиц ОВ, поступающего в осадок, возникают микроочаги анаэробных условий, благоприятные для протекания процесса сульфатредукции [7].

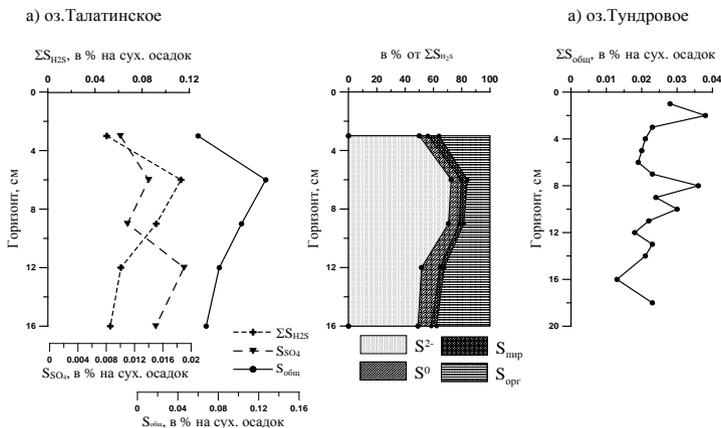


Рисунок 2. Распределение форм серы и их соотношение в составе  $\Sigma S_{H2S}$  в осадках озер Талатинское и Тундровое.

Общее содержание восстановленной серы в осадках озера Талатинского изменялось от 0.050 до 0.113%, составляя в среднем 0.075%. Наиболее высокие значения  $\Sigma S_{H2S}$  отмечены на горизонте 3–6 см и обусловлены максимальным накоплением сульфидных форм серы (моносульфидной и пиритной), образование которых происходит при взаимодействии бактериального сероводорода с  $Fe_{реакц}$ . Можно предполагать, что именно здесь – в условиях аэробно-анаэробного диагенеза, процесс сульфатредукции протекает наиболее интенсивно. По мере углубления в толщу отложений количество  $\Sigma S_{H2S}$  заметно уменьшается (рис. 2а). Как рассматривалось выше, в осадках этого озера доминирующей формой  $Fe_{реакц}$  является Fe(II), т.е. в исследованном довольно тонком слое отложений лабильное органическое вещество расходуется главным образом на восстановление трехвалентного железа, а не серы, поскольку в ходе диагенетического преобразования донных отложений реакции перехода  $Fe^{3+}$  в  $Fe^{2+}$  по времени опережают сульфатредукцию.

В осадках озера Тундрового определено только общее количество серы ( $S_{общ}$ ), содержание которой изменялось от 0.013 до 0.038%, составляя в среднем 0.023%, что почти в четыре раза меньше, чем в осадках озера Талатинского (0.088%). В вертикальном распределении  $S_{общ}$  (рис. 2б)

выделяются два максимума – на горизонте 1–2 см (0.038%) и на горизонте 9–10 см (0.030%), совпадающие с наиболее высокими значениями  $C_{орг}$  в осадках этого водоема.

В целом, полученные данные по накоплению восстановленной серы в донных осадках двух озер острова Вайгач можно характеризовать как относительно низкие, свидетельствующие о вялости протекающих в них редокс-процессов. Низкий уровень накопления сернистых соединений, вероятно, можно объяснить высокой степенью минерализации ОВ осадков и, как следствие, недоступностью его для сульфатредуцирующих бактерий. В осадках озера Талатинского, кроме того, значительная часть лабильной органики расходуется на восстановление трехвалентного железа, опережающее по времени сульфатредукцию в ходе диагенетического преобразования донных отложений.

Авторы благодарны И.Н. Болотову и С.А. Игловскому за предоставление проб донных осадков, Р.Б. Ивахновой за определение содержания углерода и азота, А.Б. Исаевой и Е.О. Золотых за определение содержания алюминия, кремния и фосфора. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Проекта УрО РАН № 15-2-5-36.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вехов Н.В. Озера и реки острова Вайгач // География и природные ресурсы. 2000. № 6. С. 67–74.
2. Гельман Е.М., Старобина И.З. Фотометрические методы определения порообразующих элементов в рудах, горных породах и минералах. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1976. 69 с.
3. Волков И.И., Жабина Н.Н. Методы определения различных соединений серы в морских осадках // Химический анализ морских осадков. М.: Наука, 1980. С. 5–27.
4. Соколов В.С. Определение реакционноспособных форм железа и марганца в морских осадках // Химический анализ морских осадков. М.: Химия, 1980. С. 28–42.
5. Методы количественного органического элементного микроанализа / Под ред. Н.Э. Гельмана. М.: Химия, 1987. 296 с.
6. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. V. 3. The crust. Amsterdam: Elsevier. 2003. P. 1–64.
7. Волков И.И. Геохимия серы в осадках океана. М.: Наука, 1984. 272 с.

In the bottom sediments of the two Arctic lakes on the Vaigach Island, the particle size distribution was determined, the amount of organic carbon, aluminum, silicon, phosphorus, forms of reactive iron and compounds of reduced sulfur was determined. The obtained data testify to the lethargy of the redox processes taking place in the sediments.

**Копелевич О.В.<sup>1</sup>, Артемьев В.А.<sup>1</sup>, Глуховец Д.И.<sup>1,2</sup>,  
Муравья В.О.<sup>1,2</sup>, Салинг И.В.<sup>1</sup>, Вазюля С.В.<sup>1</sup>,  
Шеберстов С.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: [oleg@ocean.ru](mailto:oleg@ocean.ru);

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (Государственный Университет),  
Долгопрудный)

## **Оценка биогеохимических характеристик поверхностного слоя вод Баренцева моря летом 2017 г. по оптическим данным**

**Kopelevich O.V.<sup>1</sup>, Artemiev V.A.<sup>1</sup>, Glukhovets D.I.<sup>1,2</sup>, Muravya  
V.O.<sup>1,2</sup>, Sahling I.V.<sup>1</sup>, Vazyulya S.V.<sup>1</sup>, Sheberstov S.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>Moscow Institute of Physics and  
Technology (State University), Dolgoprudny)

## **Assessment of biogeochemical characteristics of the surface layer in the Barents Sea from optical data in summer 2017**

Ключевые слова: биогеохимические характеристики вод, оптические методы,  
поверхностный слой, Баренцево море, лето 2017

Комплекс оптических характеристик вод Баренцева моря измерен контактными и дистанционными методами летом 2017 г. в 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Полученные данные использованы для оценки биогеохимических характеристик вод поверхностного слоя (концентрации хлорофилла, фитопланктона, взвеси, содержания окрашенного органического вещества).

Оптические свойства морской воды зависят от количественного и качественного состава содержащегося в морской воде вещества, в частности таких важных его составляющих, как взвешенные частицы, фитопланктон, окрашенное растворенное органическое вещество (ОРОВ). Соответственно, оптические характеристики содержат информацию о содержании вышеуказанных компонентов и могут использоваться для их оценки. Преимущество оптических методов перед прямыми определениями биогеохимических характеристик заключается в возможности оперативной оценки посредством непрерывных контактных и дистанционных измерений, включая спутниковые наблюдения.

В 68-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» выполнялся комплекс оптических измерений, который включал измерения на дрейфовых станциях и непрерывно на ходу судна с помощью проточной системы. На дрейфовых станциях измерялись вертикальные профили температуры и показателя ослабления света посредством погружаемого прозрачномера, отбирались пробы воды с выбранных горизонтов для лабораторных определений спектров флуоресценции ОРОВ и пигментов фитопланктона лазерным спектрометром, а также спектров поглощения морской воды,

фильтратов и взвешенных частиц посредством измерителя спектрального поглощения с интегрирующей сферой. Комплекс световых измерений, выполнявшийся в светлое время суток, включал измерения спектрального состава солнечного излучения, выходящего из водной толщи, с помощью плавающего спектрорадиометра, поверхностной и подводной ФАР посредством прибора Li-COR, спектральных величин поверхностной и подводной облученности приборами Е-метр и RAMSES.

С помощью проточной системы непрерывно измерялись флуоресценция хлорофилла Хл и ОРОВ, температура Т и соленость S посредством проточного флуориметра с соответствующими датчиками (рис. 1).

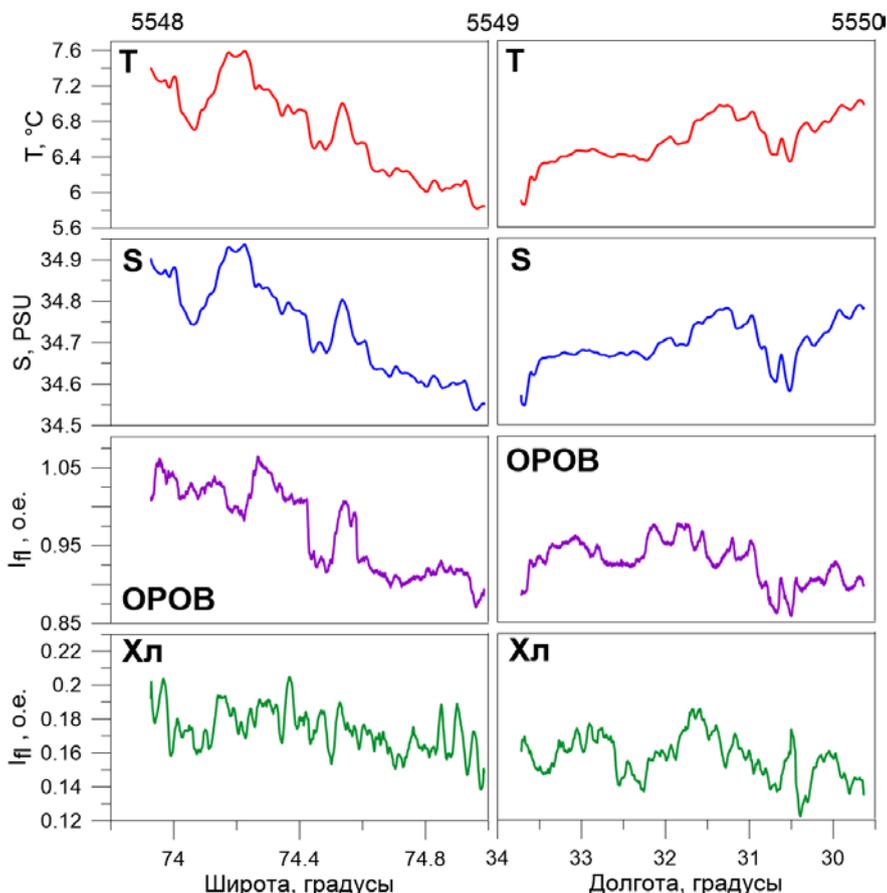


Рисунок 1. Пример измерений с помощью проточной системы (см. текст).

Пространственное распределение биогеохимических характеристик и

связанных с ними оптических параметров в поверхностном слое Баренцева моря обусловлено, в первую очередь, распространением Атлантической воды с повышенной температурой и соленостью, поступающей через западную границу моря между побережьем Норвегии и Шпицбергенем, и Арктической воды с низкой температурой и пониженной соленостью, входящей с севера. Граница между этими водными массами – Полярный фронт, положение которого в значительной степени зависит от рельефа дна [1, 2].

Непрерывные измерения с помощью проточной системы дали возможность обнаруживать положение Полярного фронта на переходах между станциями. На ст. 5549 вода Арктическая, а на ст. 5548 и 5550 – Атлантическая (рис. 1); здесь, вблизи Центральной возвышенности, от северной ветви теплого и соленого Нордкапского течения, часть вод отделяется и поворачивает на запад и юго-запад [1, 2].

Измерения на станциях позволили исследовать вертикальную структуру гидрологических, биогеохимических и оптических характеристик, часть которых для гор. 5 м приведена в таблице. Видны резкие различия по температуре, показателю ослабления света, концентрации хлорофилла (по данным измерений флуоресценции) между ст. 5549 и двумя другими; на ст. 5550 наблюдается ярко выраженное кокколитофоридное цветение и, соответственно, увеличение концентрации взвешенных частиц (значения  $N_{\text{coc}}$  и TSM оценены по данным измерений плавающим спектрорадиометром).

Таблица Гидрологические, оптические и биогеохимические параметры на разных станциях

№ ст. Параметр	5548	5549*	5550	5566	5580
Широта, N	73 <sup>0</sup> 55'	75 <sup>0</sup> 00'	75 <sup>0</sup> 10'	77 <sup>0</sup> 29'	70 <sup>0</sup> 14'
Долгота, E	33 <sup>0</sup> 51'	33 <sup>0</sup> 44'	29 <sup>0</sup> 36'	63 <sup>0</sup> 35'	35 <sup>0</sup> 27'
T°C	7.55	6.00	7.14	3.07	9.78
S, епс	34.98	34.96	35.00	34.41	34.44
c, м <sup>-1</sup>	0.71	0.64	1.32	0.22	3.5
a <sub>ps</sub> , м <sup>-1</sup>	0.078	0.087	0.11	0.037	0.092
Chl, мг·м <sup>-3</sup>	2.4	0.82	1.3	0.41	1.3
N <sub>coc</sub> , млн.кл./л	1.0	-	2.4	0	6.9
TSM, мг/л	0.52	-	1.3	0.067	3.5
Z <sub>б</sub> , м	8	-	4.5	22	2.5
Z(1%), м	20	-	18	51	12

\* Ст. 5549 выполнялась в темное время суток и световые измерения не проводились.

Между значениями некоторых параметров на рис. 1 и в таблице

наблюдаются различия, связанные, по-видимому, с разницей измерений во времени и по глубине (2.7 и 5 м).

В таблице также представлены данные для станций с наиболее чистыми (ст. 5566 – глубина видимости белого диска  $Z_0 = 22$  м, глубина 1%-ной облученности  $Z(1\%) = 51$  м) и наиболее мутными водами (ст. 5580 – 2.5 и 12 м соответственно). Ст. 5566 находится в Арктических водах (на разрезе от Земли Франца-Иосифа к Новой Земле), а ст. 5580 – в зоне Норвежского Прибрежного течения.

Арктические воды к северу от  $79^0$ с.ш. и на вышеупомянутом разрезе характеризуются наиболее высокой прозрачностью и низкой концентрацией хлорофилла, исключая станции вблизи ЗФИ и Новой Земли.

Кокколитофоридные цветения (КЦ) наблюдались только в Атлантических водах, к югу от Полярного фронта. К сожалению, сплошная облачность на протяжении большей части экспедиции препятствовала получению спутниковых данных, и только в конце рейса появились «окна», благодаря которым удалось получить представление о расположении КЦ и провести там комплексные исследования. Кроме цветений, показанных на рис. 2 и ст. 5548, 5550 в таблице, КЦ были зарегистрированы в районе  $74^0$ с.ш., 23–27<sup>0</sup>в.д.

Авторы признательны М.Д. Кравчишиной и А.Н. Новигатскому за содействие в организации исследования кокколитофоридных цветений, участникам экспедиции А.Н. Храпко и А.В. Григорьеву за вклад в получение оптических данных, А.А. Агаркову и А.В. Лифанчук за предоставленные данные по гидрологическим характеристикам и концентрации хлорофилла.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФ № 14-50-00095, предоставленного Институту океанологии им. П.П. Ширшова РАН (оптические исследования), и № 14-27-00114-П (гидрологические и биогехимические экспедиционные исследования).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Giraudeau J., Hulot V., Hanquiez V. et al. A survey of the summer coccolithophore community in the western Barents Sea // *J. Mar. Sys.* 2016. V.158. P. 93–105.
2. Hovland E.K., Dierssen H.M., Ferreira A.S., Johnsen G. Dynamics regulating major trends in Barents Sea temperatures and subsequent effect on remotely sensed particulate inorganic carbon // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2013. V. 484. P. 17–32.

The set of hydro-optical characteristics was measured in the Barents Sea by in situ and remote sensing methods during the 68<sup>th</sup> cruise of RV *Akademik Mstislav Keldysh* in the summer 2017. The obtained data were used for assessment of seawater biogeochemical characteristics in near-surface layer (concentrations of chlorophyll and suspended matter, phytoplankton and colored dissolved organic matter).

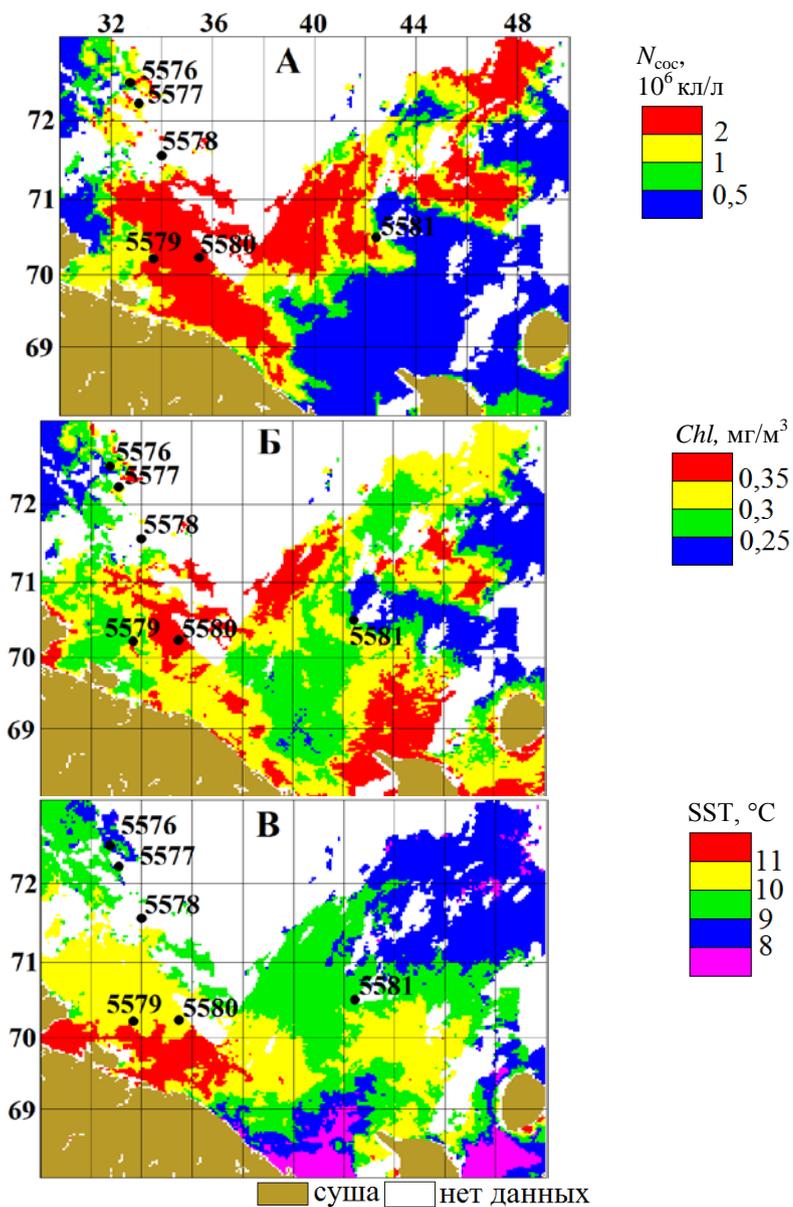


Рисунок 2. Пространственные распределения концентрации клеток кокколитофорид (А), хлорофилла (Б) и температуры поверхности моря (В) по спутниковым данным, осредненным за 14–15 августа 2017 г.

**Кособокова К.Н.<sup>1</sup>, Даазе М.<sup>2</sup>, Хатлбакк М.<sup>3</sup>, Сорейде Я.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail:

[kosobokova@ocean.ru](mailto:kosobokova@ocean.ru); <sup>2</sup>Арктический Университет Норвегии, Тромсø, Норвегия;

<sup>3</sup>Университетский центр Шпицбергена, Лонгирбиен, Норвегия)

**О биологии самцов копепод р. *Calanus* в арктических водах**

**Kosobokova K.N.<sup>1</sup>, Daase M.<sup>2</sup>, Hatlebakk M.<sup>3</sup>, Søreide J.E.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>UiT The Arctic University of Norway,

Tromsø, Norway; <sup>3</sup>The University Centre in Svalbard, Longyearbyen, Norway)

**On the biology of *Calanus* males in Arctic waters**

Ключевые слова: *Calanus*, арктические воды, зимний период, самцы, размножение

В январе 2015–16 гг. в пяти фьордах Шпицбергена исследовали состав популяций и биологию самцов массовых планктонных копепод рода *Calanus*. Впервые получены данные о видовом и размерном составе самцов этого рода, а также вертикальном распределении, соотношении полов и репродуктивном статусе самцов *Calanus glacialis* в исследованном районе в середине зимы, необходимые для правильной трактовки жизненного цикла вида.

Планктонные копеподы рода *Calanus* играют важнейшую роль в морских экосистемах Северной Атлантики и Арктики. Они доминируют в планктоне этих районов по биомассе и служат основой кормовой базы для животных высших трофических уровней – рыб, птиц и морских млекопитающих. Помимо этого, они являются основными потребителями фитопланктона в море и оказывают огромное влияние на процессы трансформации создаваемого в ходе первичной продукции органического вещества, его седиментацию и накопление на дне океана. Знание особенностей их жизненных циклов, динамики обилия и распределения исключительно важно для понимания процессов биоседиментации и потоков вещества и энергии в океане.

Изучению географического распространения представителей рода, их обилия, жизненных циклов, экологии и особенностей воспроизводства посвящена обильная литература. Однако в большинстве опубликованных работ при анализе данных о составе популяций *Calanus* рассматриваются обычно только ювенильные стадии и взрослые самки, в то время как самцы, без которых невозможно было бы успешное воспроизводство этих планктонных животных, почти или вообще не упоминаются [1–3].

Известно, что численность самцов в популяциях арктических и субарктических представителей рода *Calanus* (*C. hyperboreus*, *C. glacialis*, *C. finmarchicus*) резко меняется в течение года [4–6]. В безледный период, когда в арктических шельфовых морях и глубоководном Арктическом бассейне в основном и проводится сбор зоопланктона, самцы *Calanus* практически не встречаются. Соотношение полов во взрослой части популяций *Calanus* в этот период резко сдвинуто в сторону преобладания

самок: с весны до осени оно колеблется в диапазоне величин 1 самец на 100–1000 самок [7]. Самцы *Calanus* начинают появляться в планктоне холодноводных районов осенью, и, по доступным немногочисленным данным [5, 7, 8], присутствуют в водной толще преимущественно зимой. Однако проведение исследований в замерзающих акваториях в зимний период существенно затруднено технически и требует больших финансовых затрат. Именно это и является причиной отсутствия необходимого для изучения биологии самцов *Calanus* материала. Отсутствуют как сведения о сезонной встречаемости и изменении обилия самцов с осени до весны, так и данные об их размерных диапазонах и размерной структуре у разных видов р. *Calanus*, их экологии и продолжительности жизни.

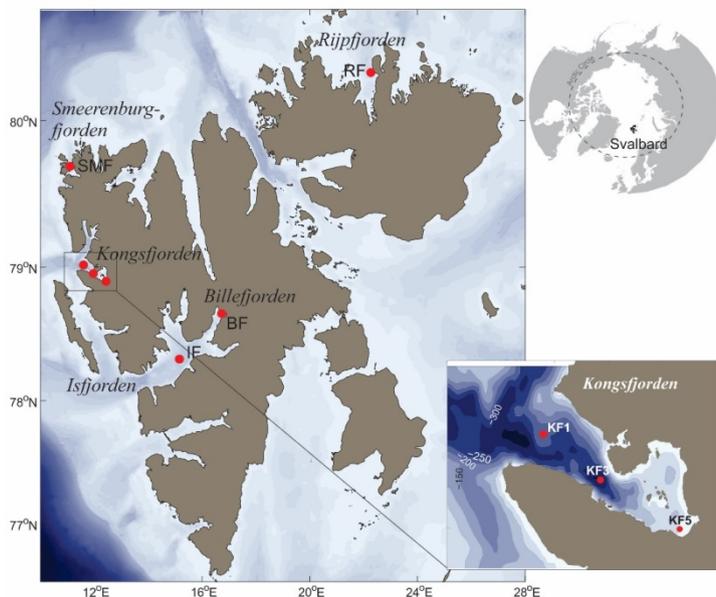


Рисунок. Схема расположения станций.

В ходе настоящей работы впервые были получены данные об обилии, видовом и размерном составе, вертикальном распределении, соотношении полов во взрослой части популяций и репродуктивном статусе самцов copepod р. *Calanus* в пяти фьордах Шпицбергена в зимний период. Материал для исследования был собран в январе 2015–16 гг. в Конгсфьорде, Рийпфьорде, Исфьорде, Биллефьорде и Смееренбургфьорде (рис.) путем количественных и качественных ловов планктонными сетями.

Изучение состава популяций преобладавших в исследованных фьордах атлантического *C. finmarchicus* и арктического вида *C. glacialis* показало,

что первый вид был в основном представлен зимующими копеподитными стадиями IV-V, тогда как его взрослые самки были немногочисленны. Популяция второго вида состояла из зимующих копеподитных стадий с III по V-ю. Наряду с ними массово встречались взрослые самки *C. glacialis*. Самцы *Calanus* в январе присутствовали массово, в количествах, никогда не наблюдающихся летом. Например, численность самцов в Рийпфьорде во всей толще воды составляла 1200 экз/м<sup>2</sup> при общей численности взрослых рачков 1700 экз/м<sup>2</sup>. Таким образом, их численность превосходила численность взрослых самок в этом фьорде почти в 2.5 раза.

Исследование морфологии и размерной структуры рачков показало, что все обнаруженные самцы принадлежали к одному виду рода – *C. glacialis*. Результаты морфологических исследований были подтверждены данными молекулярно-генетических анализов, которые также показали наличие в пробах самцов только *C. glacialis* [9]. Соотношение полов в популяции *C. glacialis* в январе 2015 и 2016 гг. в исследованных фьордах составляло от 1 самца на 1 самку до 3 самцов на 4 самки, т.е. было почти равно единице, что существенно отличалось от соотношения полов в другие сезоны. От 3 до 5% взрослых самок несли прикрепленные сперматофоры, таким образом, в январе в популяции *C. glacialis* шло активное спаривание самцов и самок. Как самцы, так и самки встречались на всех глубинах, по-видимому, перемещаясь по вертикали в ходе поиска партнера для спаривания, а в отдельных слоях воды численность самцов даже превышала численность самок.

Анализ содержания липидов у самцов *C. glacialis* с привлечением материалов, собранных с осени до весны показал, что зимой жировые запасы самцов больше, чем у самок. В ходе экспериментального содержания рачков в условиях голодания с осени до весны сухой вес и содержание липидов у самцов падали более быстро, чем у самок. Эти данные указывают на то, что самцы *C. glacialis* ведут зимой активный образ жизни, используя жировые запасы для формирования половых продуктов и спаривания. К началу весны они постепенно исчезают из планктона, по-видимому, израсходовав свои запасы. Исключить возможность питания самцов в зимний период нельзя, однако доступные в этот сезон источники пищи, по-видимому, недостаточны для поддержания их более длительной жизни на фоне больших энергетических затрат на поиск партнера и копуляцию.

Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на роль зимнего периода в подготовке успешного размножения арктической копеподы *C. glacialis*, а также на сезонные различия в проявлении репродуктивной активности у разных полов этого вида. Судя по полученным данным, основной сезон размножения самцов приходится на зимний период, что необходимо принимать во внимание при трактовке жизненного цикла вида и проведении модельных исследований.

Существующие представления о закономерностях сезонных изменений вертикального распределения *C. glacialis* (а, возможно, и других представителей рода) также требуют существенной корректировки, так как очевидно, что не вся популяция вида концентрируется на глубинах в зимний период, как обычно считается [1, 6]. Однако, остается неясным, когда взрослые особи рассредоточиваются в водном столбе и поднимаются в верхние слои после осеннего опускания на глубины, а также происходит ли опускание самок на глубины после копуляции. Динамика накопления липидов старшими копепоидными стадиями и их расходования взрослыми особями в связи с необходимостью поддержания репродуктивной активности самцов в зимний период требует дополнительного изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-04-00375), и Российского Научного Фонда (проект № 14-50-00095), а также Норвежского Исследовательского Совета (проекты Marine Night №226417 и COPPY, 2013-16).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ji R.B., Ashjian C.J., Campbell R.G. et al. Life history and biogeography of *Calanus* copepods in the Arctic Ocean: An individual-based modeling study // Progress in Oceanography. 2012. V. 96. P. 40–56.
2. Daase M., Falk-Petersen S., Varpe Ø. et al. Timing of reproductive events in the marine copepod *Calanus glacialis*: a pan-Arctic perspective // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2013. V. 70. P. 871–884.
3. Feng Z., Ji R., Ashjian C., Campbell R., Zhang J. Biogeographic responses of the copepod *Calanus glacialis* to a changing Arctic marine environment // Global Change Biology. 2017. DOI: 10.1111/gcb.13890.
4. Marshall S.M., Orr A.P. The Biology of a marine copepod (*Calanus finmarchicus* Gunnerus). Springer-Verlag, Berlin and New York. Oliver & Boyd Edinburgh. 1955.
5. Кособокова К.Н. Новые данные о жизненном цикле *Calanus glacialis* в Белом море (на основе сезонных наблюдений за развитием генеративной системы) // Океанология. 1998. Т. 38. № 3. С. 387–396.
6. Кособокова К.Н. Зоопланктон Арктического бассейна: структура сообществ, экология, закономерности пространственного распределения. Москва: ГЕОС, 2012. 272 с.
7. Kosobokova K.N. The reproductive cycle and life history of the Arctic copepod *Calanus glacialis* in the White Sea // Polar Biology. 1999. V. 22. P. 254–263.
8. Ashjian C.J., Campbell R.G., Welch H.E., Butler M., Van Keuren D. Annual cycle in abundance, distribution, and size in relation to hydrography of important copepod species in the western Arctic Ocean // Deep-Sea Research I. 2003. V. 50. P. 1235–1261.
9. Daase M., Kosobokova K.N., Hatlebakk M., Søreide J.A. New insights into

life history traits of *Calanus* spp. males in the Arctic // Journal of Plankton Research, in press.

Abundance, spatial distribution and ecology of males in the populations of planktonic copepods of the genus *Calanus* were investigated in five fjords of Spitsbergen during polar night (January 2015–16). Data on the prosome length variations and size range, vertical distribution, sex ratio, lipid content and reproductive status of *C. glacialis* males essential for understanding the species life traits are reported for the first time for the area under study.

**Коссова С.А., Дубинина Е.О., Мирошников А.Ю.**

(Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, e-mail: Sonch\_1@rambler.ru )

**Источники опреснения вод заливов Новой Земли по изотопным данным ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ )**

**Kossova S.A., Dubinins E.O., Miroshnikov A.U.**

(Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM) RAS)

**Fresh water sources of Novaya Zemlya bays by isotope data ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ )**

Ключевые слова: изотопы кислорода и водорода, соленость, морская вода, Арктика, Карское море, опреснение, континентальный сток

Были изучены воды заливов архипелага Новая Земля, проведен изотопный анализ кислорода и водорода воды ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ), на основании чего были сделаны выводы об источниках опреснения вод в данном регионе.

Опреснение вод Карского моря связано, главным образом, с поступлением речного стока с континента (более 1.5 тыс. км<sup>3</sup> в год [1]). Однако у берегов Новой Земли можно ожидать более сложных процессов смешения, поскольку морские воды здесь могут смешиваться с несколькими типами пресных вод. Берега Новой Земли сильно изрезаны многочисленными фьордами, а на территории архипелага присутствует практически сплошной ледяной покров, который в ряде заливов спускается во фьорды. Еще одним источником опреснения вод у берегов Новой Земли являются локальные водотоки, которые представлены водным стоком с берегов архипелага. Наконец, сами воды Карского моря находятся под сильным влиянием континентального стока, поступающего из Оби и Енисея, и этот континентальный компонент может присутствовать в прибрежной зоне Новой Земли. Соотношение этих пресных компонентов, безусловно, должно варьировать в зависимости от удаленности станций от берегов архипелага, глубины отбора и других факторов. Кроме того, степень и источники опреснения могут варьировать не только в пространстве, но и во времени.

Воды заливов архипелага Новая земля прилегающей к ним акватории Карского моря сильно опреснены и, как нами было показано ранее, это опреснение неравномерно распределено в толще вод [2]. Информативным современным методом изучения процессов опреснения морских вод является изотопная геохимия кислорода и водорода – элементов, составляющих молекулу воды. Целью настоящей работы является установление источников опреснения вод и оценка их соотношения в водах Карского моря, наиболее отдаленных от континента – заливах юго-

восточного побережья архипелага Новая Земля. Для этого нами изучались изотопные параметры вод четырех заливов восточного побережья архипелага Новая Земля – Абросимова, Седова, Степового, Ога и Цивольки, отобранных в ежегодных экспедициях 2014–2016 гг.

Материал и методы. Материал для исследований был отобран в акваториях заливов Абросимова, Седова, Степового, Ога и Цивольки во время ежегодных рейсов научно-исследовательских судов «Профессор Штокман» (2014 г., Карское море), «Академик Мстислав Келдыш» (2015 г., Карское море и море Лаптевых) и «Академик Мстислав Келдыш» (2016 г., Карское море). Пробы отбирались с помощью гидрофизического комплекса Rosette, что обеспечивало сопровождение каждого образца точными данными о солености и температуре вод. Работа проводилась на станциях, для каждой из которых изучался вертикальный профиль распределения гидрофизических и изотопных параметров.

Изотопный анализ водорода проведен методом разложения микрообразцов (1  $\mu\text{л}$ ) воды на горячем (800°C) хrome с использованием приборного комплекса N/Device и масс-спектрометра DELTAplus, работающем в режиме двойного напуска. Изотопный анализ кислорода проведен методом изотопного уравнивания образца (0.5  $\text{см}^3$ ) с использованием масс-спектрометра DELTA V+, работающего в комплексе с системой GasBench II и автосэмплером PAL. Измерения проведены в режиме постоянного потока гелия. Точность определения величин  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  составила  $\pm 0.3$  и  $\pm 0.2\%$  соответственно. Калибровка величин  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  в шкале VSMOW-VSLAP проведена по референтным образцам МАГАТЭ.

Результаты. Воды всех изученных заливов за все время наблюдений демонстрируют опреснение поверхностного слоя до глубины 20 м, однако наиболее сильным это опреснение было в 2015 г. Изотопный состав водорода и кислорода поверхностных вод у берегов Новой Земли характеризуется наиболее низкими величинами  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ . Наиболее интересными являются результаты для заливов Цивольки и Седова, т.к. в ходе экспедиций были отобраны не только воды в заливах, но и образцы локальных водотоков и ледников, расположенных в соответствующих им береговых зонах.

Процессы опреснения наиболее эффективно рассматривать в координатах «изотопный состав – соленость», на которой хорошо проявляется смешение изотопно-тяжелых соленых морских вод с изотопно-легкими пресными водами рек, водотоков и ледников. На диаграммах « $\delta\text{D}$ -S», построенных для заливов Цивольки и Седова (рис. 1, 2), можно видеть, что водная масса, характеризующаяся высокой соленостью ( $S \approx 35$ ) и изотопным составом водорода  $\delta\text{D} \approx 0$  подвергается смешению с более чем одним пресными компонентом, поскольку отсутствует строгая линейная корреляция солености с изотопным составом водорода. Как было показано, данная водная масса является глубинной и почти соответствует по своим

изотопным параметрам водам глубинного атлантического течения NEADW, присутствующего в Баренцевом и Карском морях [2].

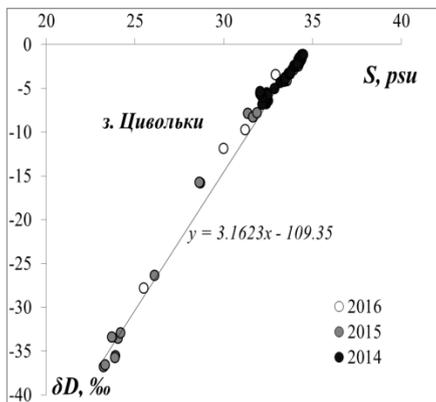


Рисунок 1. Диаграмма δD-соленость для вод залива Цивольки

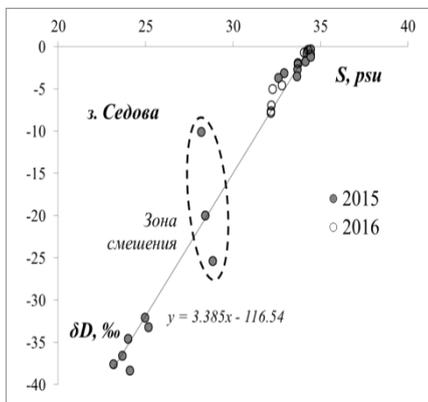


Рисунок 2. Диаграмма δD-соленость для вод залива Седова

Остальные воды являются продуктом смешения морских глубинных вод и разных пресных компонентов, характерных для региона. Отсутствие линейной корреляции между изотопным составом и соленостью однозначно указывает на наличие более чем одного источника пресной воды в водах заливов Цивольки и Седова. Однако для залива Седова в 2015 г. наблюдалось интересное распределение изотопных параметров: на рис. 2. присутствует зона, обозначенная пунктиром как «зона смешения». Каждая из точек, входящих в выделенную область, соответствует пробам воды, отобранным на разных станциях, но с одной и той же глубины (10–11 м). Эти воды имеют очень разный изотопный состав кислорода и водорода при почти одинаковой солености, т.е. происходит изопикническое смешение вод, содержащих пресный компонент с разными изотопными характеристиками. Относительно слоя изопикнического смешения полученные данные можно разделить в соответствии с глубиной: выше слоя смешения лежат воды, содержащие один тип пресного компонента («поверхностный» слой с глубинами менее 10 м), ниже этого слоя – воды с другим типом пресного компонента («глубинный» слой, с глубинами более 11 м). Как следует из рис. 2, такое послойное распределение водных масс с четко оформленной зоной изопикнического смешения, удалось идентифицировать только в заливе Седова и только в 2015 г., когда наблюдалось наиболее сильное опреснение вод у берегов Новой Земли. Например, в 2016 г. все точки вод залива Седова оказались близки к составам минимально опресненных вод.

Пробы 2015 г., отнесенные к «поверхностному» и «глубинному» слоям,

имеют близкую к линейной корреляцию изотопных параметров с солёностью. Это позволяет, в первом приближении, применить к ним модель двухкомпонентного смешения и получить путем экстраполяции на нулевую солёность изотопные параметры пресного компонента, присутствующего в каждом из слоев.

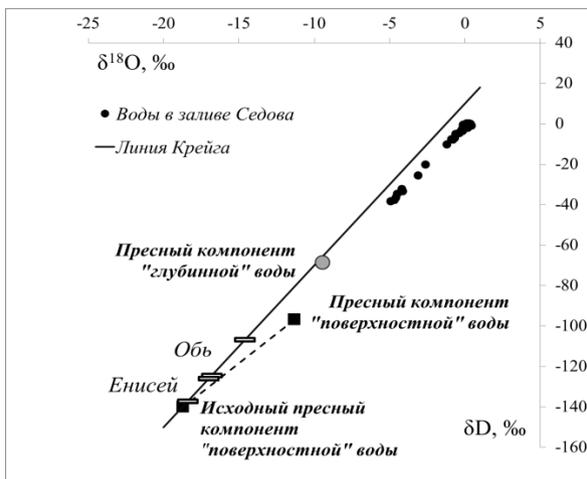


Рисунок 3. Диаграмма  $\delta D$ - $\delta^{18}\text{O}$  для вод залива Седова

Изотопные параметры пресного компонента, рассчитанные для «глубинного» слоя, составили  $\delta D = -69\text{‰}$  и  $\delta^{18}\text{O} = -9.4\text{‰}$ . Эта точка лежит на линии метеорных вод Крейга и указывает на атмосферный генезис пресного компонента, который мог поставляться в воды залива в виде водотоков или талых вод с архипелага (рис. 3). Иными словами, воды в заливе Седова, расположенные ниже слоя изопикнического смешения, являются продуктом смешения морских вод с водами локального пресноводного стока с берегов Новой Земли.

Изотопные параметры пресного компонента, рассчитанные для «поверхностного» слоя, составляют  $\delta D = -96.7$  и  $\delta^{18}\text{O} = -11.3\text{‰}$ . Точка с данными параметрами не лежит на линии Крейга, что может быть обусловлено испарением, в результате которого остаточная часть воды обогащается тяжелыми изотопами кислорода и водорода с кинетическим эффектом, связанным с влиянием относительной влажности воздуха. Чтобы рассчитать первичный изотопный состав пресного компонента, необходимо знать наклон линии испарения в координатах  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta D$  в данном регионе в данное время года. Для этого полезными оказались данные, полученные для водотоков, отобранных в заливе Седова в 2016 г. Воды с нулевой солёностью, показали наклон, равный 5,8, что соответствует интервалу

наклона линий испарения в природных условиях (4–6, [3]). Экстраполяция линии с наклоном 5.8 до линии Крейга дает изотопные параметры исходного пресного компонента, присутствующего в «поверхностных» водах залива Седова:  $\delta D = -140$  и  $\delta^{18}O = -18.7\%$ . Эти изотопные параметры соответствует нашим и литературным данным для реки Енисей [2].

**Выводы.** При выполнении работы был проведен трехлетний мониторинг изотопного состава кислорода и водорода в водах заливов юго-восточного побережья Новой Земли. Разная интенсивность опреснения, выявленная в разные годы наблюдений, проявляется и в поведении изотопных параметров:  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  сильно варьируют в пределах поверхностных вод (на глубинах менее 20 м), максимальное опреснение верхних горизонтов вод заливов Новой Земли наблюдалось в 2015 г.

Для всех заливов юго-восточного побережья Новой Земли отмечается участие в опреснении вод более одного пресного компонента. Как минимум, одним из этих компонентов является локальный сток с архипелага, вторым пресным компонентом может являться континентальный речной сток. На примере залива Седова установлено, что в сезон сильного опреснения 2015 г. в поверхностном слое вод (глубина менее 10–11 м) присутствовал пресный компонент, который по своим изотопным параметрам соответствует воде реки Енисей. Поступление локального пресного компонента в заливе Седова отмечалось преимущественно в водах, расположенных ниже горизонта 10–11 м.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov I.S., Sidorova M.V. A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean. // Amer. J. Sci. 1996. № 296. P. 664–691.
2. Дубинина Е.О., Коссова С.А., Мирошников А.Ю., Фяйзуллина Р.В. Изотопные ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) параметры и источники опресненных вод Карского моря. // Океанология. 2017. № 57(1). С. 38–48.
3. Ферронский В. И., Поляков В. А. Изотопия гидросферы Земли. М.: Научный мир, 2009. 632 с.

The waters of Novaya Zemlya bays were studied, isotope analysis of hydrogen and oxygen of water molecule ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) was carried. Based on obtained data the conclusions about fresh water sources in this region were made.

**Кудрявцева Е.А.<sup>1</sup>, Александров С.В.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: kudryavtzeva@rambler.ru; <sup>2</sup>Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Калининград)

## **Распределение первичной продукции в российском секторе Гданьского бассейна Балтийского моря**

**Kudryavtzeva E.A.<sup>1</sup>, Aleksandrov S.V.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Kaliningrad)

## **Spatial distribution of primary production in the Gdansk Basin of the Baltic Sea**

Ключевые слова: первичная продукция, температура, соленость, биогены, районирование, Гданьский бассейн, Балтийское море

В российском секторе Гданьского бассейна Балтийского моря по данным многолетних исследований (2003–2015 гг.) выделены закономерности распределения абсолютных и удельных величин первичной продукции в верхнем десятиметровом слое, обусловленные физическими и химическими условиями морской среды (температура, соленость, глубина, рельеф и форма береговой линии, концентрация биогенных элементов). На основе этого было выполнено районирование исследованной акватории: район м. Таран, район сочленения Самбийского полуострова и Куршской косы, район плато Рыбачий, открытое море и российский участок Гданьского залива. Выделенные районы характеризуются лучшими корреляционными связями с первичной продукцией с показателями состояния морской среды, по сравнению с результатами регрессионного анализа в районах, выделенных по батиметрическому принципу. Наиболее тесно первичная продукция связана с уровнем прогрева вод на всей исследуемой акватории и с концентрациями биогенных элементов в мористых районах.

Целями работы являлись изучение связи пространственного распределения величин первичной продукции фитопланктона с физическими и химическими процессами морской среды, районирование акватории российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря и характеристика выделенных районов. Исследования проводились в конце зимнего (начало марта), в весенний (конец апреля – май), летний (июнь – июль) и осенний (октябрь – ноябрь) сезоны 2003–2015 гг. В экспедициях определялись следующие показатели: температура, соленость, относительная прозрачность воды, первичная продукция, биомасса фитопланктона, концентрация хлорофилла «а» и биогенных элементов.

Связь распределения первичной продукции с гидрологическими и гидрохимическими условиями. В конце зимнего периода в береговой зоне вследствие наиболее сильного воздействия ограничивающих первичную продукцию факторов – повышенной мутности вод и низкой температуры –

первичная продукция, суточные ассимиляционные числа и P/B-коэффициенты крупной фракции фитопланктона ниже, чем в водах открытого моря. Их наибольшие величины отмечаются в северо-восточной части исследуемой акватории, в районе северо-восточного склона п. Рыбачий и Самбийско-Куршской возвышенности. Здесь с улучшением оптических условий фотосинтеза, относительным увеличением температуры воды, усилением турбулентного перемешивания в тени подводного поднятия, создаются наиболее благоприятные условия для развития диатомовых водорослей, доминирующих в составе балтийского фитопланктона в конце зимы.

В зимний период наибольшие концентрации азота и фосфора отмечаются в наименее соленых водах, примыкающих к достаточно плотно населенному северному побережью Самбийского полуострова. Концентрации нитратов резко снижаются по мере удаления от побережья. Фосфаты распределены равномернее. Это свидетельствует о преобладании процессов осенне-зимнего перемешивания и деструкции синтезированного летом органического вещества в пополнении их запасов в исследуемом районе. Поступление биогенных элементов с побережья Самбийского полуострова также прослеживается в другие сезоны. Таким образом, материковый сток является важным источником биогенных элементов для изучаемой части Гданьского бассейна.

В весенний период область с относительно повышенной первичной продукцией, суточными ассимиляционными числами и P/B-коэффициентами, расположенная в районе сочленения Самбийского полуострова и Куршской косы, занимает промежуточное положение между двумя относительно холодными участками акватории, которые прогреваются медленнее вследствие больших глубин и относительно часто возникающего на этих участках акватории апвеллинга. Вторым фактором, стимулирующим весной продукцию фитопланктона в этой зоне, являются нитраты, приносимые в Куликовскую бухту со стоком с побережья.

По среднемноголетним данным, полученным в экспедициях в первой половине июля, ядро наиболее теплых вод находится на удалении от побережья Куршской косы и примыкает к северному побережью Самбийского полуострова. Как и в другие сезоны, летом наиболее прогретым водам соответствует зона максимальной фотосинтетической активности фитопланктона. Также этому, относительно пресному участку акватории, соответствуют воды с наибольшими величинами первичной продукции, концентрациями хлорофилла «а» и биомассой фитопланктона. Несмотря на высокую биомассу фитопланктона и концентрацию хлорофилла «а» в пределах всей береговой зоны в районе п. Рыбачий отмечается снижение среднемноголетних величин первичной продукции и фотосинтетической активности фитопланктона. Это обусловлено несколькими причинами: удалением от источников биогенов,

расположенных на побережье Самбийского полуострова; ускорением вдольбереговых течений; периодически отмечающимся на этом участке акватории подъемом холодных вод.

В условиях теплой осени в береговой зоне от основания Куршской косы до м. Таран наблюдаются повышенные величины первичной продукции. В холодные осени величины первичной продукции близки к невысоким значениям, наблюдаемым на остальной части акватории. Для осеннего периода характерны наиболее высокие удельные скорости фотосинтеза, особенно для глубоководной части акватории.

Районирование акватории и характеристика выделенных районов. На основании данных по среднемноголетнему распределению первичной продукции российский сектор Гданьского бассейна был разделен на пять районов, в каждом из которых были проанализированы среднемноголетние величины продукции фитопланктона и абиотических факторов, а также корреляционные взаимосвязи между ними. Сравнение с результатами подобного анализа для точек, сгруппированных по батиметрическому принципу, показало, что корреляционные связи между рассмотренными показателями в выделенных пяти географических районах по распределению первичной продукции значительно выше.

В *районе сочленения Самбийского полуострова и Куршской косы* благодаря вогнутой форме береговой линии возникает «эффект полужамкнутой бухты». Главным фактором, ограничивающим первичную продукцию в этом районе, является температура воды. Относительно замедленный водообмен препятствует выносу биомассы фитопланктона и благоприятствует развитию синезеленых водорослей, предпочитающих спокойную воду. Интенсивное перемешивание за счет небольших глубин и вихреобразование у основания Куршской косы способствуют более быстрому возвращению биогенов в фотический слой. Сток с северного побережья и апвеллинг, в случае его возникновения в соседних районах, обуславливают дополнительное поступление биогенов, стимулирующих фотосинтез.

В *районе м. Таран* первичная продукция находится в сильной зависимости от гидрометеорологической обстановки, что подтверждается сильной положительной связью первичной продукции с температурой воды и высокой степенью взаимосвязи с соленостью. Последняя отмечается только в случае сильных градиентов, например, в районах контакта пресных речных вод с солеными морскими водами. Сочетание интенсивных течений вдоль западного побережья Самбийского полуострова, резкого разворота береговой линии и рельефа дна порождает в районе м. Таран зону повышенной вихревой активности. Прохождение синоптических вихрей вызывает локальные неоднородности характеристик фотического слоя и изменения уровня продуктивности.

В *районе п. Рыбачий* первичная продукция уменьшается, а на его склоне

увеличивается, вследствие прямого действия гидродинамического фактора («эффект порога»). Весной и летом некоторый «островной эффект» дает нефтедобывающая платформа, расположенная на плато.

Наиболее тесная положительная связь между температурой воды и первичной продукцией отмечается в *открытом море*, где верхний десятиметровый слой моря из-за больших глубин в теплый период года прогревается слабее, чем прибрежные мелководные участки. От температуры воды и отношения между количеством фитопланктона и зоопланктона зависит скорость регенерации биогенов, концентрации которых отражают динамику фитопланктона в течение года. Здесь выявлена тесная корреляционная связь первичной продукции с концентрацией фосфатов. В отличие от азота фосфор не имеет газообразной формы, и поэтому в теплый период года с замедлением вертикального обмена и появлением температурного градиента пространственное распределение концентраций фосфатов существенно влияет на распределение величин первичной продукции.

Наоборот, в открытой части *Гданьского залива* значимой корреляции распределения первичной продукции с фосфатами не выявлено. В последние десятилетия отмечалось избыточное поступление в Гданьский залив фосфора по отношению к азоту со стоком р. Вислы, составляющее 70.8 тыс. т. валового азота и 10.6 тыс. т. валового фосфора [1]. Обилие фосфора стимулирует фиксацию атмосферного азота синезелеными водорослями, и этим, по-видимому, объясняется высокая степень корреляции первичной продукции с органическим и минеральным азотом в заливе. В открытых районах Гданьского бассейна, расположенных севернее Гданьского залива, наоборот, концентрация фосфатов влияет на распределение первичной продукции, поэтому корреляционные связи между продукцией и концентрацией органического азота не выявлены. И поэтому, в двух этих районах пространственные различия концентраций органического фосфора тесно связаны с интенсивностью первичной продукции фитопланктона.

В наиболее удаленных от побережья открытых морских районах с продукцией фитопланктона тесно связаны его биомасса и концентрация хлорофилла «а». Отсутствие корреляционных связей первичной продукции с концентрациями органических форм азота и фосфора и хлорофилла «а» в береговой зоне свидетельствует об их высоком содержании и небольших пространственных различиях наблюдаемых значений. Это следствие адвекции вод из соседних высокопродуктивных районов, высокого содержания растворенного органического углерода в береговой зоне.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Łysiak-Pastuszek E., Drgas N., Pitkowska Z. Eutrophication in the Polish coastal zone: the past, present status and future scenarios // Mar. Pollut. Bull.

2004. V. 49. P. 186–195.

On the base of the long-term investigation of the Russian sector of the Gdansk Basin of the Baltic Sea spatial regularities of primary production of upper 10 m layer (including production normalized to chlorophyll *a*) were defined due to the differences of environmental conditions (temperature, salinity, total water depth, morphometry, concentrations of major nutrients). The surface water of the investigated area was divided into five regions: the Cape Taran, the base of the Curonian spit, the plateau Rybachiy, open sea and the Gulf of Gdansk (north-eastern part). These regions are characterized by better correlations between particular parameters than the regions which were divided on the basis of bathymetry. The regression analyses indicated that primary production in the Russian sector of the Gdansk basin depended on temperature in the whole area, and on the nutrient concentrations in the open part of the sector.

**Кукина С.Е., Лобус Н.В.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; e-mail: skoukina@gmail.com)

**Распределение металлов во взвешенном веществе и донных отложениях эстуарной системы река Кай – залив Нячанг (Южно-Китайского море)**

**Koukina S.E., Lobus N.V.**

(Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow)

**Metal distribution in suspended particulate matter and sediments of the Khai River – Nha Trang Bay estuarine system (South China Sea)**

Ключевые слова: эстуарий, взвешенное вещество, донные отложения, геохимическая подвижность, формы металлов, Вьетнам.

Анализ распределения содержания и форм нахождения металлов во взвешенном веществе и донных отложениях выявил особенности геохимического поведения групп элементов на барьере река – море в эстуарной системе река Кай – залив Нячанг (Южно-Китайское море).

Подвижность и потенциальная биологическая доступность микроэлементов существенно зависит от форм их нахождения и типа связи с матрицей образца [1, 2]. В ходе комплексного исследования в 2010–2016 гг. были установлены закономерности распределения микроэлементов в донных отложениях эстуарной системы река Кай – залив Нячанг [3–5]. Целью настоящего исследования явилась сравнительная оценка геохимической подвижности и биодоступности микроэлементов в системе эстуарий реки Кай – залив Нячанг.

*Материалы и методы.* Материалом для данного исследования послужили пробы взвеси из поверхностного водного горизонта и поверхностных донных осадков, отобранные в реке, эстуарии реки Кай и прилегающей части залива Нячанг. Валовое содержание Al, Fe, Ti, Ca, Mn, Cr, Ni, V, Zn, Cu, Pb, Sb, Bi, Sn, Li, Co, Zr и Mo в образцах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в АСИЦ ИПТМ РАН на приборе X-7, Thermo Scientific, США. Содержание форм железа, марганца и микроэлементов в образцах определяли методом селективной экстракции с дальнейшим определением элементов на атомно-абсорбционном спектрометре Hitachi 180-80 в лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (табл. 1) [6, 7].

*Результаты и обсуждение.* Распределение концентрации взвешенного вещества (ВВ) в поверхностном водном слое эстуария реки Кай характеризуется наличием максимума (30–31 мг/л) в речной части эстуария

(соленость 0–5‰) и резким снижением при возрастании солености (до 9 мг/л при солености 20‰ и далее до значений 2–1 мг/л в морской части эстуария при солености 32–36‰). Распределение взвешенного органического углерода (ВОУ) сходно с распределением ВВ но отличается более плавным снижением с величин 1100–1200 мкг/л (0–5‰) в речной части эстуария до 850 мкг/л при переходной солености (20‰) и далее до 130–70 мкг/л мористее (32–36‰). Такое распределение ВВ и ВОУ обусловлено интенсивным осаждением обогащенных органическим веществом речных взвесей во фронтальной зоне эстуария [3].

Таблица 1. Вытяжки для определения форм элементов в ДЮ

Вытяжка	Тамма [6]	Уксусно-кислая [3]	Пирофосфатная [6]
Основные реагенты	Буферный раствор Тамма $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{NH}_4\text{C}_2\text{O}_7$ рН 3.2–3.3	Уксусная кислота 25% $\text{CH}_3\text{COOH}$	Пирофосфат натрия 0.1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$
Основные экстрагируемые формы элементов	Аморфные соединения Fe и связанные микроэлементы	Подвижные соединения микроэлементов	Органически-связанные соединения микроэлементов

Распределение взвешенной формы металлов Al, Fe, Ti, Li, Zn, V, Pb, Sc Zr и Sn характеризуется максимальной концентрацией (в мкг/л) в речной зоне эстуария и резким снижением мористее с наибольшими горизонтальными градиентами в интервале солености 5–20‰. При этом содержание этих элементов во взвешенном веществе (в мкг/г сухого в-ва) остается высоким или слабо возрастает в интервале солености 0–20‰ и далее резко падает с наибольшим градиентом в интервале солености 20–32‰). Наиболее значительные потери взвешенной формы этих элементов происходят во фронтальной и переходной зоне эстуария, что свидетельствует о том, что основным источником их поступления в эстуарии реки Кай является речной сток.

Распределение взвешенной формы Co, Cu, Ni, Mo, Mn, Ba, Sr и As характеризуется резким падением концентрации (в мкг/л) и содержания (в мкг/г) в интервале солености 0–5‰. В морской части эстуария (32–36‰) наблюдается незначительное повышение концентрации этих элементов в воде при выраженном повышении их содержания в сухом веществе (в мкг/г). Потери взвешенной формы этих элементов во фронтальной зоне эстуария связаны с лавинным выпадением здесь речных взвесей при замедлении стоковой составляющей течений. Повышение их содержания во взвешенном веществе в морской части эстуария может быть связано как с накоплением в составе морского планктоногенного органического вещества на фоне повышенного содержания растворенного органического углерода

(РОУ до 5 мг/л в интервале солености 32–36‰), так и с выносом части взвешенной формы этих элементов за пределы переходной зоны эстуария с поверхностным стоковым течением.

Различия в поведении элементов в эстуарии реки Кай проявляются также при их распределении между фазами взвешенного вещества и донных отложений. По величине среднего коэффициента обогащения ( $K_{\text{вв}}/K_{\text{до}}$ ), рассчитанного как усредненное отношение содержания элемента во взвешенном веществе к его содержанию в донных отложениях, металлы разделяются на несколько групп. Содержание Ti и Zr в донных отложениях значительно превышает их содержание во взвешенном веществе ( $K_{\text{вв}}/K_{\text{до}}=0.2-0.3$ ), что свидетельствует о сродстве элементов к минеральной компоненте твердого речного стока и их активном накоплении в ходе эстуарного седиментогенеза. Элементы Al, Fe, Li, Zn, Sc, U, V и Cs характеризуются коэффициентом обогащения  $K_{\text{вв}}/K_{\text{до}}=0.8-0.9$  и, вероятно, преимущественно накапливаются в составе геохимически устойчивой минеральной глинистой фракции ВВ и ДО. Элементы Mn, Pb и Sn характеризуются величинами  $K_{\text{вв}}/K_{\text{до}}=1-1.2$  с тенденцией снижения из реки в море. Относительное накопление этих элементов в составе ВВ во фронтальной зоне эстуария обусловлено протекающими при нарастании ионной силы раствора процессами флокуляции и коагуляции, которые сопровождаются «захватом» растворенных и взвешенных микроэлементов. Наиболее высокие значения коэффициента  $K_{\text{вв}}/K_{\text{до}}$  характеризуют элементы Co (8.9), Cu (6.4), Ni (6.8), Mo (6.3) и Cr (2.1). Содержание этих элементов во взвешенном веществе значительно превышает их содержание в поверхностных ДО, что свидетельствует о выносе значительной части взвешенной формы за пределы эстуарной зоны. Они могут накапливаться в составе органической составляющей ВВ, которая подвергается биогеохимическому разложению как в ходе осаждения взвеси, так и в ходе диагенетических процессов в поверхностном слое донных отложений.

Al принято использовать в качестве индикатора терригенной поставки осадочного материала в бассейн седиментации. Используя отношение элемент Me/Al, можно качественно оценить роль терригенного процесса в распределении металла по площади бассейна [8]. Анализ особенностей распределения содержания элементов по разрезу река-море с применением нормирования по Al выявил следующие ассоциации элементов. Валовое и нормированное по Al содержание Ca, Sr, и, в меньшей степени, Ba и Mn распределено в донных отложениях разреза река Кай – залив Нячанг неравномерно, накопление этих элементов контролируется уровнем содержания в осадках карбонатного углерода ( $C_{\text{карб}}$ ), определяемые количества которого (0.9–2.1%) обнаружены в ДО мористой части разреза.

Нормированное по Al содержание Fe, Ti, V, Li, Zn, Co, Cr, Ni, Cu, Sc, Zr, Sn и Cs распределены по разрезу относительно равномерно с тенденцией к повышению в мористой части разреза с уменьшением среднего

гранулометрического размера частиц осадка. Эти элементы в изученных донных отложениях преимущественно связаны с наиболее тонкодисперсной глинистой алюмосиликатной фракцией. В морской части эстуария при затухании стоковой составляющей течений и гомогенизации эстуарных вод создаются благоприятные гидродинамические условия для осаждения тонкодисперсной части взвеси, обладающей высокой сорбционной емкостью в отношении микроэлементов.

Элементы Mo, Bi, W и, в меньшей степени, Pb и U отличаются относительно неравномерным распределением со значимыми максимумами отношения элемент/Al в речной и морской частях разреза. Обогащение донных отложений этими элементами может быть связано с областями накопления органического углерода ( $C_{орг}$ ), содержание которого в составе ДО варьирует в пределах 0.5–1.8%.

Таблица 2. Доля форм металлов в ДО (в % от валового содержания)

Форма	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	Cr	Fe	Mn
Подвижная	2.8	12.3	16.5	42.4	29.1	9.2	10.6	32.0
Органически-связанная	12.1	10.4	-	-	10.6	2.2	4.1	15.8
Связанная с аморфным Fe	15.8	7.1	8.6	16.9	8.4	12.2	21.5	36.4

При изучении форм нахождения избранных элементов значительные определяемые количества Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Pb и Cr были вытеснены в раствор вытяжкой Тамма (табл. 1 и 2). Оксиды и гидроксиды железа являются высокоэффективными осадителями микроэлементов в эстуарных системах, так как в процессе образования и агломерации гелей оксидов железа происходит интенсивный захват рассеянных элементов из воды [2].

Наиболее высокие количества органически-связанной формы, экстрагируемой в раствор децимолярным пирофосфатом натрия, обнаружены для элементов Mn, Pb, Zn и Cu. Эти элементы обнаруживают наибольшее сродство к органическому веществу в составе изученных ДО.

Уксуснокислая вытяжка широко используется для целей экологической оценки почв и донных отложений [2][5]. По доле элементов, переходящей в данную вытяжку, оценивается степень загрязненности, геохимическая подвижность и потенциальная биодоступность элемента в различных грунтах. По уровню содержания в уксуснокислой вытяжке элементы можно условно распределить на три группы по уровню геохимической подвижности в донных отложениях залива Нячанг: 1) Cu – «слабоподвижные»; 2) Fe, Cr, Ni и Zn – «среднеподвижные»; 3) Co, Mn и Pb – «подвижные».

По суммарному экстракционному критерию (в уксуснокислой, пирофосфатной и вытяжке Тамма) изученные элементы в донных отложениях залива Нячанг можно расположить в следующий ряд в порядке

возрастания потенциальной биодоступности: Cu<Ni<Cr<<Fe<Zn<<Pb<Co<Mn.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демина Л.Л. Формы миграции тяжелых металлов в океане. М.: Наука, 1982. 160 с.
2. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
3. Пересыпкин В.И., Смуров А.В., Шульга Н.А. и др. Состав органического вещества воды, взвеси и донных отложений осадков залива Нячанг (Вьетнам, Южно-Китайское море) // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 6. С. 1020–1029.
4. Baturin G.N., Lobus N.V., Peresyppkin V.I., Komov V.T. Geochemistry of Channel Drifts of the Kai River (Vietnam) and Sediments of its Mouth Zone // *Oceanology*. 2014. V. 54. № 6. P. 788–797.
5. Koukina S.E., Lobus N.V., Peresyppkin V.I. et al. Abundance, distribution and bioavailability of major and trace elements in surface sediments from the Cai River estuary and Nha Trang Bay (South China Sea, Vietnam) // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2016. DOI: 10. 1016/j.ecss.2016.03.005
6. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
7. Loring D.H., Rantala R.T.T. Manual for geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter // *Earth–Science Reviews*. 1992. V. 32. P. 235–283.
8. Демина Л.Л., Филиппева К.В., Шевченко В.П. и др. Геохимия донных осадков в зоне смешения реки Кемь (Белое море) // *Океанология*. 2005. Т. 45. №6. С. 851–865.

Total contents of TOC, TIC, Al, Fe, Ti, Ca, Mn, Cr, Ni, V, Zn, Cu, Pb, Sb, Bi, Sn, Li, Co, Zr and Mo were determined in suspended particulate matter and surface sediments from the river Khai - Nha Trang Bay estuarine system of the South China Sea. Element abundance, distribution and partitioning on the river-sea geochemical barrier were studied. To estimate trace heavy metal potential bioavailability in the surface sediments, amorphous, organically bound and labile forms were determined by selective extraction. The most bioavailable microelements in sediments that were studied were scavenged by amorphous iron oxyhydroxides in the course of estuarine sedimentation.

**Лазарева Е.В.<sup>1</sup>, Восель Ю.С.<sup>1</sup>, Брянская А.В.<sup>2</sup>, Таран О.П.<sup>3</sup>,  
Чикунув А.С.<sup>3</sup>, Розанов А.С.<sup>2</sup>, Пельтек С.Е.<sup>2</sup>, Жмодик С.М.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, e-mail: [lazareva@igm.nsc.ru](mailto:lazareva@igm.nsc.ru); <sup>2</sup>ФГБНУ «ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН», Новосибирск; <sup>3</sup>Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск)

**Физико-химические особенности поровых растворов  
донных отложений озера Солёное (Новосибирская обл.)**

**Lazareva E.V.<sup>1</sup>, Vosel' Y.S.<sup>1</sup>, Bryanskaya A.V.<sup>2</sup>, Taran O.P.<sup>3</sup>,  
Chikunov A.S.<sup>3</sup>, Rozanov A.S.<sup>2</sup>, Peltek S.E.<sup>2</sup>, Zhmodik S.M.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk; <sup>2</sup>Federal Research Center "Institute of Cytology and Genetics of the SB RAS", Novosibirsk; <sup>3</sup>Boriskov Institute of Catalysis SB RAS, Novosibirsk)

**Physico-chemical peculiarity of bottom sediments pore solutions  
of Lake Solenoye (Novosibirsk region)**

Ключевые слова: солёные озёра, донные отложения, микробные сообщества, гидрогеохимия.

В работе представлены результаты исследования геохимических особенностей поровых растворов оз. Солёное (Западная Сибирь).

На юге Западной Сибири сосредоточено большое количество солёных озёр Mg-Na-Cl и Mg-Na-SO<sub>4</sub>-Cl состава. На данной территории в течение длительного периода (Selandian, около 60 млн. лет – Eocene-Oligocene, около 34.9 млн. лет) существовало Западно-Сибирское внутреннее море, после высыхания которого были сформированы озёра. Воды озёр нейтральные и слабощелочные (6.5 < pH < 8.5), содержат значительные концентрации В, Br, I, Li, Sr [1, 2]. По данным мониторинга в июле с 2008 по 2011 гг. наибольшие различия в минерализации (TDS) наблюдались у малых озёр, воды которых относятся к рассолам (TDS > 100 г/л) [1, 2]. Солёные озёра являются привлекательными объектами не только с бальнеологической точки зрения, но и как сырьевые источники Li и U, в связи с высокими концентрациями этих элементов [3]. Щелочные озёра являются также одной из немногих экосистем, в которых сохранились и успешно развиваются циано-бактериальные сообщества. С точки зрения места обитания микроорганизмов такие системы являются неустойчивыми, по причине значительных колебаний уровня воды, вплоть до полного пересыхания, в годовом, сезонном и месячном периодах. В результате, развивающиеся в них микробные сообщества имеют различные метаболические и поведенческие приспособления, позволяющие выдерживать значительные колебания факторов внешней среды, что делает солёные озёра ценными биоресурсами, заключающими в себе мощный биотехнологический потенциал в виде микроорганизмов, их генов,

ферментов и метаболитов, которые нуждаются в комплексном исследовании.

Для подробного исследования модельным объектом выбрано оз. Солёное возле деревни Лепокурово (Купинский район, Новосибирской области 54°11'59.60"С, 78°10'16.64"В). Экосистема озера характеризуется наличием ежегодно развивающегося визуально выявляемого микробного сообщества с преобладанием цианобактерий. В озере также обитает галофильный рачок *Artemia salina* (имеющий отдельную ценность и перспективы использования). Согласно микроскопическим исследованиям основу сообщества составляет колониальная цианобактерия *Microcystis sp.* и диатомовые водоросли. Также идентифицированы одноклеточные цианобактерии, принадлежащие к родам *Synechococcus* и *Cyanothece*; представители *Deltaproteobacteria* (*Desulfatibacillum sp.*, *Pelobacter sp.*, *Desulfotalea sp.*), *Alphaproteobacteria* (*Erythrobacter sp.*), *Bacteroidetes* (*Gramella sp.*), *Firmicutes* (*Bacillus sp.*) [1, 2].

Первые данные о физико-химических свойствах поровых растворов (ПР) донных отложений оз. Солёное были получены в 2010 г. [1]. pH и Eh растворов определяли в отжатых ПР, а содержание микроэлементов – в сухом остатке раствора методом РФА-СИ. Уже тогда было выявлено достаточно высокие содержания некоторых микроэлементов [1]. Донные отложения оз. Солёное отбирались в прибрежной части, в месте развития бентосного циано-бактериального сообщества. В 2010 и 2011 гг. Eh выжатых ПР был окислительный (100–300 mV) [1]. Однако верхние части донных отложений обогащены органическим веществом с отчётливым запахом сероводорода. Определение Eh в подобных средах представляется сложной задачей, поскольку при нарушении равновесия (например, перенос вещества на поверхность) параметр быстро меняется. Чтобы оценить реальные условия в системе приходится использовать различные методики измерения, предполагающие изоляцию от внешней среды [4–6].

С целью получения более достоверных данных о Eh-pH условиях донных отложений в 2017 г. опробование проводилось задавливанием пластиковой трубы диаметром 100 мм, которая заранее была распилена, и после извлечения осадка – вскрыта на месте (рис. 1). Вещество разделено на слои (рис. 1). После отбора образцов для микробиологических исследований к веществу, извлечённому из внутренней части осадка (кроме верхних 2-х слоёв) добавляли дистиллированную воду очищенную на дополнительно установке тонкой очистки воды Milli-Q, Millipore (с pH 7.3 и Eh ~ 400 mV) в пропорции 7.5 мл осадка : 5 мл воды. В полученной суспензии измеряли pH и Eh. Оставшееся вещество герметично упаковывалось и в стационарных условиях из него отжимался ПР ручным лабораторным прессом, при 150 кБар. В растворе измеряли pH и Eh, далее его центрифугировали. Часть раствора вместе с коллоидом, представленным, в основном, органическим веществом, подкисляли конц.

$\text{HNO}_3$ . Вторая часть раствора сохранялась без подкисления для анализа на содержание анионов и углерода. Пробы с высоким содержанием  $\text{C}_{\text{орг}}$  (слои 1, 2) предварительно окисляли  $\text{HNO}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}_2$  с нагреванием под ИК-лампой в замкнутом объеме. Содержание элементов определялось методом ICP-MS,  $\text{C}_{\text{орг}}$  на анализаторе общего углерода MultiNC2100, Analytik Jena.

pH донных отложений, измеренный в суспензии и pH порового раствора хорошо сопоставляются между собой (рис. 1), и с данными ранних исследований [1]. Результаты измерений Eh в пульпе и ПР в верхних 2х наиболее обводнённых слоях совпали. Однако, ниже 5 см от поверхности Eh пульпы стабильно оказывался ниже (рис. 1).

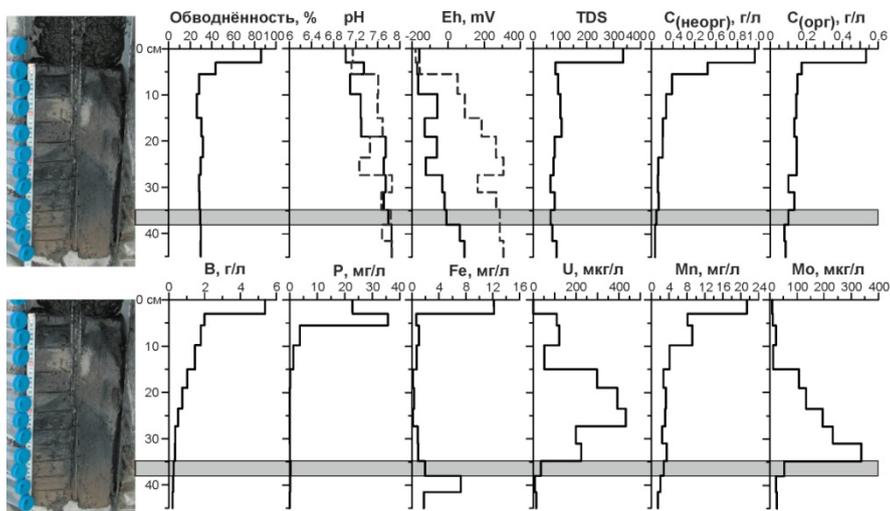


Рисунок 1. Изменение обводнённости, pH, Eh (сплошная линия – в пульпе, пунктирная – ПР), TDS, содержания неорганического, ( $\text{C}_{\text{неорг}}$ ), органического углерода ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ), B, P, Fe, U, Mn в ПР осадка оз. Солёное.

В 2017 г. минерализация воды оз. Солёное составляла 113 г/л, ПР в верхнем слое осадка превышала 300 г/л и далее вниз по разрезу варьировала от 50 до 100 г/л (рис. 1). Установлено, что содержания многих микроэлементов (Sc, Se, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, REE, Hf, Ta, Pb, Th, U) в ПР донных отложений на 2, 3, 4 и даже 5 порядков выше, чем в современной морской воде. Содержания  $\text{C}_{\text{неорг}}$ ,  $\text{C}_{\text{орг}}$ , B, Mn в верхнем слое максимальное и снижаются с глубиной резко, или постепенно (B, Mn) (рис. 1). Высокие содержания P определены в ПР верхних 5 см осадка.

Fe, U, Mo демонстрируют распределение, характерное для органо-содержащих осадков морей [7]. Есть мнение, что распределение Fe и U в поровом растворе и осадке отражает смену окислительных условий на восстановительные и определяют глубину окси-клина (Red-Ox-Cline) [8]. В

ПР пики максимальных содержаний Fe и U не совпадают. Fe(III) в восстановительных условиях преобразуется в более растворимый Fe(II), что контролируется глубиной проникновения O<sub>2</sub> [7]. Уран, напротив, растворим в присутствии O<sub>2</sub> и находится в виде UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>, а в восстановительной обстановке осаждается как UO<sub>2</sub> [9]. Согласно данной гипотезе окси-клин располагается в осадке оз. Солёное на глубине 35–38 см. Однако, подобное распределение элементов в растворе также объясняют деятельностью сульфат-редуцирующих бактерий [10] или других микроорганизмов, многие из которых определяют реакции окисления и/или восстановления элементов с переменной валентностью, в том числе U, Fe, Mn, Mo и т.д. [11]. Имеются данные о каталитическом восстановлении U(VI) на соединениях Fe(II) [12]. В реальных осадках вероятнее всего наблюдается совокупный вклад разных процессов. Полученные авторами данные показывают, что Eh возрастает с глубиной и максимальные содержания U в ПР приходятся на более восстановительные условия. Следовательно, в случае оз. Солёное, деятельность микроорганизмов может вносить максимальный вклад в распределения элементов от поверхности до глубоких слоев осадка. Деятельность микроорганизмов также вероятно является причиной высокой растворимости элементов, слабо мигрирующих в нейтральных и щелочных растворах.



Рисунок 2. Сравнение содержания элементов в ПР донных отложений оз. Солёное (область указывает на разброс значений от min до max) с содержанием элементов в морской воде [13], нормированные на содержания в сланце (Shale) [13].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 17-44-540815, государственного задания № 0330-216-0011. Аналитические исследования проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазарева Е.В., Брянская А.В., Таран О.П. и др. Исследование распределения элементов между компонентами системы солёного озера

методом РФА–СИ // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2012. № 12. С. 70–80.

2. Bryanskaya A.V., Malup T.K., Lazareva E.V. et al. The role of environmental factors for the composition of microbial communities of saline lakes // *BMC Microbiology*. 2016. V. 16 (1). P. 618.

3. Bai J., Yin X., Zhu Y., et al. Selective uranium sorption from salt lake brines by amidoximated *Saccharomyces cerevisiae* // *Chemical Engineering Journal*. 2016. V. 283. P. 889–895.

4. Бычков А.Ю. Геохимическая модель современного рудообразования в кальдере Узон (Камчатка). М.: ГЕОС, 2009. 124 с.

5. McKee K.L., Mendelsohn I.A., Hester M.W. Reexamination of pore water sulfide concentrations and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans* // *American Journal of Botany*. 1988. P. 1352–1359.

6. Reimers C. E., Tender L. M., Fertig S., Wang W. Harvesting energy from the marine sediment– water interface // *Environmental science & technology*. 2001. T. 35. № 1. P. 192–195.

7. Klinkhammer G.P., Palmer M.R. Uranium in the oceans: where it goes and why // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. T. 55. № 7. P. 1799–1806.

8. Mangini A., Jung M., Laukenmann S. What do we learn from peaks of uranium and of manganese in deep sea sediments? // *Marine Geology*. 2001. V. 177. № 1. P. 63–78.

9. Anderson R.F., LeHuray A.P., Fleisher M.Q., Murray J.W. Uranium deposition in saanich inlet sediments, vancouver island // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1989. V. 53. № 9. P. 2205–2213.

10. Lovley D.R., Roden E.E., Phillips E.J.P., Woodward J.C. Enzymatic iron and uranium reduction by sulfate–reducing bacteria // *Marine Geology*. 1993. V. 113. № 1–2. P. 41–53.

11. Lovley D.R. Dissimilatory metal reduction // *Annual Reviews in Microbiology*. 1993. V. 47. № 1. P. 263–290.

12. Liger E., Charlet L., Van Cappellen P. Surface catalysis of uranium (VI) reduction by iron (II) // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1999. V. 63. № 19. P. 2939–2955.

13. Li Y.–H. Distribution patterns of the elements in the ocean: a synthesis // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. V. 55. № 11. P. 3223–3240.

Geochemical features of porous solutions of saline lake (Western Siberia) are discussed in the article.

**Лейбман М.О.<sup>1,2</sup>, Дворников Ю.А.<sup>1</sup>, Хомутов А.В.<sup>1,2</sup>,  
Бабкин Е.М.<sup>1</sup>, Бабкина Е.А.<sup>1</sup>, Ванштейн Б.Г.<sup>3</sup>, Кизяков  
А.И.<sup>4</sup>, Облогов Г.Е.<sup>1</sup>, Семенов П.Б.<sup>3</sup>, Стрелецкая И.Д.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Институт криосферы Земли, ТНЦ СО РАН, Тюмень, e-mail: [moleibman@mail.ru](mailto:moleibman@mail.ru);

<sup>2</sup>Тюменский Государственный Университет, Тюмень; <sup>3</sup>ФГБУ

«ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург; <sup>4</sup>Московский Государственный  
Университет им. М.В. Ломоносова, Москва)

## **Водно-химические особенности воды озер и воронок газового выброса, вложенных в морские отложения севера Западной Сибири**

**Leibman M.O.<sup>1,2</sup>, Dvornikov Yu.A.<sup>1</sup>, Khomutov A.V.<sup>1,2</sup>,  
Babkin E.M.<sup>1</sup>, Babkina E.A.<sup>1</sup>, Vanshtein B.G.<sup>4</sup>, Kizyakov A.I.<sup>3</sup>,  
Oblogov G.E.<sup>1</sup>, Semenov P.B.<sup>4</sup>, Streletskaya I.D.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Earth Cryosphere Institute TSC SB RAS, Tyumen; <sup>2</sup>University of Tyumen, Tyumen;

<sup>3</sup>FSBI «VNIIOceangeology», St-Petersburg; <sup>4</sup>Lomonosov Moscow State University,  
Moscow)

## **Hydro-chemical features of water in lakes and gas-emission craters embedded in the marine deposits of West-Siberian north**

Ключевые слова: мерзлые породы, эмиссия метана, озера, воронки газового выброса, ионный и газовый состав воды

Воронки газового выброса, образовавшиеся на севере Западной Сибири, опробовались для определения гидрохимических параметров воды и льда их вмещающих и заполняющих. Для сравнения опробовались также озера и подземный лед из других обнажений. Сопоставление результатов анализов подтверждают вывод о происхождении воронок вследствие выброса метана из верхних горизонтов мерзлых пород и льда и проявляющихся также под дном морей на начальной стадии в виде газовых факелов, а на завершающей – покмарков.

Исследование воронок газового выброса (ВГВ) на севере Западной Сибири (рисунок) как нового природного явления потребовало разработки специфических подходов и методов, в том числе, геохимических и изотопных, широко применяемых в исследованиях многолетнемерзлых пород и подземных льдов [1–6].

На начальном этапе первичного сбора информации было установлено [7–9], что известные ВГВ приурочены к характерным для севера Западной Сибири разрезам отложений средне-верхнечетвертичного возраста, несущих следы морского засоления и вмещающих мощные прослои подземного пластового льда, а также значительные скопления метана как во льду, так и в мерзлых породах, в том числе, вероятно, в форме газовых гидратов [10–13].

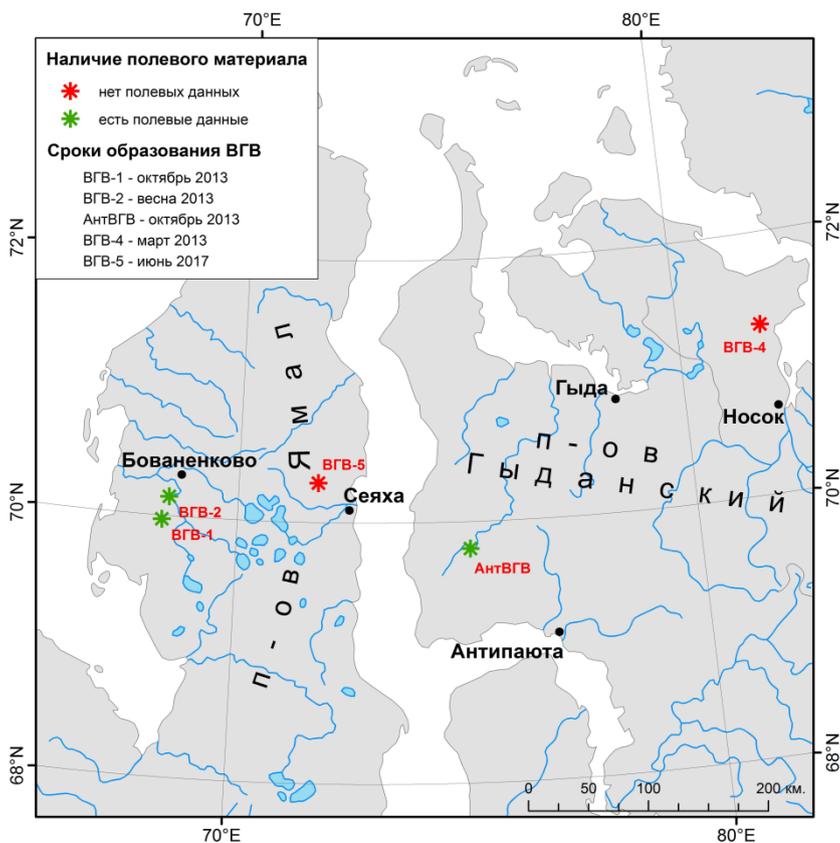


Рисунок. Схема расположения ВГВ на севере Западной Сибири.

Предложена гипотеза возникновения ВГВ, основанная на аналогии с формированием подводных кратеров – покмарков [14, 15], в результате выброса газа. Доказательства предложенной гипотезы базируются на измерении концентрации различных компонентов воды и льда как в материале ВГВ путем отбора проб из их стенок, так и в накапливающейся внутри ВГВ воде. Сопоставление полученных результатов с аналогичными показателями из подземного пластового льда обнажений за пределами ВГВ и из озер севера Западной Сибири направлено на прогноз эволюции известных ВГВ. Повторное опробование характеризует динамику гидрохимических особенностей озерной воды и воды озер ВГВ.

Наиболее полно опробована первая из обнаруженных и описанных воронок – ВГВ-1 (см. рисунок) в 40 км к югу от Бованенковского месторождения. В ВГВ-1 измерена концентрация метана в воздухе воронки

вскоре после её обнаружения в 2014 г. [7], а затем отбирались пробы льда из её стенок и воды из внутреннего озера в 2014–2015–2016 гг.

Из множества определенных параметров рассмотрим 3 основных – ионный состав, изотопы кислорода и водорода и содержание метана в воде и льду.

Методически опробование производилось следующим образом. Из ВГВ-1 отбирались пробы воды с поверхности и максимально доступной глубины (поскольку глубина внутреннего озера из года в год менялась). В озерах пробы воды отбирались таким же образом или только с поверхности, если не было возможности взять пробы с глубины. Пластовый лед отбирался из стенок воронки в верхней части (к моменту опробования она частично заполнилась) и из береговых обнажений озер вблизи ВГВ-1. Кроме того, привлекались данные по пластовому льду и другим видам льда из других обнажений севера Западной Сибири.

Сопоставлены результаты анализа проб в разных природных объектах и изменение этих параметров во времени.

В целом значительно более высокая концентрация основных ионов характерна для воды внутренних озер ВГВ по сравнению с обычными озерами, приближаясь к значениям 2 г/л, при преобладании Na и Cl. В пластовом льду из стенок воронки преобладает также Na, однако, Cl частично вытеснен гидрокарбонатом, хотя и превышает концентрацию сульфата. Во времени концентрация ионов снижается.

Изотопный состав воды, отобранной из внутренних озер ВГВ, сопоставлялся с изотопным составом воды из прочих озер и изотопным составом расплавов пластового льда. Изотопный состав воды из ВГВ ближе к составу пластового подземного льда из разреза стенок воронки. Однако во времени он постепенно утяжеляется ( $\delta^{18}\text{O}$  примерно от  $-20\text{‰}$  в 2014 г. до  $-18\text{‰}$  в 2017 г. и  $\delta\text{D}$  от  $-150\text{‰}$  до  $-135\text{‰}$  за то же время).

Содержание метана в подземном льду и мерзлых породах севера Западной Сибири давно является предметом активного исследования [11, 12, 17]. Значения этого параметра в воде внутреннего озера ВГВ как и предполагалось, исходя из гипотезы образования ВГВ и исходного содержания метана в воздухе ВГВ-1 до её заполнения водой, значительно превышают значения в озерной воде обычных озер (примерно 500-1000 ppm в воде внутреннего озера ВГВ-1 по сравнению с 15 ppm в среднем для прочих озер). Более высокие значения концентрации метана получены весной 2017 г., когда внутреннее озеро ВГВ-1 покрылось льдом, препятствуя эмиссии метана на поверхность и в атмосферу.

Таким образом, рассмотренные гидрохимические особенности внутреннего озера ВГВ, льда из её стенок и воды обычных озер показывают, что на начальном этапе состав воды внутреннего озера сформирован поступлением оттаявших морских отложений и льда отступающих стенок ВГВ, а впоследствии постепенно разбавляется атмосферными осадками.

При этом, содержание метана в воде за первые 3 года наблюдений остается весьма высоким и свидетельствует о наличии источника под дном внутреннего озера.

Ежегодные обследования и опробование воды внутренних озер ВГВ обнаруживают динамику как формы – заполнение её водой и оттаивающими отложениями при отступании стенок, промерзание снесенных в ВГВ пород, разбавление воды внутреннего озера ВГВ в части изотопного и ионного состава. Концентрация метана остается высокой. Если продолжение мониторинга содержания метана покажет сохранение высокой концентрации во времени, вероятно, это можно будет считать признаком происхождения озера заполнением ВГВ, а не термокарстовым процессом, поскольку некоторые обычные озера также характеризуются высоким содержанием метана в воде вблизи дна.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ №161710203.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геокриологии и гляциологии. М., 2000. 116 с.
2. Стрелецкая И.Д., Лейбман М.Ю. Криогеохимическая взаимосвязь пластовых льдов, криопэггов и вмещающих отложений Центрального Ямала // Криосфера Земли. 2002. Т. VI. № 3. С. 15–24.
3. Ванштейн Б.Г., Лейбман М.О., Пивень П.И. и др. Изучение генезиса пластового льда на основании анализа распределения редкоземельных элементов // Криосфера Земли. 2002. Т. 4. № 4. С. 40–48.
4. Леин А.Ю., Лейбман М.О., Саввичев А.С. и др. Изотопно–биогеохимические особенности подземного пластового льда полуостровов Югорского и Ямал // Геохимия. 2003. № 10. С. 1084–1104.
5. Vanshtein B.G., Cherkashov G.A., Piven P.I., Leibman M.O. Cryochemochemical fields in tabular ground ice as indicators of its origin // Proceedings of the International Conference on Permafrost, Zurich, 21–25 July, 2003. A.A. Balkema Publishers, Lisse, Netherlands, 2003. V. II. P. 1155–1160.
6. Leibman M.O., Perednya D.D., Kizyakov A.I. et al. Sulfur and carbon isotopes within atmospheric, surface and ground water, snow and ice as indicators of the origin of tabular ground ice in the Russian Arctic // Permafrost and Periglacial Processes. 2011. № 22 (1). P. 39–48.
7. Лейбман М.О., Плеханов А.В. Ямальская воронка газового выброса: результаты предварительного обследования // Холодок. 2014. № 2 (12). С. 9–15.
8. Кизяков А.И., Сонюшкин А.В., Лейбман М.О. и др. Геоморфологические условия образования воронки газового выброса и динамика этой формы на Центральном Ямале // Криосфера Земли. 2015. Т. IX. № 2. С. 15–25.
9. Стрелецкая И.Д., Лейбман М.О., Кизяков А.И. и др. Подземные льды и их роль в формировании воронки газового выброса на полуострове Ямал //

Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. Т. 1. № 2. С. 91–99.

10. Ривкина Е.М., Краев Г.Н., Кривушин К.В. и др. Метан в вечномёрзлых отложениях северо–восточного сектора Арктики // Криосфера Земли. 2006. № 3. С. 23–41.

11. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. М.: ВНИИГАЗ, 2009. 192 с.

12. Kraev G, Schulze E-D, Yurova A. et al. Cryogenic Displacement and Accumulation of Biogenic Methane in Frozen Soils // Atmosphere. 2017. № 8(6). 105 p.

13. Buldovicz S.N., Khilimonyuk V.Z., Bychkov A.Y. et al. Cryovolcanism on the Earth: Origin of a giant crater in the Yamal peninsula (Russia) // Scientific reports. 2017. № 7.

14. Portnov A., Smith A.J., Mienert J. et al. Offshore permafrost decay and massive seabed methane escape in water depths >20 m at the South Kara Sea shelf // Geophys. Res. Lett. 2013. № 40. P. 3962–3967.

15. Миронюк С.Г., Отто В.П. Газонасыщенные морские грунты и естественные газовыделения углеводородов: закономерности распространения и опасность для инженерных сооружений // Геориск. 2014. № 2. С. 8–18.

16. Стрелецкая И.Д., Васильев А.А., Облогов Г.Е., Матюхин А.Г. Изотопный состав подземных льдов Западного Ямала (Марре–Сале) // Лед и снег. 2013. № 2 (122). С. 83–92.

17. Васильев А.А., Стрелецкая И.Д., Мельников В.П., Облогов Г.Е. Метан в подземных льдах и мёрзлых четвертичных отложениях западного Ямала // Доклады Академии наук. 2015. Т. 465. № 5. С. 604–607.

Gas emission craters, formed in the north of West Siberia, were sampled to determine the hydrochemical parameters of water and ice of enclosing and filling crater material. Lakes and ground ice from other exposures were analyzed as well. Comparison of the results of analysis confirms the conclusion concerning the nature of the craters as following from the emission of methane accumulated in the upper horizons of frozen rocks and ground ice, being analogues of features beneath the sea floor appearing initially in the form of gas flares, and finally as pockmarks.

**Леонова Г.А.<sup>1</sup>, Мальцев А.Е.<sup>1</sup>, Меленевский В.Н.<sup>2</sup>,  
Копотева Т.А.<sup>3</sup>, Бобров В.А.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, e-mail: [leoнова@igm.nsc.ru](mailto:leoнова@igm.nsc.ru); <sup>2</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, <sup>3</sup>Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск)

**Методологические подходы к вопросу выявления источников и генезиса современного и захороненного органического вещества на примере голоценовых разрезов сапропелей малых озер юга Западной Сибири и Прибайкалья**

**Leonova G.A.<sup>1</sup>, Maltsev A.E.<sup>1</sup>, Melenevskii V.N.<sup>2</sup>,  
Kopoteva T.A.<sup>3</sup>, Bobrov V.A.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk; <sup>2</sup>A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk; <sup>3</sup>Institute of Water and Environmental Problems FEB RAS)

**Methodological approaches to the problem of identifying sources of modern and buried organic matter by the example of Holocene incisions of sapropels of small lakes in the south of Western Siberia and the Baikal region**

Ключевые слова: биопродуценты, органическое вещество, озерные сапропели, биостратификация, биологический анализ, пиролиз, углеводороды-биомаркеры

На основе данных биологического анализа (послойное определение в разрезах озерных отложений остатков организмов), отношения  $C_{орг}/N_{орг}$ , форм пирограмм образцов биопродуцентов и сапропеля и состава нормальных алифатических углеводородов (n-алканов) выявлены источники поступления, генезис и трансформация захороненного органического вещества в голоценовых разрезах сапропелей типовых малых озер юга Западной Сибири и Прибайкалья.

Вещественный состав донных отложений исследованных озер сибирского региона определяется соотношением трех осадкообразующих компонентов — органического вещества (ОВ), карбонатного материала и соединений кремния. Химический состав озерных отложений позволяет дифференцировать их согласно классификациям [1, 2] на следующие группы: минеральные (зольность > 85%), минерально-органические (зольность 50–70%), органо-минеральные (зольность 30–50%) и органические (зольность до 30%). По преобладающему компоненту минеральной части они подразделяются на известковистые, основу которых составляют карбонаты (СаО до 40%), и кремнеземистые (SiO<sub>2</sub> до 34%), либо смешанного карбонатно-кремнеземистого типа (табл. 1).

Таблица 1. Типы озерных отложений юга Западной Сибири и Прибайкалья по [1, 2] и основной химический состав, средние данные на абс. сухое вещество, %

Тип осадка	Озеро	Мощн.. м	Зол- ть	SiO <sub>2</sub>	CaO	ОВ	C <sub>орг</sub>
Минеральный							
Мергелистая глина	Иткуль	1.5	89	38.3	15.7	11	6.2
Минерально-органический							
Известковистый сапропель	Минзе-линское	4.2	70	5.6	30.5	30	14.8
Известковисто-кремнеземистый сапропель	Большие Тороки	1.4	64	27.2	12.5	36	14.3
Органо-минеральный							
Кремнеземистый сапропель	Котокель	6	41	26	1.3	59	26
Органический							
Кремнеземистый сапропель	Духовое	1.8	29	15.3	1.2	71	38.7
Кремнеземистый сапропель	Очки	2.7	23	14.6	0.5	77	25.8

По содержанию ОВ и составу минеральной части все исследуемые типы сапропелей образуют два вполне определенных осадочных комплекса, которые связаны с географическим положением озер. Первый комплекс включает высоkozольные минерально-органические сапропели карбонатного ряда, которые образуются в седиментационных бассейнах исследованных озер юга Западной Сибири [3]. В противоположность первому, второй комплекс представлен бескарбонатными низkozольными сапропелями органо-минерального и органического типа, которые образуются в исследованных озерах Прибайкалья [4].

При выявлении современных источников поставки ОВ в донные осадки озер нами исследовались современные озерные биоценозы и в них выделялись доминирующие виды-сапропелеобразователи, продуцирующие наибольшую биомассу.

Установление источников, генезиса и трансформации захороненного ОВ по глубине стратифицированных разрезов озерных отложений – задача исключительно сложная, требующая комплексного подхода с привлечением специальных методов анализа и критериев, косвенно подтверждающих генетическую связь захороненного ОВ с исходным органическим материалом (автохтонным или аллохтонным). С этой целью авторы используют, в первую очередь, прямой метод послойного количественного подсчета остатков организмов (комплексный биологический анализ), на основании которого проводится биостратификация толщи озерных

отложений согласно [1]. Получены первые данные по биостратификации разрезов минерально-органического сапропеля оз. Минзелинское (юг Западной Сибири) и органического сапропеля оз. Очки (Прибайкалье), позволившие авторам глубже подойти к вопросу расшифровки условий осадконакопления в геологическом прошлом и судить об источниках и генезисе захороненного ОВ. Делается заключение о формировании двух биологических типов сапропелей: макрофитогенного в типовых озерах юга Западной Сибири и планктоногенного – в озерах Прибайкалья.

В озерных сапропелях не всегда сохраняются остатки организмов, например, синезеленых водорослей и мягкой растительности типа рдестов. В подобных случаях наиболее подходящими становятся не прямые методы, позволяющие косвенно подтвердить генетическую связь захороненного ОВ с исходным сапропелеобразующим материалом, в том числе, отношение органического углерода к органическому азоту C/N (рис.1). Используются органо-геохимические маркеры источников поступления и генезиса ОВ – отношение углерода к азоту (C/N) и углеводороды-биомаркеры [5–7].

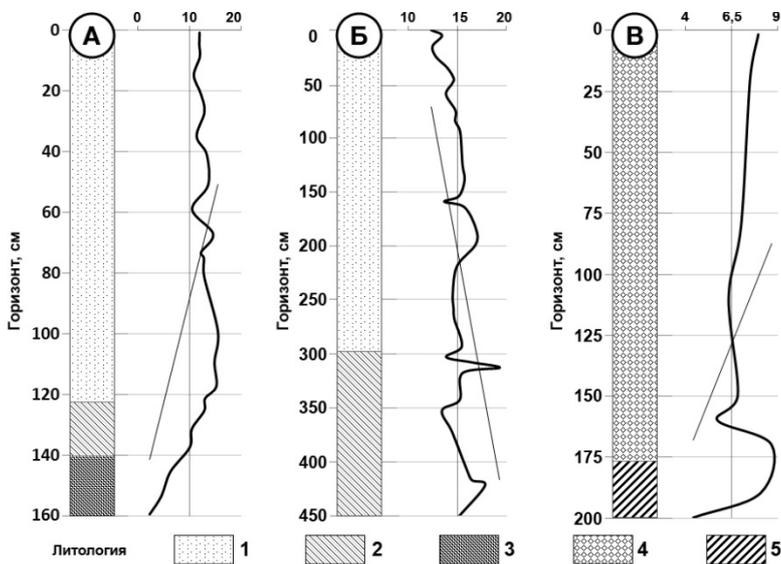


Рисунок 1. Распределение C/N отношения по разрезам донных отложений озер Большие Тороки (А), Минзелинское (Б) и Духовое (В). 1. макрофитогенный сапропель; 2. торфянистый сапропель; 3. торфянистый сапропель, смешанный с глиной; 4. планктоногенный сапропель; 5. планктоногенный сапропель, смешанный с глиной.

C/N-отношение служит показателем вклада автохтонного и

аллохтонного материала в состав ОВ озерных отложений согласно [8]: при C/N отношении  $\leq 12$  доминирует ОВ автохтонного происхождения (планктон, макрофиты), от 12 до 40–47 — ОВ аллохтонного происхождения (наземная растительность).

Источники и генезис захороненного ОВ сапропеля оз. Очки, наряду с биологическим анализом, был подтвержден углеводородами-биомаркерами (n-алканами) и лабильными компонентами белково-углеводных веществ, установленных методом пиролиз-хромато-масс-спектрометрии. Продукты разложения полисахаридов маркировали ОВ автохтонного генезиса – фитопланктона, компоненты белково-протеинового комплекса – ОВ зоопланктона, а нечетные n-алканы – ОВ аллохтонного генезиса – зеленых и сфагновых мхов [6].

Анализ форм пираграмм сапропелевых отложений (хроматографические спектры продуктов пиролиза) дает представление о трансформации ОВ в диагенезе (рис. 2).

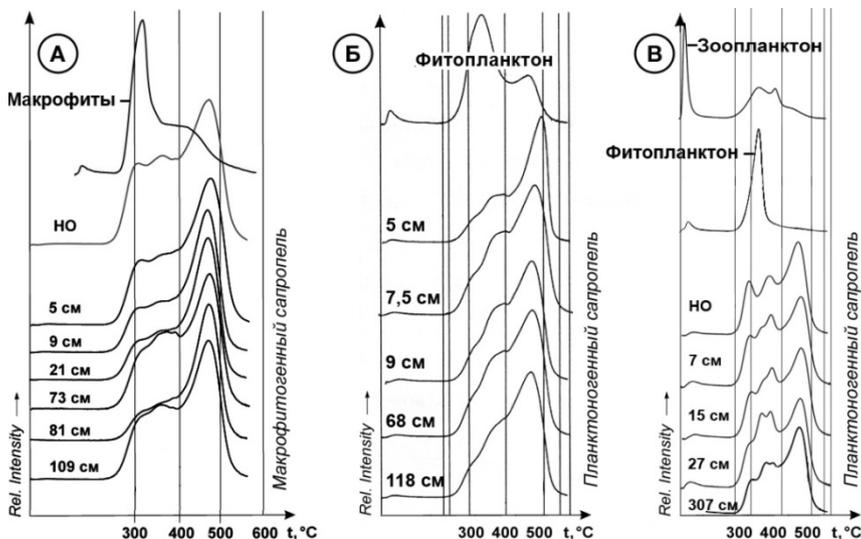


Рисунок 2. Пирограммы продуцентов органического вещества и осадков озер Большие Тороки (А) (юг Западной Сибири), Духовое (Б) и Очки (В) (Прибайкалье). НО – неконсолидированный осадок (0–2 см). Rel. Intensity – скорость выделения вещества за единицу времени при данной температуре.

Пирограммы имеют характерные пики – высокотемпературный (500 °С), свидетельствующий о наличии в сапропелях макромолекулярных алифатических структур – керогена и пологие низкотемпературные пики (300–400 °С), представляющие собой лабильные компоненты белково-углеводных веществ. Сравнительный анализ пираграмм биопродуцентов и

сапропеля показывает, что в составе сапропеля (уже в первых 5 см) отсутствуют лабильные белково-углеводные вещества (пики ~ 330°C), а установлено наличие керогена (пики ~500 С) – сильнопреобразованного в анаэробных условиях ОВ. Это свидетельствует о том, что распад попадающего в осадки ОВ и образование керогена начинается в верхних интервалах сапропеля на самых ранних стадиях диагенеза. При дальнейшем наложении осадков в более глубоких слоях толщи, по-видимому, остается лишь очень стойкое ОВ, дальнейший распад которого идет крайне медленно. В целом, независимо от генезиса сапропелей (планктонного или макрофитного) трансформация захороненного ОВ идет сходно – лабильные компоненты ОВ подвергаются деструкции на ранних стадиях диагенеза.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кордэ Н.В. Биостратификация и типология русских сапропелей. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 219 с.
2. Лукашев К.И., Ковалев В.А., Жуховицкая А.Л., Хомич А.А., Генералова В.А. Геохимия озерно-болотного литогенеза. Минск: Наука и техника, 1971. 284 с.
3. Мальцев А.Е., Лазарева Е.В., Леонова Г.А., Бобров В.А., Мирошниченко Л.В. Минеральный состав и геохимия голоценового разреза сапропеля озера Минзелинское (Новосибирская область) // Геология и минеральные сырьевые ресурсы Сибири. № 3с. Ч. 2. С. 118–122.
4. Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Мирошниченко Л.В. и др. Минеральный состав планктоногенного сапропеля оз. Котокель (Прибайкалье) // Геология морей и океанов. М.: ГЕОС, 2015. Т. III. С. 56–59.
5. Ветров А.А., Семилетов И.П., Дударев О.В. и др. Исследование состава и генезиса органического вещества донных осадков Восточно-Сибирского моря // Геохимия. 2008. № 2. С. 183–195.
6. Меленевский В.Н., Леонова Г.А., Бобров В.А. и др. Трансформация органического вещества в голоценовых осадках озера Очки (Южное Прибайкалье) по данным пиролиза // Геохимия. 2015. № 10. С. 925–944.
7. Беляев Н.А. Органическое вещество и углеводородные маркеры Белого моря: автореф. дис. ...к-та геол.-мин. наук. М., 2015. 24 с.
8. Гашкина Н.А., Моисеенко Т.И., Кремлева Т.А. Особенности распределения биогенных элементов и органического вещества в малых озерах и лимитирование их трофности на европейской территории России и Западной Сибири // Вестник Тюменского гос. университета. 2012. № 12. С. 17–25.

Based on biological analysis data (layer-by-layer determination of the remains of organisms in bottom sediments), Corg / Norg ratios, pyrogram forms of bioproduct and sapropel samples, and normal aliphatic hydrocarbon (n-alkanes) composition, sources of origin, genesis and transformation of buried organic matter in Holocene sections Sapropels of typical lakes of the south of Western Siberia and the Baikal region.

**Маккавеев П.Н., Гордеев В.В., Завьялов П.О.,  
Хлебопашев П.В., Коченкова А.И.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail:  
[makkaveev55@mail.ru](mailto:makkaveev55@mail.ru); [peter@ocean.ru](mailto:peter@ocean.ru))

**Гидрохимические исследования устьевой области реки  
Урал 2016–2017 гг.**

**Makkaveev P.N., Gordeev V.V., Zavialov P.O.,  
Khlebopashev P.V., Kochenkova A.I.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Hydrochemistry investigation in the estuary of the Ural river  
2016–2017**

Ключевые слова: биогенные элементы, металлы, углерод, зона смешения

В 2016 и 2017 гг. проведены работы в нижнем течении р. Урал. Исследовано более 80 км речного русла от г. Атырау до зоны контакта речной и морской вод. Обе экспедиции пришлось на ранний период весеннего половодья, сток воды еще не достиг своего максимума. Положение зоны смешения было практически неизменным в оба этих года. Значительная изменчивость гидрохимических параметров вдоль по течению реки. После зоны контакта морских и речных вод содержание биогенных элементов падало практически до нулевых значений.

В 2016 и 2017 гг. сотрудниками ИО РАН были проведены экспедиции в приустьевом районе р. Урал. Экспедиция базировалась в г. Атырау, это дало возможность исследовать химический состав вод не только в море, но и на протяжении почти 80 км речного устья, захватывая и зону смешения морских и речных вод. Кроме стандартных гидрохимических наблюдений при проходе по реке до места работ проводился отбор проб на взвешенное вещество и тяжелые металлы. Отбор проб был по ходу судна ведром, данные о температуре и минерализации воды получены из проточной системы, которая работала во все время движения судна до места работ. Подобный прием работы уже неоднократно применялся в прибрежно-морских экспедициях ИО РАН [1].

Устье реки Урал относится к устьям дельтового типа [2], дельта реки достаточно быстро растущая, по крайней мере, в последние два столетия [3]. Основной рукав дельты Золотой, где и проходили работы. В работе [2] верхней границей устьевой зоны считается пос. Баксай, расположенный почти на 150 км выше г. Атырау. Основная часть стока приходится с апреля по июнь проходит 68% объема стока [2].

Определение гидрохимических параметров проводилось во временной судовой лаборатории, развернутой на берегу по стандартным методикам [4, 5], принятым в экспедиционной практике. Пробы воды были профильтрованы через предварительно взвешенные ядерные фильтры

диаметром 47 мм с порами 0.45 мкм и стекловолнистые фильтры Whatman GF/F. Концентрации растворенных форм металлов (после фильтрации через ядерные фильтры) были определены методом атомно-абсорбционного анализа: Cr, Cd, Pb, Ni, Co, As, Hg в графитовой кювете на спектрометре Квант-Z.ЭТА, а Fe, Mn, Zn в пламени ацетилен-воздух на спектрометре Квант-2А.

Оба года работы проводились в апреле, когда по начинается начало периода полой воды. Создается впечатление, что оба года работы пришлось еще до начала наступления весеннего половодья или на самой ранней его стадии. Судя по распределению минерализации воды (рис. 1) положение зоны смешения вод было практически одинаковым во время обоих съемок, хотя в 2017 г уровень в реке в районе пристани был на 1.5 м ниже, чем в 2016 г.

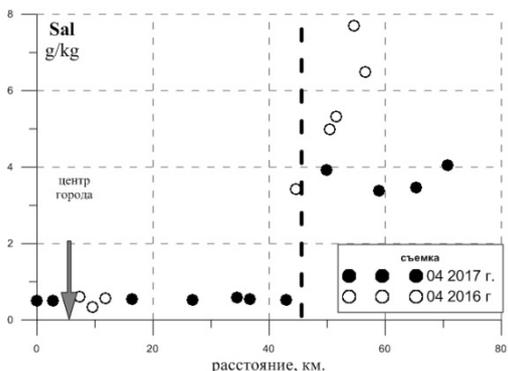


Рисунок 1. Распределение минерализации в воде р. Урал по результатам съемок 2016 и 2017 г. Пунктир – контакт речных и морских вод.

Наблюдавшийся диапазон гидрохимических характеристик был чрезвычайно велик, как это и характерно для зон контакта вод различного генезиса. Сказывалось значительное различие в составе речных и морских вод. Так величина рН изменялась от 7.7 до более чем 9.0 ед. NBS. Максимальные величины рН наблюдались практически в устье реки, непосредственно перед выходом в морскую часть полигона. Естественная причина столь высоких величин рН в пресных водах, как правило, очень высокая интенсивность развития фотосинтетических процессов. Но содержание растворенного кислорода, а главное степени его насыщения, были невысокими. Возможно, это связано с высоким содержанием органического вещества растворенного или влекомого с речными водами. На окисление его и расходуются растворенный кислород. Насыщение вод кислородом более 100% (в максимуме до 134%) отмечено только периферии исследованного района, где влияние речных вод было минимальным.

Наиболее высокое содержание минеральных форм азота отмечались в

речных водах. В приустьевой части района содержание нитратного, нитритного и аммонийного азота значительно уменьшалось. Так в речных водах содержание нитратного азота было от 50–100 мкг-ат/л. Наиболее высокое содержание отмечено в реке в пределах центра города. После контакта с морскими водами содержание нитратов падает практически до аналитического нуля (рис. 2а). Высокое содержание нитритного азота (более 1 мкг-ат/л) наблюдалось в речных водах в городской черте, где, видимо, наиболее активно проходили процессы окисления органического вещества, и доля промежуточных, не до конца окисленных форм азота была высокой. По мере удаления от устья реки содержание нитритов убывает (рис. 2б).

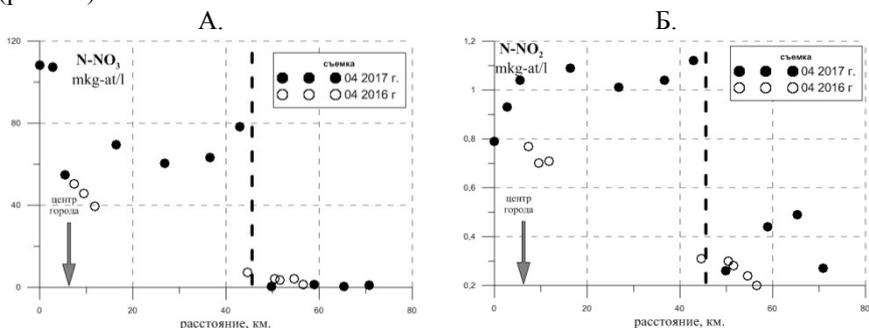


Рисунок 2. Распределение нитратного (А) и нитритного (Б) форм азота в воде р. Урал по результатам съемок 2016 и 2017 г. Пунктир – контакт речных и морских вод.

Концентрация фосфатов за время работ менялось от аналитического нуля до 1.4 мкг-ат/л. В речных водах содержание их было от 0.02 до 1.40 мкг-ат/л, что можно считать невысоким, принимая во внимание высокую степень загрязнения реки. В морской части разреза содержание фосфатов было незначительным, до 0.24 мкг-ат/л. Повышенное содержание в фосфора было отмечено недалеко от устья реки в зоне контакта пресных и солоноватых вод (рис. 3а), где вероятно, наиболее активно проходили процессы окисления выносимого рекой органического вещества и не только в растворенной форме, но и в составе взвеси.. Надежным трассером распространения материкового стока считается содержание растворенного кремния (силикаты). За период работ содержание растворенного кремния было от 0.3 до 154.3 мкг-ат/л. Если при работах в 2016 г. низкое содержание растворенного кремния было отмечено в речной воде, по результатам съемки 2017 г. минимальное содержание растворенного кремния (от 0.3 до 7.2 мкг-ат/л) отмечалось в мористой части. В речных водах его содержание было от 24 до 154 мкг-ат/л. (рис. 3б).

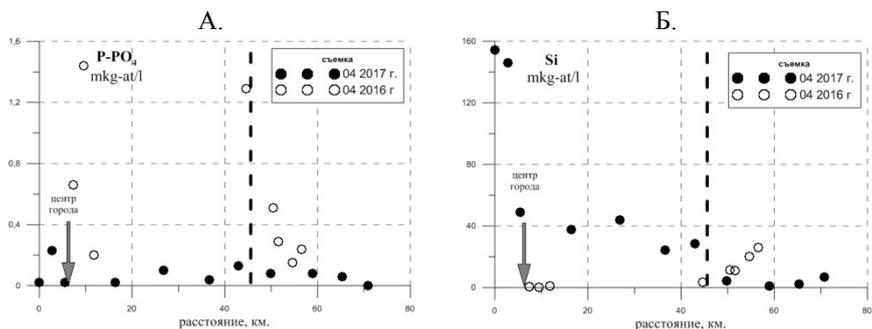


Рисунок 3. Распределение неорганического фосфора (А) и кремния (Б) в воде р. Урал по результатам съёмок 2016 и 2017 г. Пунктир – контакт речных и морских вод.

Наибольшее содержание взвеси в речной воде (более 60 мг/л) было, естественно, в черте города. В зоне смешения содержание взвеси уменьшалось почти в 2 раза. Содержание взвешенных металлов в общем имеет тот же характер, что и общее содержание взвеси, наиболее всего во взвеси содержится Zn от 700 до 2000 мкг/л. Содержание растворенных металлов имеет другое распределение. Высокие концентрации наблюдались в черте города, ниже по течению содержание растворенных металлов снижалось до почти следовых значений и в мористой части опять начинался их рост (рис. 4). Исключение составлял только Ni, содержание которого с зоне смешения вод было 1.6 – 3.1 мкг/л, а выше и ниже по течению спадало практически до аналитического нуля (менее 1 мкг/л.).

Работы 2017 г. проводились несколько позже, чем в 2016 г, но значительно раньше, чем пришла волна половодья. Высокое содержание кремния и неорганического углерода, свойственное воде зимней межени, отмечались в 2017 г. выше по течению г. Атырау. Можно предположить, что воды, обогащенные азотом и кремнием это воды зимней межени, образовавшиеся выше по течению и оттесняемые паводковыми водами. Такой эффект отмечался и в других крупных реках [6].

В 2016 г. такие высокие значения форм азота и растворенного кремния отмечались только на периферии района работ. В 2017 г., напротив, в мористой части полигона отмечались минимальные значения этих параметров. То есть можно предположить, что воды зимней межени еще не прошли в приустьевой район.

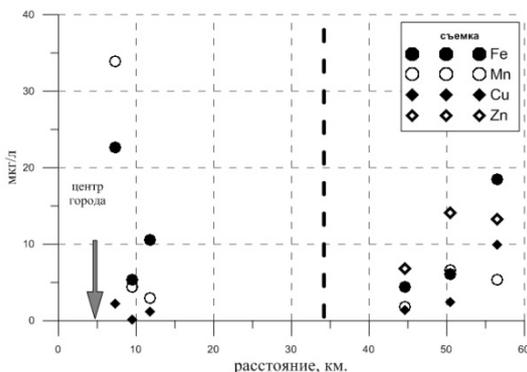


Рисунок 4. Содержание растворенных металлов (мкг/л) в поверхностной воде р. Урал по результатам съемки в апреле 2016 г. Пунктир – контакт речных и морских вод.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялов П.О., Маккавеев П.Н., Коновалов Б.В. и др. Гидрофизические и гидрохимические характеристики морских акваторий у устьев малых рек российского побережья Черного моря // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 3. С 293–308.
2. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: Прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
3. Самойлов И.В. Устья рек. М.: Географгиз, 1952. 526 с.
4. Современные методы гидрохимических исследований океана / Ред. Бордовский О.К., Иваненков В.Н. М.: ИО АН СССР, 1992. 198 с.
5. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. / Ред. В.В. Сапожников. М.: Изд-во ВНИРО. 2003. 202 с.
6. Стунжас П.А., Маккавеев П.Н. Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 5. С. 622–634.

In 2016/2017 there were expeditions in the lower current of the Ural River. More than 80 km of the river mouth from the town Atirau to the contact of the river and sea waters. The both expeditions were held in the early period of flood when the flow of the water hadn't reached its maximum. The location of the displacement zone was practically the same in the both periods (the both years). The significant changeableness of the maintenance of the nutrients along the river mouth were observed. After the zone of merging of the maintenance of the nutrients was reduced practically to the zero.

**Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А.**

(Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск,  
e-mail: [maltsev@igm.nsc.ru](mailto:maltsev@igm.nsc.ru))

## **Интенсивность процесса бактериальной сульфатредукции в осадках малых озер Сибири**

**Maltsev A.E., Leonova G.A., Bobrov V.A.**

(V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk)

## **Intensity of the process of bacterial sulfate reduction in the sediments of Siberian lakes**

Ключевые слова: сульфатредукция, сульфатредуцирующие бактерии, пирит, формы серы,  $\text{SO}_4^{2-}$ , органическое вещество, поровые воды, озерные осадки, сапропель

Установлено, что в условиях повышенного поступления органического вещества в осадок процессы восстановления сульфата протекают в восстановительной среде и из-за отсутствия сульфатного иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) в озерной воде образование сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) происходит очень медленно.

В качестве объектов исследования интенсивности бактериальной сульфатредукции в условиях пресноводного диагенеза были выбраны типовые малые озера юга Западной Сибири (оз. Большие Тороки, Новосибирская область) и Восточного Прибайкалья (оз. Котокель и оз. Духовое), донные осадки которых представлены органогенными отложениями ( $C_{\text{орг}} > 10\%$ ) — сапропелями. Сапропели — это современные или субфоссильные тонкоструктурные отложения континентальных водоемов, содержащие значительное (более 30%) количество органического вещества (ОВ).

На примере голоценовых разрезов донных отложений 3 малых озер Сибири показаны особенности бактериальной сульфатредукции в условиях пресноводного континентального диагенеза. Установлено, что в условиях повышенного поступления ОВ в осадок сульфатредуцирующие процессы протекают в восстановительной обстановке, а из-за недостатка сульфатного иона в пресных озерных водах образование сероводорода идет очень медленно, несмотря на большое количество ОВ. Максимальная численность сульфатредуцирующих бактерий (СРБ) приурочена к нижним интервалам осадка. Рост численности СРБ хорошо коррелирует с уменьшением концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  в поровых водах и ростом восстановленных форм S и Fe (представленных пиритом) в твердой фазе осадка. Наблюдается прямая зависимость между интенсивностью бактериальной сульфатредукции и образованием пирита, которая зависит от степени минерализации ОВ. Сравнительный анализ показал, что в сапропелях озер юга Западной Сибири в отличие от озер Прибайкалья наблюдается более интенсивный процесс сульфатредукции, который может зависеть как от

Таблица. Зависимость интенсивности сульфатредукции от степени деструкции органического вещества (ОВ). СРБ — численность сульфатредуцирующих бактерий в колониеобразующих единицах на грамм осадка (КОЕ/г). \* — содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  в поверхностных водах озера. Прочерк — нет данных.

Глубина, см	Eh, мВ	ОВ, %	Степень деструкции ОВ			Интенсивность сульфатредукции			
			$\text{C}_{\text{орг}}$ , % от ОВ	$\text{N}_{\text{орг}}$ , % от ОВ	C/N	$\text{S}_{\text{вал}}$ , %	$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/л	$\text{Fe}^{2+}$ , мг/л	СРБ, КОЕ/г $\times 10^5$
Оз. Большие Тороки (юг Западной Сибири)									
0–5	–3	48.1	48.2	4.0	11.9	0.6	27.3/26.8*	0.06/0.05*	3,5
30–35		44.6	50.3	3.9	12.9	0.7	27.0	0.20	5,0
115–120	–180	41.9	48.3	3.2	15.2	2.3	10.5	0.14	7,0
135–140		39.8	45.9	3.1	14.8	2.2	1.1	0.15	10,0
Оз. Духовое (Восточное Прибайкалье)									
0–5	—	67.8	51.4	4.8	10.8	0.7	31.6/31.5*	0.57/0.40*	0,009
70–80		70.8	53.1	4.6	11.5	0.7	30.9	0.32	0,014
110–115		73.5	54.2	4.3	12.6	1.1	30.4	0.39	0,218
150–158		75.7	54.9	4.2	13.1	0.9	25.3	0.53	0,418
175–180		74.0	54.2	4.0	13.6	1.3	22.1	0.38	0,589
190–200		37.4	44.3	3.1	14.3	0.9	13.6	0.05	
Оз. Котокель (Восточное Прибайкалье)									
0–5	+10	64.7	49.3	—		0.8	4.2/4.2*	0.95/0.81*	0.3
115–120	–70	57.1	48.1			1.2	4.1	1.43	2.7
180–185		54.7	47.0			1.2	2.6	0.63	4.7
260–265	–120	68.8	43.5			1.3	1.3	0.40	5.8
315–320		64.7	46.2			1.0	0.5	2.08	3.3
380–385		–162	64.4			48.1	0.9	0.2	1.13

вещественного состава органического вещества, так и от количества сульфатов в поровых водах.

Хорошо известно [1–3 и др.], что основой процесса, приводящей к образованию всех промежуточных и конечных соединений серы в современных донных осадках, является микробиологическое восстановление сульфатов группой анаэробных микроорганизмов — сульфатредуцирующих бактерий. В исследованных нами озерах сибирского региона наиболее интенсивно сульфатредукция протекает в нижних интервалах осадка, менее интенсивно — в самых верхних горизонтах. При бактериальном восстановлении сульфатов в поровых водах выявлено одновременное понижение концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  и величин Eh, рост сульфатредуцирующих бактерий (табл.) и восстановленных форм серы.

Формам серы в осадках озер Котокель и Духовое показали, что в горизонтах с активной сульфатредукцией доминирует S (II), т.е. сера в составе  $\text{H}_2\text{S}$ . В верхних интервалах сапропеля оз. Духовое, там, где сульфатредукция не установлена, доминирующей формой серы является S (VI), т.е. сера в составе сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), которая составляет до 60–98% от валовой серы. Максимальные содержания S (VI), до 98% от валовой серы, установлены в верхних 2 см осадка. Ниже по разрезу содержания S (VI) снижаются до 60–80% от содержания валовой S. Минимальные значения (20–30%) S (VI) были установлены в интервале 180–200 см на участке активной сульфатредукции. В оз. Котокель наблюдалась сходная картина. Доминирование форма S (II) выявлено в интервалах с активной сульфатредукцией (ниже 100 см по разрезу). Самые высокие значения S (VI) установлены в верхних интервалах сапропеля. Однако, интервал 20–40 см характеризовался повышением S (II) до 50% — здесь были обнаружены большие скопления фрамбоидального пирита.

Малое количество сульфатов в озерных водах является сдерживающим фактором развития процессов сульфатредукции, а основным источником сульфатов являются поровые воды, пронизывающие осадки. В свою очередь, большую часть  $\text{SO}_4^{2-}$  поровые воды наследуют из наддонных вод. Поэтому, количество  $\text{SO}_4^{2-}$  в поровых водах верхних интервалов осадка практически равно количеству  $\text{SO}_4^{2-}$  в озерной воде (табл.).

Установлено увеличение концентраций сульфат-иона в поровых водах верхних интервалов осадка оз. Большие Тороки в сравнении с поверхностной (озерной) водой. Это обусловлено тем, что в диагенезе в процессе сульфатредукции выделяется значительное количество  $\text{H}_2\text{S}$ , который в результате диффузионного перераспределения поступает в верхние интервалы осадка из нижележащих горизонтов. В верхних слоях восстановленных осадков значительная часть сульфидов вновь окисляется тионовыми или серными бактериями до сульфата. Вследствие этого в верхней части зоны восстановленных осадков возникает так называемый *динамический максимум сульфата*, согласно [2], в котором концентрации

сульфата в поровых водах становятся более высокими, чем в наддонной воде (табл.). Такой динамический максимум сульфатов, установленный только в поровых водах осадка оз. Большие Тороки, может косвенно свидетельствовать о том, что интенсивность процессов сульфатредукции в данном озере самая высокая.

Интенсивность бактериальной сульфатредукции в сапропелях разных озер существенно отличается. Особенно хорошо это заметно при сравнении сульфатредукции в сапропелях озер Большие Тороки и Духовое (табл.), где в последнем, при схожих содержаниях сульфатов в поровых водах, сульфатредукция идет вяло. В оз. Котокель с низкими содержаниями  $\text{SO}_4^{2-}$ , наблюдается иная картина: концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  уменьшаются до нуля уже в средних интервалах осадка, образование  $\text{FeS}_2$  прекращается и в поровых водах накапливается  $\text{Fe}^{2+}$  (табл.). При наличии в поровых водах ионов  $\text{Fe}^{2+}$  в условиях интенсивной минерализации ОВ (которая дает массу  $\text{CO}_2$ ) становится возможным образование сидерита, который был обнаружен ниже по разрезу методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Интенсивность сульфатредукции определится рядом факторов: количеством сульфат-иона в поровых водах, численностью сульфатредуцирующих бактерий и т.д., однако еще одним немаловажным фактором является степень доступности органического вещества: степень минерализации, наличие липидов и пр.

По глубине разрезов сапропелевых осадков всех исследованных озер, установлено [4, 5] увеличение числа и размеров фрамбOIDов пирита в нижних высокосольных интервалах осадка. Особенно много фрамбOIDального пирита обнаружено в подстилающих сапропели глинистых горизонтах, где выявлены большие скопления крупных (до 10 мкм) фрамбOIDов пирита и максимальная численность сульфатредуцирующих бактерий. В верхних интервалах изученных озерных сапропелей количество фрамбOIDов, как правило, невелико, зачастую они вообще не выявлены, а вместо них встречаются отдельные кристаллы пирита, причем в некоторых интервалах осадка пирит вообще исчезает, например, интервал 4–6 м в оз. Котокель. В сапропеле оз. Духовое, фрамбOIDы пирита вообще не обнаружены, а отдельные кристаллы  $\text{FeS}_2$  встречается только внутри цист золотистых водорослей. Возможно, что цисты золотистых водорослей являются благоприятной средой (содержат легкодоступную органику) для развития СРБ. ФрамбOIDы пирита в оз. Духовое появляются в нижних интервалах осадка, представленных глинистым материалом с содержанием ОВ на уровне 33%.

На основании полученных данных микробиологических исследований можно предположить, что сульфатредуцирующие бактерии не в состоянии в полной мере использовать большие массы быстрозахоранивающегося органического вещества. Они используют или легкодоступные лабильные компоненты органического вещества, например липиды в верхних

интервалах осадка, или подверженное глубокой деструкции ОВ в нижних горизонтах осадка (вследствие малого его количества и более длительного времени захоронения). Поэтому во всех исследованных озерах максимальные численности СРБ приурочены к нижним интервалам осадка.

Таким образом, интенсивность сульфатредукции зависит не только от количества органического вещества, но и от степени его минерализации (доступности). Что хорошо подтверждается литературными данными [6, 7] – сульфатредуцирующие бактерии способны утилизировать лишь сравнительно низкомолекулярное органическое вещество, прежде всего, лактат ( $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$ ) и пируват ( $\text{CH}_3\text{COCOOH}$ ). Поэтому в природных обстановках сульфатредукция требует предварительной частичной деградации сложных органических молекул путем окислительных и ферментативных реакций, катализируемых другими микроорганизмами. Это означает, что быстрое попадание слабо разложенного органического вещества в анаэробную среду не благоприятствует процессам сульфатредукции и требует более или менее длительного пребывания органики в анаэробных условиях.

Работа выполнена в рамках проектов РФФИ-Р 1745 540063 и 1745 540527.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геохимия диагенеза осадков Тихого океана (трансокеанский профиль). М.: Наука, 1980. 288 с.
2. Волков И.И. Геохимия серы в осадках океана. М.: Наука, 1984. 272 с.
3. Кокрятская Н.М., Забелина С.А., Саввичев А.С., Морева О.Ю. Сезонные биогеохимические и микробиологические исследования малых озер таежной зоны северо-запада России (Архангельская область) // Водные ресурсы. 2012. Т. 39, № 1. С. 78–91.
4. Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Бобров В.А. и др. Диагенетическое преобразование органо-минеральных сапропелей озера Большие Тороки (Западная Сибирь) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 3 (19). С. 65–76.
5. Леонова Г.А., Бобров В.А., Мальцев А.Е. и др. Биогеохимия планктоногенного сапропеля озера Котокель (Прибайкалье) // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. 2015. Т. 1. С. 53–56.
6. Trudinger P.A., Lambert I.B., Skyring G.W. Biogenic sulfide ores: a feasibility study // Econ. Geol. 1972. V. 67. № 8. P. 1114–1127.
7. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.

It has been established that under conditions of increased intake of organic matter in the sediment, the sulfate-reducing processes proceed in a reducing environment and because of the lack of a sulphate ion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) in lake water, the formation of hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) travels very slowly.

**Меленевский В.Н.<sup>1</sup>, Леонова Г.А.<sup>2</sup>, Климин М.А.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт геологии нефти и газа СО РАН, Новосибирск, e-mail:

[ymelenevsky@yandex.ru](mailto:ymelenevsky@yandex.ru); <sup>2</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск;

<sup>3</sup>Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск)

## **Особенности диагенеза органического вещества сапропелей и торфов по данным пиролиза**

**Melenevsky V.N.<sup>1</sup>, Leonova G.A.<sup>2</sup>, Klimin M.A.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Institute of Geology of Oil and Gas of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk; <sup>2</sup>Institute Geology and Mineralogy of Siberian Branch of RAS of Chemical Kinetics and

Combustion of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk; <sup>3</sup>Institute of Water and Ecological Problems of Far-Eastern Division of the of RAS, Khabarovsk)

## **Features of diagenesis of organic matter of sapropels and peats from the data of pyrolysis**

Ключевые слова: осадочное вещество современных осадков, диагенез, пиролиз

Пиролитическим методом (Рок Эвал) изучена трансформация двух типов органического вещества (ОВ) – озерного (сапропели) и болотного (торф). Трансформация ОВ первичных продуцентов в осадки для этих двух типов существенно различаются. Для сапропелей основным механизмом седиментации ОВ служит бактериальная переработка исходного субстрата в водном столбе и верхних слоях осадка. Для болота ОВ исходной растительности практически без изменений переходит в торф.

Метод пиролиза в варианте Rock Eval (PE) пиролиз был разработан для диагностики нефтематеринских пород Тиссо и Вельте [1]. Впоследствии ввиду своей высокой экспрессности и информативности он получил широкое распространение при исследовании современных осадков [2–4].

С целью исследования трансформации органического вещества (ОВ) в процессах седиментации и раннего диагенеза пиролитическим методом проведено изучение сапропелей крупнейшего в Прибайкалье озера Котокель и торфов Тяпкинского болота.

Результаты пиролитического исследования приведены на рисунке. Температурные кривые выделения углеводородов (УВ) из изученных образцов (пирограммы) можно представить в виде суперпозиции нескольких температурных пиков (фракций). Первый, низкотемпературный пик (S1) соответствует липидной составляющей ОВ торфа. Далее следуют лабильные компоненты ОВ, представленные промежуточным пиком S<sub>2</sub>\* в температурном интервале 250–400°C и являются продуктами разложения белково-углеводно-лигнинового комплекса. И, наконец, высокотемпературный пик S<sub>2</sub> при температурах выше 400 °C можно рассматривать как фрагмент структуры фоссилизированного ОВ (керогена). Вид пирограммы определяется биохимическим составом ОВ. Ряд термической устойчивости отдельных компонентов ОВ можно представить

в виде протеины–углеводы–лигнин. Таким образом, переход макромолекулярной структуры отмершего ОВ в геологическую макромолекулу должен сопровождаться уменьшением вклада низкомолекулярной части ( $T < 400^{\circ}\text{C}$ ) пирограммы относительно ее высокомолекулярной составляющей.

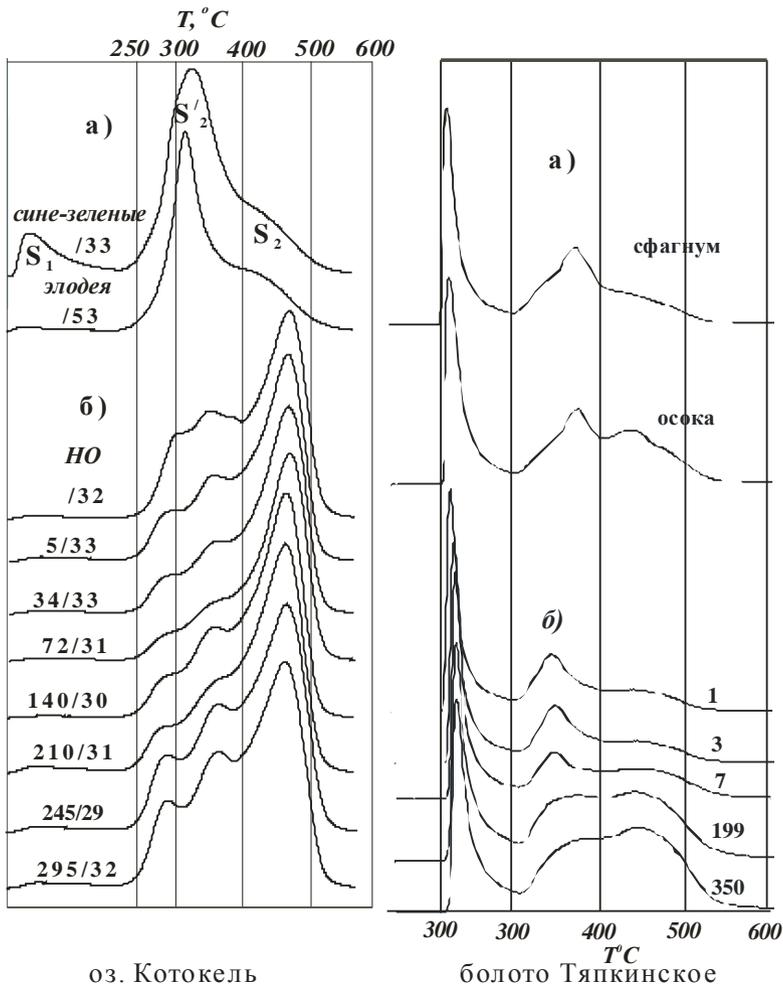
Отличие седиментогенеза (переход отмерших продуцентов ОВ в осадок) для двух типов ОВ рассмотрим на примере их пирограмм. Для сапропелей пирограммы продуцентов коренным образом различаются от пирограмм торфов. Это вызвано интенсивной бактериальной переработкой отмерших алг в водном столбе и верхних слоях осадка. При этом в составе ОВ осадка доля бактериальной компоненты может достигать до 50%. Бактериальная стадия диагенеза протекает до глубин приблизительно 5 м, после чего ее интенсивность резко уменьшается. Конечным продуктом диагенеза сапропелей являются горючие сланцы.

В отличие от сапропелей переход отмершей высшей наземной растительности в осадок происходит без коренной перестройки химической структуры продуцентов. Как видно из данных рисунка, образцы торфа в верхних слоях осадка практически наследуют структуру исходных продуцентов – мхов. В пользу этого свидетельствует подобие пирограмм мхоф и торфов. Далее диагенетическая трансформация торфа сопровождается относительным увеличением вклада «керогеновой», высокотемпературной составляющей. На заключительных стадиях диагенеза переход торфов в бурые угли имеет чисто термический характер

Таким образом, преобразование сапропелей и торфов в диагенезе заключается в необратимом элиминировании из его состава лабильных компонент ОВ и трансформации их структуры в горючие сланцы и бурые угли.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти (B.P. Tissot, D.H. Welte Petroleum formation and occurrence. A new approach to oil and gas exploration). М.: Мир, 1981. 501 с.
2. Меленевский В.Н., Леонова Г.А., Конышев А.С. Результаты исследования органического вещества современных осадков озера белое (Западная Сибирь) по данным пиролизических методов // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 6. С. 751–762.
3. Disnar J.R., Guillet B., Keravis D. et al. Soil organic matter (SOM) characterization by Rock-Eval pyrolysis: scope and limitations // Org. Geochem. 2003. V. 34. P. 327–343.
4. Orem W.H., Hatcher P.G. Early Diagenesis of Organic Matter in a Sawgrass Peat from The Everglades, Florida // International Journal of Coal Geology. 1987. V. 8. P. 33–54.



оз. Котокель

болото Тяпкинское

Рисунок. Пирограммы органического вещества продуцентов (а) и осадков (б) озера Котокель и торфов Тяпкинского болота. Дробь: числитель – глубина отбора пробы, знаменатель – содержание органического углерода, НО – неконсолидированный осадок.

Transformation of two types of the organic matter (OM) – lake (sapropels) and marsh (peat) was studied by the pyrolytic method (Rock Eval). Transformation of primary producers during sedimentation significantly differs for these two types of OM. For sapropels as the main mechanism of sedimentation of OM serves bacterial reworking of an initial substratum in a water column and high layers of sediment. For the swamp OM of initial vegetation passes into peat practically without changes.

**Орехова Н.А., Коновалов С.К., Овсяный Е.И., Гуров К.И.**

(ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, e-mail:

[natalia.orekhova@mhi-ras.ru](mailto:natalia.orekhova@mhi-ras.ru))

## **Окислительно-восстановительные процессы в бактериальных матах северо-западного побережья Крыма**

**Orekhova N.A., Kononov S.K., Ovsyany E.I., Gurov K.I.**

(Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Sevastopol)

## **Red-Ox processes in microbial mats of the northwestern Crimea coast**

Ключевые слова: бактериальные маты, сульфиды, органический углерод, Черное море

Изучены внутригодовая изменчивость и биогеохимические процессы, связанные с формированием бактериальных матов в районе нахождения метанового сипа на северо-западном побережье Крыма. Установлено, что формирование структуры мата начинается с мая, и максимальной активности достигает в летний период. По мере усиления гидродинамического воздействия (ноябрь) структура мата разрушается.

Северо-западное побережье Крыма характеризуется наличием метановых сипов, расположенных в районе мыса Тарханкут на глубине 3–6 м. Чаще всего выход метана из донных отложений в водную толщу осуществляется через тектонические нарушения в придонных осадочных горизонтах, зоны глубоких разломов и грязевые диапиры путем диффузии растворенного или свободного газа или в виде сфокусированных потоков. Частично этот газ может быть гидратным [1]. В зонах активного выделения метана протекают микробиологические процессы аэробного и анаэробного окисления метана (в соответствии с уравнениями 1 и 2), в результате чего формируются специфические образования в виде бактериальных матов [2, 3]. Анаэробное окисление метана в микробных матах происходит преимущественно за счет восстановления сульфатов сульфатредуцирующими бактериями (уравнение 2). Данные исследований подтвердили доминирование в составе бактериальных матов анаэробных микроорганизмов (метанобразующих археобактерии рода *Methanotrix*) [3].



Можно предположить, что формирование газонасыщенных бактериальных матов северо-западного побережья Крыма определяется активностью процессов трансформации органического вещества микробным сообществом, результатом чего является образование значительных количеств сульфидов. Это проявляется в физико-химическом

составе матов (увеличение концентрации восстановленных форм серы и снижение содержания кислорода).

Целью данной работы было изучение биогеохимических процессов и условий развития анаэробных условий в бактериальных матах метановых сипов прибрежных районов Крыма.

Отбор проб донных отложений осуществлялся в северо-западной части Крыма в районе мыса Тарханкут (рис. 1) с мая по ноябрь 2016 г. Колонка отложений отбиралась водолазом в трубку из оргстекла, закрывающуюся с обеих сторон и перемещалась в строго вертикальном положении без нарушения естественной структуры донных отложений в береговую лабораторию.



Рисунок 1. Район отбора проб

Сразу после доставки колонки на берег выполнялся полярнографический анализ (вертикальное профилирование) придонного слоя вод и донных отложений (микробиологических матов) с помощью стеклянного Au-Hg-микроэлектрода [4], что позволило сохранить условия, максимально приближенными к естественным, и получить вертикальный профиль сульфидов и кислорода. После полярнографического профилирования колонка донных отложений делилась по слоям 1–2 см для определения геохимических характеристик (содержание органического и неорганического углерода, влажность, пористость).

Установлено, что начало формирования бактериальных матов в районе мыса Тарханкут приходится на май (после формирования устойчивой стратификации водной толщи, отсутствия или минимального гидродинамического воздействия на поверхностный слой донных отложений в области метановых газовыделений). В этот период отмечаются следовые концентрации сульфидов в придонном слое вод и поровых водах (рис. 2), при этом кислород еще присутствует в толще осадка и проникает на глубину до 20 мм. Содержание органического вещества – минимально (0.34% масс.). К концу мая концентрации сульфидов и органического углерода увеличиваются (до 51 мкМ и 0.83% мас. соответственно), что

свидетельствует об интенсивно протекающих процессах сульфатредукции (уравнение 2) и накоплении бактериальной массы.

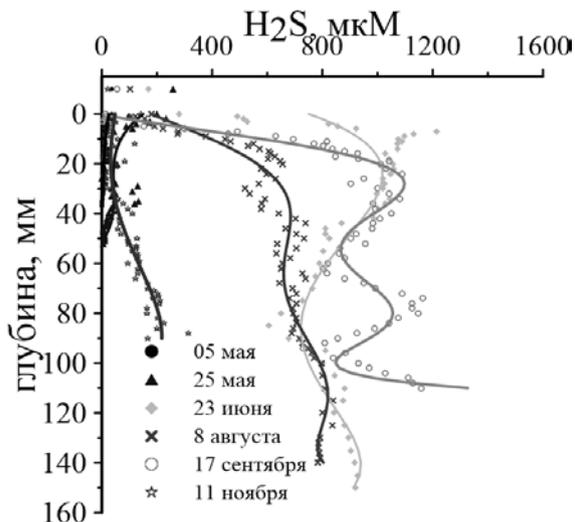


Рисунок 2 Вертикальные профили распределения сульфидов в области бактериальных матов районов метановых сипов с мая по ноябрь 2016 г.

В летний период при увеличении температуры и устойчивой вертикальной стратификации водной толщи, бактериальная биомасса достигает максимальных величин, и наблюдаются наибольшие величины концентрации растворенных сульфидов (рис. 2), при этом кислород отсутствует на поверхности мата. Необходимо отметить, что наиболее активно процессы протекали в конце июня, когда максимальные концентрации сульфидов достигали 1215 мкМ (рис. 2), а органического углерода – 15.5% масс. в верхнем слое (0–30 мм) донных отложений. Затем активное формирование бактериальной биомассы замедлялось, о чем свидетельствует снижение концентрации сульфидов и органического углерода и увеличение содержания карбонатов. Последнее обусловлено образованием гидрокарбонат-ионов при окислении метана сульфатами (уравнение 2) и его дальнейшее вовлечение в биогеохимические процессы, приводящее в конечном итоге к образованию карбонатов [3, 5].

По мере снижения температуры и усиления гидродинамического воздействия происходит разрушение и деградация слоев бактериальной биомассы, уменьшается концентрация сульфидов (рис. 2), и появляется кислород в толще отложений. Впоследствии анаэробные процессы окисления метана (уравнение 2) сменяются аэробными (уравнение 1).

Таким образом, формирование бактериальной массы в районе выхода

метана на северо-западном побережье Крыма, начинается с мая, наиболее активно протекая в летний период. С усилением гидродинамического воздействия (к ноябрю-декабрю) происходит их разрушение. Образование матов, как результат жизнедеятельности бактерий и накопления бактериальной биомассы, приводит к окислению метана кислородом на первом этапе и сульфат-ионами на втором этапе, что приводит в конечном счете к образованию и накоплению восстановленных форм серы (сульфид- и гидросульфид-ионов) и гидрокарбонат-ионов.

Работа выполнена в рамках программы государственного задания по теме 0827-2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей, на основе современных методов контроля состояния морской среды и гидротехнологий» (шифр «Фундаментальная океанология») и проекта РФФИ № 16-05-00471\_a «Биогеохимические процессы, динамика и геохимические характеристики сероводородного заражения в районах прибрежных струйных газовыделений метана».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнюков Е.Ф., Янко В.В. Газоотдача дна Черного моря: геолого-поисковое, экологическое и навигационное значение // Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. 2014. Т. 19. Вып. 4. С. 225–240.
2. Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море – средообразующая и экологическая роль. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. 405 с
3. Лейн А.Ю., Иванов М.В. Биогеохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009. 576 с.
4. Luther G.W., III et al. Use of voltammetric solid-state (micro)electrodes for studying biogeochemical processes: Laboratory measurements to real time measurements with an in situ electrochemical analyzer (ISEA) // Marine Chemistry. 2008. V. 108. P. 221–235
5. Millero F.J. The Marine Inorganic Carbon Cycle // Chemical Reviews. 2007. V. 107. P. 308–341.

Temporal variability and biogeochemical processes resulting in formation of microbial mats in the northwestern coast of the Crimea have been studied. It was established that microbial mat formation began in May with maximum activity in the summer. Under hydrodynamic influence (in November) the mats were destroyed. The main process is methane oxidation by sulfates leading to sulfides appear.

**Параскив А.А., Терещенко Н.Н., Проскурнин В.Ю.,  
Сидоров И.Г.**

(ФГБУН Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского  
РАН, Севастополь, e-mail: [artem.paraskiv@mail.ru](mailto:artem.paraskiv@mail.ru))

**Оценка седиментационных потоков плутония в донные  
отложения в Севастопольской бухте в период до и после  
аварии на ЧАЭС**

**Paraskiv A.A., Tereshchenko N.N., Proskurnin V.Y.,  
Sidorov I.G.**

(A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol)

**Assessment of plutonium sedimentation fluxes into bottom  
sediments in the Sevastopol Bay during period before and after  
the Chernobyl accident**

Ключевые слова: Чёрное море, Севастопольская бухта,  $^{239, 240}\text{Pu}$ , вертикальное  
распределение, седиментационные потоки, донные отложения, авария на ЧАЭС

Представлено вертикальное распределение альфа-радионуклидов плутония  $^{239+240}\text{Pu}$   
и  $^{238}\text{Pu}$  в донных отложениях Севастопольской бухты в Чёрном море. Проведена  
оценка седиментационных потоков плутония из водной толщи в донные осадки в  
разные периоды в этой акватории.

*Введение.* В настоящее время в постчернобыльский период основными  
техногенными дозообразующими радиоизотопами в экосистемах Чёрного  
моря являются долгоживущие изотопы  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и альфа-радиоизотопы  
плутония ( $^{239,240}\text{Pu}$ ) (Радиоэкологический отклик..., 2008).

Известно (Терещенко, 2011), что в Чёрном море для илистых донных  
отложений фактор радиоёмкости для  $^{239+240}\text{Pu}$  достигает 98% в шельфовых  
районах. Это указывает на то, что основным депо плутония в черноморских  
экосистемах являются именно донные отложения, что в свою очередь  
обуславливает повышенный интерес к изучению процессов  
перераспределения плутония в прибрежных акваториях, используемых в  
хозяйственной и рекреационной деятельности. Поэтому объектом нашего  
исследования была выбрана Севастопольская бухта, являющаяся  
крупнейшей и самой широко используемой в черте города.

Для решения задачи определения возраста донных отложений получили  
распространение, как радиоизотопные методы, так и неядерные  
хронологические маркеры (Degens et al, 1980; Ritson et al, 1999). При  
исследовании экологических процессов датировку донных отложений чаще  
всего проводят с помощью природного радиоактивного изотопа свинца  
 $^{210}\text{Pb}$ , однако применение этого метода затруднено в акваториях с  
непостоянной скоростью осадконакопления (Appleby, 1998), к числу

которых относится большинство эстуариев и прибрежных зон, включая Севастопольскую бухту (Радиоэкологический отклик., 2008). Поэтому использование  $^{210}\text{Pb}$  комбинируют с применением других радиотрассеров не только природного, но и антропогенного происхождения, например  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ .

Целью нашей работы было определение концентрационной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в донных отложениях устьевой зоны Севастопольской бухты и её вертикальное распределение в осадках для проведения геохронологической датировки загрязнения радионуклидами плутония донных отложений бухты, а так же определения седиментационных потоков плутония из водной толщи в донные отложения в разные периоды в этой акватории.

*Материалы и методы.* Отбор проб донных осадков проводился в Чёрном море в Севастопольской бухте 06.02.2013 г. в точке с координатами  $44^{\circ}37.1'$ с.ш.,  $33^{\circ}32.4'$ в.д. и глубиной 12.5 м. Колонки донных отложений отбирали грунтовой акриловой трубкой диаметром 58 мм с вакуумным затвором. Для определения активности  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  и биогеохимических параметров седиментационных процессов полученный керн делили на слои по 1 см с помощью экстрадера

Концентрационные активности  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  определяли по методике, разработанной НПО «Тайфун» (Методика измерений., 2015), с учётом рекомендаций (Measurement of radionuclides., 1989). Принцип метода заключается в проведении ряда процедур: термическая предобработка проб, внесение в качестве трассера выхода радиоизотопа  $^{242}\text{Pu}$ , радиохимическое выделение плутония из проб донных отложений и их последующая очистка при помощи колоночной хроматографии с применением ионообменных смол. Посредством электроосаждения на стальные диски изготавливали тонкослойные препараты, которые измеряли на альфа-спектрометрическом комплексе. Ошибка определения концентрационной активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных отложениях не превышала 13%. Ошибка определения  $^{238}\text{Pu}$  из-за низких уровней концентрационной активности изменялась от 10 до 80%.

Для проведения датировки донных отложений использовали метод радиоизотопной геохронологической реконструкции загрязнения изотопами плутония, в комплексе с дополнительным трассером – радиоизотопами цезия (Радиоэкологический отклик., 2008).

*Результаты и обсуждение.* По результатам мониторинга плутония в Севастопольской бухте были определены концентрационные активности  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в 0–5 см слое донных отложений в разных акваториях бухты (Терещенко и др., 2013). Концентрационная активность радионуклидов плутония не превышала 1 Бк/кг осадка и изменялась в диапазоне 0.275–0.993 для  $^{239+240}\text{Pu}$ , а для  $^{238}\text{Pu}$  в среднем составила 0.012 Бк/кг.

Наибольшую концентрацию  $^{239+240}\text{Pu}$  наблюдали в устьевой части Севастопольской бухты, поэтому именно эта часть акватории была выбрана

для изучения вертикального распределения радионуклидов плутония. Повышенный уровень концентрационной активности в устьевой части бухты можно объяснить не только заходом в бухту морских вод с более высокими концентрациями  $^{239+240}\text{Pu}$ , но и изменением структуры выхода из бухты, которая носит техногенный характер. В 1986 г. окончилось строительство заградительных молов на входе в бухту, за счет чего выход из нее сузился с 1235 м до 415 м. Вследствие этого водообмен с открытой частью моря уменьшился на 40–70% (Иванов и др., 2006), что в свою очередь создало своего рода седиментационную ловушку в этой акватории.

Значения концентрационной активности радионуклидов плутония в вертикальном профиле донных отложений представлены на рис. 1.

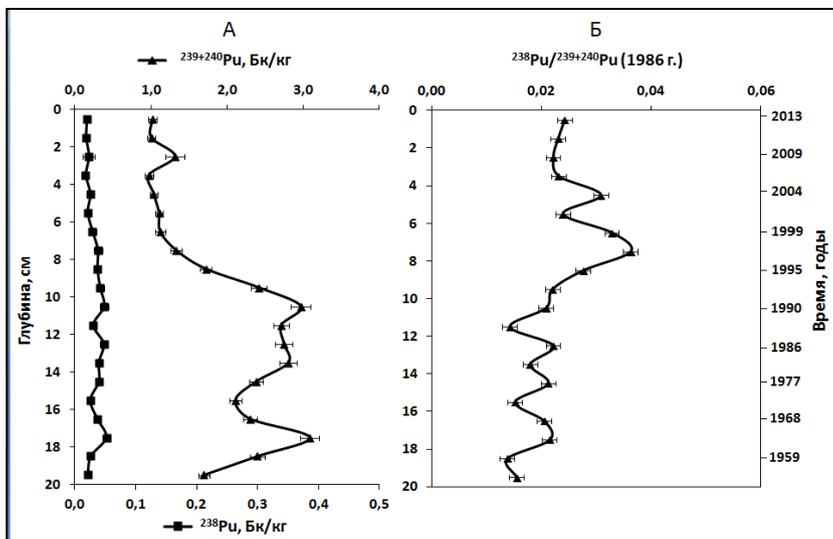


Рисунок 1. Профиль вертикального распределения  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в колонке донных отложений 0–20 см из устьевом районе Севастопольской бухты ( $44^{\circ}37,1' \text{с.ш.}$ ,  $33^{\circ}32,4' \text{в.д.}$ ) на 2013 г. (А) и изменение отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ , приведенное к 1986 г. (Б)

В полученном вертикальном распределении радионуклидов плутония наблюдали два максимума концентрационной активности  $^{239+240}\text{Pu}$ : в слое 10–14 см (2.97 Бк/кг) и 17–18 см (3.08 Бк/кг). Также было отмечено достоверное увеличение отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ , начиная со слоя 10–11 см и выше. Наблюдаемый широкий максимум на глубине 10–14 см предположительно является результатом взмучивания и переосаждения осадка.

К 1986 г. отношение активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  для глобальных

выпадения в северном полушарии в 40–50-ых широтах составляло 0.03 в соответствии с данными Hardy et al., 1973, а для чернобыльских – 0.5 (Aarkrog, 1988). Максимальное отношение активностей этих изотопов в нашем профиле составляло величину 0.036 (рис. 1Б), что превышало таковое в глобальных выпадениях, и указывает на присутствие доли плутония чернобыльского происхождения в этом слое. Более низкое отношение, по сравнению с присущим чернобыльским радиоактивным выпадениям (0.5), можно объяснить низкой долей чернобыльского плутония плутонием глобального происхождения, продолжавшего поступать в Чёрное море и уже имеющегося в верхних слоях осадка.

Так как концентрации  $^{238}\text{Pu}$  очень низкие, а пик  $^{239+240}\text{Pu}$  сильно размыт, то мы использовали данные по скорости осадконакопления, полученные с помощью радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ . В 2009 г. в этой же части акватории были отобраны керны донных осадков и изучено вертикальное распределение концентрационной активности  $^{137}\text{Cs}$ , по которому была рассчитана скорость осадконакопления в данном районе бухты (Гулин и др., 2009) (рис. 2). Она составила 0.45 см/год.

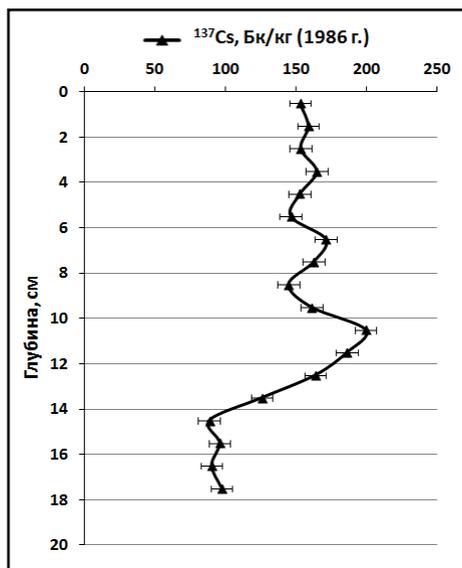


Рисунок 2. Профиль вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  в пересчете на 1986 г. в колонке донных отложений из западного района Севастопольской бухты (44°37.5' с.ш. 33°31.3' в.д.) (Гулин и др., 2009)

Если в 2009 г. максимальный слой чернобыльских выпадений находился

на глубине 10.5 см, то к 2013 г. он заглубился до 12.15 см, что приходится на середину размытого пика  $^{239+240}\text{Pu}$  на его вертикальном профиле в осадках. Таким образом, данный слой был датирован 1986 г.

Так же мы предполагаем, что максимум концентрационной активности  $^{238+240}\text{Pu}$ , наблюдаемый в слое 17–18 см, можно отнести к 1962 г., когда происходили наиболее интенсивные глобальные радиоактивные выпадения. Об этом может свидетельствовать низкое отношение активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  (0.021), характерное для глобальных выпадений. На основании этого предположения и данных по  $^{137}\text{Cs}$  проведена геохронологическая датировка профиля (рис. 1), и рассчитанная скорость осадконакопления, в дочернобыльский период она составила 0.21 см/год, что более чем в два раза меньше, чем таковая в постчернобыльский период. Этот результат согласуется с изменениями гидрологического режима бухты, произошедшими после постройки моловых заградений.

На основании полученных данных по скорости осадконакопления рассчитаны седиментационные потоки плутония в донные осадки. Так, средняя величина потока  $^{239+240}\text{Pu}$  в дочернобыльский период составляет  $3.80 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ , а в постчернобыльский –  $5.65 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ . Для  $^{238}\text{Pu}$  данные величины равны соответственно 0.06 и  $0.15 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ . Кумулятивные седиментационные потоки  $^{239+240}\text{Pu}$  составляют в дочернобыльский период  $91.08 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ , в постчернобыльский –  $152.45 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ , а  $^{238}\text{Pu}$  – 1.38 и  $2.82 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ , соответственно.

Для окончательного подтверждения выдвинутого предположения о расположении залегания пика глобальных выпадений (1962 г.) планируется изучение более глубоких кернов донных отложений из этой части акватории Севастопольской бухты.

*Заключение.* В результате работы определена концентрационная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в вертикальном профиле донных отложений устьевой зоны Севастопольской бухты. С помощью радиотрассерного метода с использованием  $^{137}\text{Cs}$  и радиоизотопов плутония проведена геохронологическая датировка донных осадков, что позволило получить оценку скорости осадконакопления и седиментационных потоков плутония в донные осадки. Эти данные согласуются с результатами исследований по изменению гидрологического режима на выходе из бухты после строительства заградительных молов, и, как следствие, увеличения скорости осадконакопления в данной части акватории бухты.

The paper presents the vertical distribution of plutonium alpha-radionuclides  $^{239+240}\text{Pu}$  and  $^{238}\text{Pu}$  in the bottom sediments of the Sevastopol Bay in the Black Sea. The sedimentation fluxes of plutonium from the water column to the bottom sediments during different periods in this area were estimated.

**Пахомова С.В.<sup>1,2,3</sup>, Якушев Е.В.<sup>4,2</sup>**

(<sup>1</sup>Норвежский институт воздушных исследований, Осло, e-mail: [svp@nilu.no](mailto:svp@nilu.no);

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; <sup>3</sup>Норвежский университет науки и технологии, Трондхейм; <sup>4</sup>Норвежский институт водных исследований, Осло)

## **Моделирование циклов ртути и никеля в морской воде и верхнем слое осадка**

**Pakhomova S.V.<sup>1,2,3</sup>, Yakushev E.V.<sup>4,2</sup>**

(<sup>1</sup>Norwegian Institute for Air Research, Oslo; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>3</sup>Norwegian University of Science and Technology, Trondheim; <sup>4</sup>Norwegian Institute for Water Research, Oslo)

## **Modeling of mercury and nickel cycles in the seawater and upper sediment layer**

Ключевые слова: ртуть, никель, моделирование

В работе были параметризованы циклы ртути и никеля и в качестве отдельных блоков добавлены к пелониеско-бентосной биогеохимической O-N-P-S-C-Fe-Mn-Si модели BROM (Bottom RedOx Model). Особое внимание уделялось процессам сорбции металлов на оксидах железа и марганца, образования комплексов с органическим веществом и биоаккумуляции. С помощью обновленной версии модели BROM были смоделированы трансформации форм ртути и никеля в морской воде и верхнем слое осадка при изменениях окислительно-восстановительных условий.

Одним из сильнейших по действию и наиболее распространенным химическим загрязнением является загрязнение тяжелыми металлами. Воздействие многих тяжелых металлов — даже в небольших количествах — может вызывать серьезные проблемы со здоровьем. В частности, ртуть рассматривается в качестве одного из десяти основных химических веществ или групп химических веществ, представляющих значительную проблему для общественного здравоохранения (ВОЗ).

В основном ртуть попадает в океан в виде  $\text{Hg}^{2+}$ , затем она взаимодействует с органическими веществами и с помощью анаэробных организмов переходит в токсичные вещества метилртуть и диметилртуть. Ртуть характеризуется малым временем пребывания в воде и быстро переходит в отложения в виде соединений с органическими веществами, сульфидов, а также сорбируясь на минераллах. При изменении условий, ртуть может медленно освобождаться и растворяться в воде, что приводит к образованию источника хронического загрязнения, действующего длительное время после того, как исчезнет первоначальный источник загрязнения. Органические соединения ртути (метилртуть и др.) в целом намного токсичнее, чем неорганические, прежде всего из-за их способности к биопоглощению и накапливанию в пищевой цепи.

Одним из источников загрязнения океана тяжелыми металлами является нефтедобыча. Буровые сточные воды (в основном состоящими из промысловых и пластовых вод, БСВ) и буровой шлам (измельченная выбуренная порода, загрязненная остатками бурового раствора, БШ) являются главными источниками загрязнения морской воды при проведении нефте- и газодобычи в прибрежных районах [1]. Ва, Fe, Mn, Hg, Ni, Zn, Pb являются наиболее часто встречающимися металлами, концентрация которых в тысячи раз превышает фоновый уровень морской воды [2]. Выброс большого количества БШ и повышенная седиментация взвеси выбросы могут воздействовать на фауну бентосного слоя не только посредством седиментации, но также из-за уменьшения содержания кислорода [3] и последующего выделения загрязняющих веществ, таких как тяжелые металлы (в том числе Hg, Ni) и их трансформации в более токсичные формы. Недостаток знаний в области возможных долгосрочных экологических последствий сделали выбросы БСВ и БШ главным предметом обеспокоенности и изучения в последние годы. Цель данной работы состоит в оценке влияния выброса продуктов бурения на уровень содержания и трансформацию ртути и никеля в придонном слое с помощью моделирования.

В работе используется биогеохимическая модель BROM (Bottom RedOx Model). Данная модель учитывает трансформацию вещества в водной толще, придонном погранслое и в верхнем слое донных осадков [4]. Модель описывает формирование и эволюцию органического вещества (ОВ), а также биогеохимические циклы O, N, C, S, Mn, Fe, P, Si – процессы разложения, восстановления и окисления, осаждения и растворения.

Базовая версия модели воспроизводит основные процессы на границе раздела вода–донные осадки, включая изменения в окислительно-восстановительных условиях и величину pH. Поскольку одним из доказанных эффектов буровой деятельности является изменение содержания кислорода у дна [3], то возможность модели воспроизводить изменения в окислительно-восстановительных условиях дает уникальную возможность проанализировать цикл металлов (Fe, Mn и Ва) и связанных с ними веществ в условиях потенциальной нагрузки. Для параметризации циклов ртути и никеля учитывались процессы, представленные на рис. 1 и в таблице. Особое внимание уделялось процессам сорбции металлов на оксидах железа и марганца, образования комплексов с органическим веществом и биопоглощению.

Расчитанные с помощью модели результаты сезонной изменчивости распределения химических параметров, таких как кислород, сероводород (рис. 2), форм азота, железа и марганца (не показано) в водной толще и в верхнем слое осадка согласуются с данными наблюдений для районов, подверженных сезонной аноксии [8, 9]. Полученные распределения ртути, метилртути и никеля также отражают наблюдения [10] и характеризуются

максимальными концентрациями на границе вода-дно и увеличением содержания растворенных форм в условиях гироксии/аноксии, в особенности метилртути. На следующем этапе работы планируется ввести поток металлов, поступающих в морскую воду вместе с БСВ и БШ.

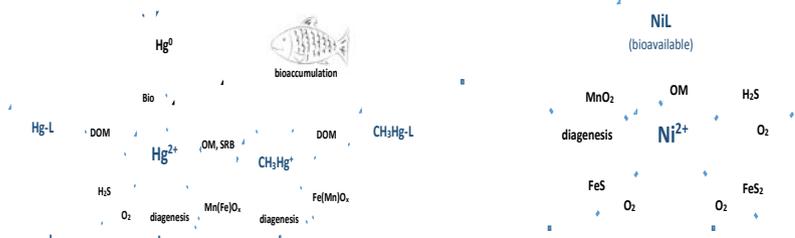


Рисунок 1. Биогеохимические циклы ртути и никеля.

Таблица. Параметризация процессов трансформации ртути и никеля [5–7].

Реакции	Константы	
	название, размерность	значение прямая/обр. реакц.
$Hg^0 \leftrightarrow Hg^{2+}$ (фотохимич. реакции)	$K_{ox}/K_{red}, d^{-1}$	5.89/2.83
$Hg^0 \leftrightarrow Hg^{2+}$ (микробиолог. реакц)	$K_{ox}/K_{red}, d^{-1}$	1.44/0.03
$Hg^{2+} \leftrightarrow CH_3Hg^+$ (микробиол. реакц)	$K_{metil}/K_{demetil}, d^{-1}$	0.014/0.46
$CH_3Hg^+ \rightarrow Hg^0$ (фотохимич. реакц)	$K_{red}, d^{-1}$	0.002
$Hg^{2+} + HS^- \leftrightarrow HgS + H^+$	$K_{sp}, K_{form}, K_{diss}$	$10^{-11}, 1 \times 10^{-8}, 2 \times 10^{-5}$
$Ni^{2+} + HS^- \leftrightarrow NiS + H^+$	$K_{sp}, K_{form}, K_{diss}$	$1.07, 5 \times 10^{-5}, 1 \times 10^{-6}$
Сорбция/комплексобразование		
$Hg^{2+}$ на $Mn(Fe)O_x/POM$	$\log K_d, L/kg$	5.3
$CH_3Hg^+$ на $Mn(Fe)O_x/POM$	$\log K_d, L/kg$	4.9
$Hg^{2+}$ с DOM	$\log K_d, L/kg$	5.4
$CH_3Hg^+$ с DOM	$\log K_d, L/kg$	5.0
$Ni^{2+}$ на POM	$\log K_d, L/kg$	4.3
$Ni^{2+}$ с DOM	$\log K_d, L/kg$	3.7
$Ni^{2+}$ на $MnO_2$	$MnO_2/Ni$	80
$Ni^{2+}$ на $FeS(FeS_2)$	$FeS(FeS_2)/Ni$	833(600)
Биопоглощение		
$Hg^{2+}$	$\log K_d, L/kg$	2.0
$CH_3Hg^+$	$\log K_d, L/kg$	4.9
$NiL$	$\log K_d, L/kg$	4.3

Работа выполнена при финансовой поддержке программы VISTA – фундаментальная программа исследований и совместного сотрудничества между Норвежской Академией Наук и компании Статойл, проект 6164.

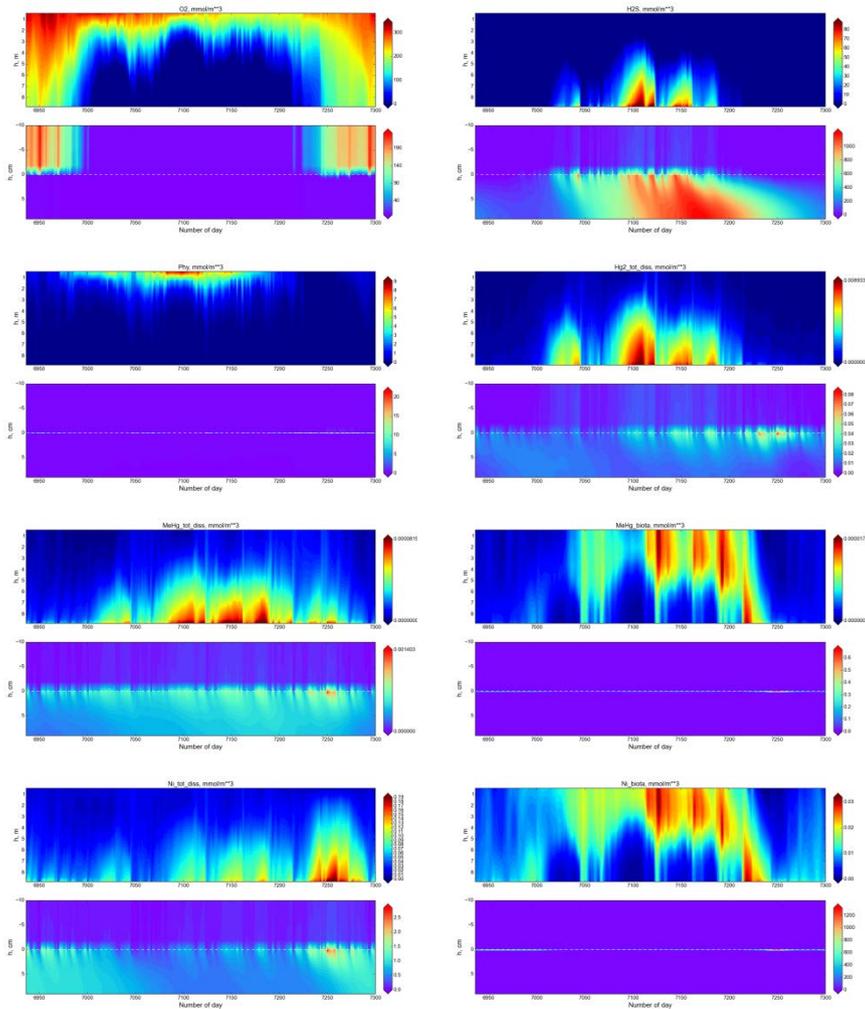


Рисунок 2. Сезонная изменчивость вертикального распределения кислорода, сероводорода, фитопланктона, форм руты и никеля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bakke T., Klungsoyr J., Sanni D. Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry // Marine Environmental Research. 2013. V. 92. P. 154–169.
2. Lee K., Neff J., DeBlois E. Produced Water: Overview of Composition, Fates and Effects // Produced Water. Environmental Risks and Advances in Mitigation

Technologies / Lee K., Neff J. (eds.). Springer, 2011. P. 3–57.

3. Trannum H.C., Nilsson H.C., Schaanning M.T., Oxnevad S. Effects of sedimentation from water-based drill cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2010. V. 383. P. 111–121.

4. Yakushev E.V., Protsenko E.A., Bruggeman J. et al. Bottom RedOx Model (BROM, v.1.1): a coupled benthic–pelagic model for simulation of water and sediment biogeochemistry // *Geosci. Model Development.* 2017. V. 10. P. 453–482.

5. Knightes C. Development and test application of a screening-level mercury fate model and tool for evaluating wildlife exposure risk for surface waters with mercury-contaminated sediments (SERAFM) // *Environ. Model. & Software* 2008. V. 23. P. 495–510.

6. Allison J., Allison T. Partition coefficients for metals in surface water, soil, and waste. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 2005. 93 p.

7. Hartnetta M., Berry A. Numerical modelling of the transport and transformation of trace metals in a highly dynamic estuarine environment // *Advances in Engineering Software.* 2012. V. 44. P. 170–179.

8. Pakhomova S.V., Hall P.O.J., Kononets M.Y. et al. Fluxes of iron and manganese across the sediment–water interface under various redox conditions // *Mar. Chem.* 2007. V. 107. P. 319–331.

9. Almroth E., Tengberg A., Andersson J.H. et al. Effects of resuspension on benthic fluxes of oxygen, nutrients, dissolved inorganic carbon, iron and manganese in the Gulf of Finland. Baltic Sea // *Cont. Shelf Res.* 2009. V. 29. P. 807–818.

10. Rigaud S., Radakovitch O., Couture R.–M. et al. Mobility and fluxes of trace elements and nutrients at the sediment–water interface of a lagoon under contrasting water column oxygenation conditions // *Applied Geochem.* 2013. V. 31. P. 35–51.

Mercury and nickel cycles were parametrized and added as separated blokes to the coupled benthic-pelagic biogeochemical O-N-P-S-C-Fe-Mn-Si model BROM (Bottom RedOx Model). Special interest we played to parametrize thus reactions as metals partitioning with organic matter, adsorption on Fe and Mn oxides and metals bioaccumulation. This version of BROM was used to simulate mercury and nickel forms transformation in the seawater and upper sediment layer and its seasonal variability at changing redox conditions.

**Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В., Литвиненко И.В.,  
Моргунова И.П.**

(Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов мирового океана им. академика И.С. Грамберга (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»), г. Санкт-Петербург, e-mail: [petrovavi@mail.ru](mailto:petrovavi@mail.ru))

**Углеводородные молекулярные маркеры рассеянного органического вещества триасовых пород северо-восточной части Баренцева моря**

**Petrova V.I., Batova G. I., Kursheva A.V., Litvinenko I.V.,  
Morgunova I.P.**

(Federal state budgetary institution « Academician I.S. Gramberg All-Russian Scientific Research Institute for geology and mineral resources of the ocean» (FSBI «VNIIOkeangeologia»), St.-Petersburg)

**Hydrocarbon molecular markers of dispersed organic matter of Triassic rocks in the northeastern part of the Barents Sea**

Ключевые слова: углеводородные молекулярные маркеры, рассеянное органическое вещество, катагенез, триасовые отложения, Баренцево море, Арктика

По результатам хромато-масс-спектрометрического изучения состава и распределения углеводородных молекулярных маркеров охарактеризованы генезис, фациальные условия осадконакопления и уровень катагенеза рассеянного органического вещества триасовых отложений северо-восточной части Баренцевоморского осадочного бассейна, вскрытых опорно-параметрическим бурением на Адмиралтейском поднятии, архипелага Земля Франца-Иосифа и Ферсмановской структуре. Показано, что позднемезозойско-кайнозойский апифит региона и последующая интенсивная магматическая деятельность оказали существенное влияние на историю их термального развития. Наиболее ярко данная тенденция проявлена в осадочном разрезе архипелага Земля Франца-Иосифа, где аддитивное воздействие указанных факторов привело к радикальному увеличению трансформации рассеянного органического вещества вплоть до градации АК1.

Триасовые отложения являются наиболее мощной составляющей осадочного чехла Баренцевоморского региона. Параметрическими и поисковыми скважинами триасовые отложения вскрыты как на островах Земли Франца-Иосифа (ЗФИ), так и на акватории – в Южно-Баренцевской впадине, на валу Адмиралтейства [1]. По условиям осадконакопления различаются отложения северной части шельфа, представленные в основном морскими фациями, и южной, где распространены лагунные и континентальные осадки. Соответственно, распределение генотипов рассеянного органического вещества (РОВ) носит зональный характер с накоплением гумусо-сапропелевого типа в северной части региона и сапропелево-гумусового в южной.

В ходе проведённой ранее [2] обработки материалов параметрического

бурения был детально изучен и описан керновый материал, включая характеристику вещественного состава пород, РОВ и его битуминозных компонентов. В целом ряде публикаций [3–5] приводятся данные, характеризующие литолого-фациальные условия накопления РОВ, его генезис и уровень зрелости.

Современные методы исследования, базирующиеся на анализе молекулярного состава РОВ, позволяют рассмотреть данные вопросы на новом информационном уровне.

Материалом исследования триасовых пород ЗФИ послужили образцы, отобранные по разрезу скважин «Северная» (о. Грэм-Белл) и «Нагурская» (о. Земля Александры). Керновый материал скважины «Северная» представлен средне-верхнетриасовыми алевроитовыми аргиллитами анизийского, ладинского, карнийского и норийского ярусов. Алевроитовые аргиллиты нижнего-среднего триаса скважины «Нагурская» соответствуют индскому, оленёкскому, анизийскому и ладинскому ярусам. Керновый материал, характеризующий триасовый разрез Адмиралтейского поднятия, отобран в скважинах «Адмиралтейская-1» и «Крестовая-1» и представлен нижнетриасовыми осадочными породами оленёкского и индского ярусов.

Объектом сопоставления послужил керновый материал скважины «Фермановская-1», приуроченной к области Центрально-Баренцевских поднятий и представляющей типичный региональный разрез триаса ( $T_1-T_3$ ), включая образцы пород оленёкского, анизийского, ладинского и карнийского ярусов. Сходство литологического состава изученных образцов (аргиллиты, алевро-аргиллиты) позволяет считать их сравнительное изучение вполне корректным.

Аналитическая процедура исследования РОВ включала: определение в породе нерастворимого остатка, содержания  $C_{орг}$ ,  $C_{карб}$ , извлечение хлороформного ( $A_{хл}$ ) и спиртобензольного ( $A_{сп-б}$ ) битумоидов, гуминовых кислот (ГК), определение группового и молекулярного состава  $A_{хл}$ . Фракции насыщенных и ароматических углеводородов (УВ) выделялись хроматографически и исследовались методом ГХ-МС на комплексе Agilent 5973/6850 с квадрупольным масс-детектором и программным пакетом обработки аналитической информации.

Слабокарбонатные ( $C_{карб} < 3\%$ ) аргиллиты триасовых отложений параметрических скважен характеризуются невысоким содержанием органического углерода ( $C_{орг} < 2\%$ ) с преобладанием в составе растворимых компонентов РОВ нейтральных соединений ( $A_{хл}/A_{сп-б} > 1$ ) и незначительной битуминозностью ( $\beta = 0.9-5.7\%$ ). Содержание углеводородов (УВ), низкое в породах нижнего триаса, несколько возрастает в отложениях среднего и верхнего отделов, состав углеводородов преимущественно метаново-нафтенный.

Вместе с тем, на фоне подобия геохимических характеристик РОВ существует ряд специфических особенностей изученных разрезов. Так,

закономерное изменение геохимических параметров с глубиной, обусловленное ростом термальной зрелости РОВ, наблюдается только в скважине «Ферсмановская»: вниз по разрезу снижается содержание Сорг, растворимые компоненты РОВ приобретают восстановленный характер ( $A_{хл}/A_{сп-б}=1.6$ ) и снижается содержание УВ, ароматичность которых минимальна ( $<20\%$ ).

Наиболее контрастно особенности РОВ триасовых пород проявляются при рассмотрении молекулярного состава УВ. Отложения нижнего триаса ( $T_1$ ) большинства изученных разрезов характеризуются полимодальным молекулярно-массовым распределением n-алканов, что в сочетании с низкими значениями индекса нечётности (СРІ около 1) и относительно невысоким содержанием изопреноидов ( $K_i < 1$ ) указывает на значительный уровень трансформации РОВ. Наиболее ярко эта особенность проявляется при сопоставлении геохимических показателей отложений Адмиралтейского поднятия (скважина «Адмиралтейская» и «Крестовая») и ЗФИ (скважина «Нагурская») с синхронными отложениями Ферсмановской структуры. Несмотря на близкое значение СРІ,  $K_i$  в Нагурской скважине выше в два раза по сравнению с Ферсмановской (0.68 и 1.47 соответственно), что характерно для термально менее зрелого РОВ.

Состав и распределение алифатических УВ в отложениях среднего триаса свидетельствуют о существенных различиях как в генезисе РОВ, так и в уровне его катагенетической зрелости. Так, в отложениях скважины «Северная» преобладает РОВ преимущественно аквагенного генезиса ( $C_{17}/C_{27} = 7.95$ ), сформированного в мелководно-морских условиях осадконакопления ( $Pr/Ph = 1.4$ ) [6]. Бимодальное распределение n-алканов синхронных отложений скважины «Ферсмановская» свидетельствует о смешанном сапропелево-гумусовом генезисе РОВ и, по-видимому, меньшей термальной зрелости. Сопоставление состава алифатических углеводородов отложений верхнего триаса скважин «Ферсмановская» и «Северная» свидетельствует о значительном преобладании гумусовой составляющей в породах первой ( $C_{17}/C_{27} = 0.88$  и 3.19 соответственно).

Следует отметить также большую термальную зрелость РОВ пород ЗФИ, что обусловлено, очевидно, контактным метаморфизмом. Влияние магматизма на геохимические параметры РОВ может быть проиллюстрировано на примере верхнетриасового аргиллита, отобранного в зоне контакта с интрузивным телом. В составе n-алканов наблюдается утрата низкомолекулярных соединений ( $C_{14-19}/C_{20-35}=0.10$ ), что может быть обусловлено локальной миграцией *in situ* [7]. Это коррелирует с результатами Rock-Eval пиролиза, согласно которым в ряде образцов вышележащих отложений отмечается относительное повышение значений S1 (до 0.7), свидетельствующее о возможном присутствии несвязанных УВ [5].

Терпановые показатели условий формирования РОВ большинства

изученных пород свидетельствуют о мелководно-морских и/или лагунных фациальных обстановках осадконакопления ( $H_{29}/H_{30} < 1$ ;  $H_{35}/H_{34} < 1$ ).

Гопановые коэффициенты зрелости для нижнетриасовых пород Адмиралтейского поднятия и ЗФИ соответствуют значениям, характерным для катагенетически зрелого РОВ ( $MK_1$ - $MK_3$ ) ( $H_{31} 22S/(22S+22R) = 0.58-0.59$ ;  $H_{31} \beta\alpha/(\alpha\beta+\beta\alpha)=0.08-0.11$ ;  $T_s/(T_s+T_m)=0.36-0.46$ ). Уровень катагенеза РОВ нижнетриасовых пород Ферсмановской структуры заметно ниже ( $H_{31} \beta\alpha/(\alpha\beta+\beta\alpha)=0.13$ ;  $T_s/(T_s+T_m)=0.29$ ), и соответствует, очевидно, региональному (не выше  $MK_1$ ). Значения показателей термальной зрелости РОВ верхнетриасовых пород скважины «Северная» и «Ферсмановская» не столь контрастны, однако соотношение  $T_s/(T_s+T_m)$  для них вдвое ниже и соответствует стадии  $PK_3$ , что согласуется с результатом углепетрографических исследований ( $R^{vt}=0.43-0.50\%$ ) [1].

В гомологическом ряду стеранов ( $C_{27}$ - $C_{30}$ ), содержащихся в нижнетриасовых аргиллитах изученных разрезов, соотношение холестанов и этилхолестанов  $C_{27}(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)/C_{29}(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha) < 1$ , что характерно для РОВ смешанного сапропелево-гумусового состава. При этом сапропелевая составляющая наиболее выражена в породах ЗФИ (скважина «Нагурская»), а гумусовая в скважине «Ферсмановская». В среднетриасовых разрезах соотношение стерановых УВ указывает на преобладание сапропелевого РОВ также в породах ЗФИ (скважина «Северная») и значительно более низкое его содержание в породах Ферсмановской структуры. Данная тенденция сохраняется и в верхнетриасовом отделе изученных разрезов. Значения стерановых коэффициентов зрелости ( $K_2$ ) максимальны для пород Адмиралтейского поднятия и минимальны для отложений Ферсмановской структуры (0.69 и 2.15 соответственно).

Еще одним параметром, позволяющим оценить уровень термальной зрелости РОВ, является соотношение содержания молекул ароматического строения различной термодинамической устойчивости (метилфенантроновый индекс MPI, дибензтиофеновый индекс DBT). Согласно полученным данным наибольшим уровнем термальной зрелости характеризуются ниже- и среднетриасовые породы ЗФИ. Уровень катагенеза нижнетриасовых пород Адмиралтейского поднятия (скважина «Крестовая») заметно ниже и не превышает  $MK_{3.4}$ . Вертикальная катагенетическая зональность триасового разреза Ферсмановской структуры характеризуется последовательной сменой уровней термальной зрелости от  $MK_{2.3}$  до  $MK_1$ .

Анализ особенностей молекулярного состава РОВ триасовых пород северо-восточного сектора Баренцева моря позволяет заключить, что латеральные вариации уровня катагенной зрелости РОВ в значительной мере определяются вовлечённостью осадочной толщи в постседиментационные тектонические и магматические процессы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах, Т. 5, Арктические и дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря / ред. И.С. Грамберг, В.Л. Иванов, Ю.Е. Погребницкий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 486 с.
2. Бро Е.Г, Пчелина Т.М., Преображенская Э.Н. и др. Осадочный чехол Баренцевоморского шельфа по данным параметрического бурения на островах // Проблемы нефтегазоносности Мирового океана. М.: Наука, 1989. С. 191–197.
3. Данюшевская А.И. Нефтегазопроизводящие толщи фанерозойских отложений арктических островов // Геохимия. 1995. № 10. С. 1495–1505.
4. Супруненко О.И., Евдокимова Н.К., Школа И.В. и др. Перспективы нефтегазоносности архипелага Земля Франца-Иосифа // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. С. 153–168.
5. Грамберг И.С., Евдокимова Н.К., Супруненко О.И. Катагенетическая зональность осадочного чехла Баренцевоморского шельфа в связи с нефтегазоносностью // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 11–12. С. 1808–1820.
6. Peters K., Walters C., Moldowan J. The biomarker guide. Cambridge University Press, 2004. 364 p.
7. Othman R., Aroui K.R, Ward C.R., McKirdy D.M. Oil generation by igneous intrusions in the northern Gunnedah Basin, Australia // Organic Geochemistry. 2001. V. 32. P. 1219–1232.

Samples of Triassic age sediments were collected from cores of parametric boreholes drilled on Admiralteyskiy rise, Franz Josef Land archipelago and Fersman structure in the northeastern part of the Barents Sea sedimentary basin. Composition and distribution of hydrocarbon molecular markers (*n*-alkanes, isoprenoids, cyclic alkanes and polyaromatic hydrocarbons) were studied using GC-MS method and provided information on genesis, facial conditions of sedimentation and catagenetic maturity stage of dispersed organic matter (DOM). The significant influence of the late Mesozoic-Cenozoic uplift of the region and active magmatic processes on the thermal transformation of sediments was shown. The highest representativeness of the revealed trend was observed in sediment section of the Franz Josef Land archipelago. Thus, the set of the named thermal effects led to the radical increase of DOM transformation up to AK<sub>1</sub> stage.

**Погодаева Т.В.<sup>1</sup>, Жученко Н.А.<sup>1</sup>, Хлыстов О.М.<sup>1</sup>,  
Егоров А.В.<sup>2</sup>, Ходжер Т.В.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, e-mail: [tatyana@lin.irk.ru](mailto:tatyana@lin.irk.ru); <sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва)

**Органическое вещество донных отложений озера Байкал**

**Pogodaeva T.V.<sup>1</sup>, Zhuchenko N.A.<sup>1</sup>, Khlystov O.M.<sup>1</sup>,  
Egorov A.V.<sup>2</sup>, Khodzher T.V.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Limnological Institute SB RAS, Irkutsk; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Organic matter of bottom sediments of Lake Baikal**

Ключевые слова: органическое вещество, метан, химический состав, поровые воды, донные осадки, озеро Байкал

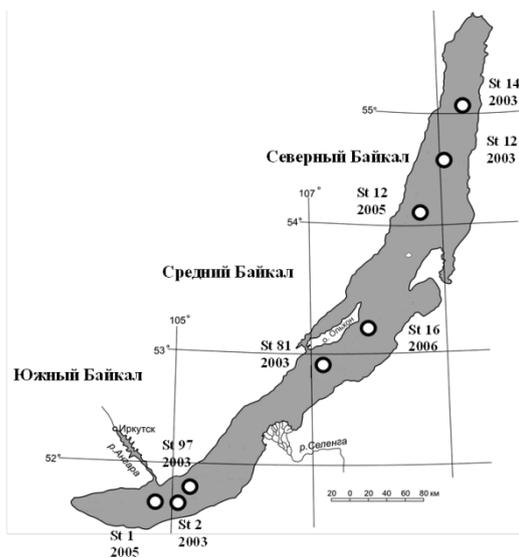
В работе изучается и представлено распределение органического углерода, метана и химического состава поровых вод в донных отложениях озера Байкал. Установлено, что трансформация органического вещества в донных отложениях оз. Байкал идет до конечных продуктов  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ .

Роль органического вещества в процессах, протекающих в донных отложениях, значительна. Энергия, высвобождающаяся при разложении органического вещества, является основным источником энергии при раннем диагенезе донных отложений [1]. Концентрация и состав, количество и качество органического вещества определяют интенсивность и направленность биогеохимических процессов, перераспределение химических элементов и компонентов, аутигенное минералообразование в осадках и т.д.

В ходе проведения многолетних междисциплинарных исследований донных отложений озера Байкал детально с большим разрешением изучены химический состав, содержание и распределение различных компонентов в различных (твердой, жидкой и газообразной) фазах донных отложений центральных глубоководных станций Южной, Средней и Северной котловин озера. Положение станций показано на рис. 1.

Керны донных отложений исследовали с интервалом 2–3 см. Поровые воды получали центрифугированием (15 мин 8000 g) и ультрацентрифугированием осадков (10 мин 14000 g). Содержание анионов измеряли на борту судна на микроколоночном жидкостном хроматографе «Милюхром А-02» (ЭкоНова, Новосибирск, Россия) методом [2]. Содержание метана в донных отложениях измеряли на хроматографе «ЭХО-ПИД» с пламенно-ионизационным детектором методом фазово-равновесной дегазации [3]. Содержание органического углерода ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ) в сухих пробах определяли методом каталитического высокотемпературного окисления образцов на высокотемпературном анализаторе углерода Vario TOC cube.

Озеро Байкал – холодное олиготрофное озеро с низкой биологической продуктивностью и низким содержанием биогенных компонентов (0.48 мг/л ( $\text{NO}_3^-$ ), 0.05 мг/л ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) в водной толще озера [4]. В то время как содержание кислорода в воде озера от поверхности до дна велико [4]. Лабильное автохтонное органическое вещество и лабильная фракция аллохтонного органического вещества почти полностью минерализуются в водной толще озера и на границе раздела вода-дно, и только 13% общего поступающего органического вещества окончательно захораниваются в донных отложениях [5]. Согласно [1, 5] захороненное органическое вещество представляет собой гуминовые кислоты и целлюлозу, сильно деградированные остатки высшей наземной растительности и фитопланктона, очень устойчивые к дальнейшей деградации. Разложение органического вещества в донных отложениях является движущей силой раннего диагенеза и описывается соотношением Редфилда, отражающим продуцирование ионов бикарбоната, аммония, фосфата, редукцию сульфата до сульфида. В поровых водах донных отложений фоновых районов озера Байкал 99% массовой концентрации анионов составляют ионы бикарбоната. Концентрации всех остальных ионов в поровых водах не значительны.



○ - Глубоководные станции районов со спокойным осадконакоплением.

Рисунок 1. Карта-схема расположения станций.

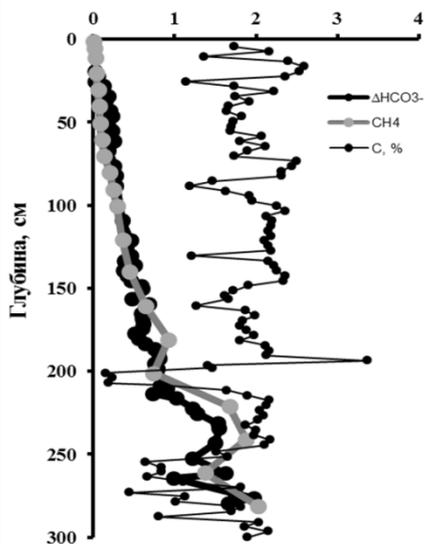
Согласно [6, 7] конечным продуктом разложения органического вещества в пресноводных водоемах являются  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ . Согласно нашим

данным (рис. 2) в донных отложениях фоновых районов во всех трех котловинах озера Байкал эти вещества продуцируются в мольном соотношении 1:1.

Содержание органического углерода в донных отложениях (рис. 2) соответствует полученным ранее данным [1]. Однако данные с таким высоким разрешением получены впервые. При почти линейном росте содержания ионов бикарбоната (жидкая фаза) и метана (газ) в осадках наблюдается значительный разброс концентраций органического углерода. Последнее зависит от продуктивности, скорости осадконакопления и многих других факторов. Выявляется четкая зависимость содержания  $C_{орг}$  от литологии и гранулометрического состава осадков. Низкие значения  $C_{орг}$  соответствуют песчаным прослоям.

### Южный Байкал St1GC1 2005

$\Delta HCO_3^-$ ,  $CH_4$ , mM; C, %



### Северный Байкал St12GC1 2005

$\Delta HCO_3^-$ ,  $CH_4$ , mM; C, %

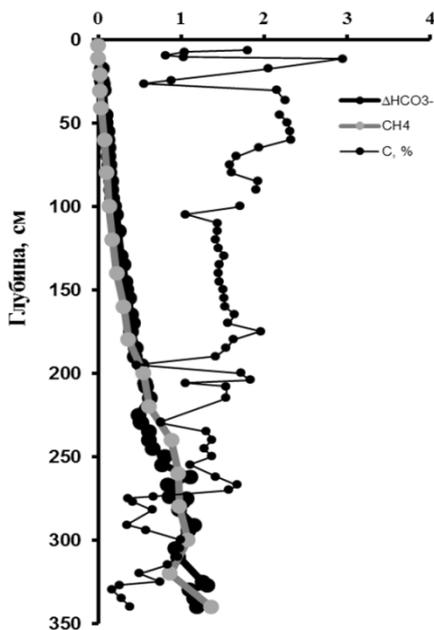


Рисунок 2. Прирост содержания метана и бикарбонат ионов, содержание органического углерода в донных отложениях озера Байкал.

Таким образом, трансформация захороненного в отложениях озера Байкал труднодеградируемого органического вещества происходит до конечных продуктов  $CH_4$  и  $CO_2$  при практически полном отсутствии других

компонентов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России № 0345–2016–0007 and № 0345–2016–0008.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выхристюк Л.А. Органическое вещество донных осадков Байкала. Новосибирск: Наука, 1980. 80 с.
2. Барам Г.И., Верещагин А.Л., Голобокова Л.П. Микроколочная высокоэффективная жидкостная хроматография с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды // ЖАХ. 1999. Т. 54. № 9. С. 962–965.
3. Большаков А.М., Егоров А.В. Об использовании методики фазово-равновесной дегазации при газометрических исследованиях // Океанология. 1987. Т. 27. Вып. 5. С. 861–862.
4. Weiss R.F., Carmack E.C., Koropalov V.M. Deep-water renewal and biological production in Lake Baikal // Nature. 1991. № 349. P. 665–669.
5. Müller B., Maerki M., Schmid M. et al. Internal carbon and nutrient cycling in Lake Baikal: sedimentation, upwelling, and early diagenesis // Glob. and Plan. Change. 2005. № 46. P. 101–124.
6. Афонина Т.Е. Потоки органических веществ в оз. Байкал, процессы их накопления и преобразования в донных осадках. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012. 244 с.

The distribution of organic carbon, methane, chemical composition of pore waters and other components was studied in the bottom sediments of various basins of Lake Baikal. It is established that the transformation of a hard-degradable organic matter buried in Lake Baikal sediments occurs to the final products  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$ .

## **Подгорный К.А.**

(ФГБНУ «Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Калининград, e-mail: [kapborok@mail.ru](mailto:kapborok@mail.ru))

### **Подход к моделированию влияния биотурбации на обменные процессы вблизи границы раздела между водой и донными отложениями в Вислинском заливе Балтийского моря**

#### **Podgornyj K.A.**

(Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (AtlantNIRO), Kaliningrad)

### **Approach to modelling of the influence of the bioturbation on exchange processes near the interface between water and bottom sediments in the Vistula Lagoon of the Baltic Sea**

Ключевые слова: биотурбация, биоирригация донные отложения, процессы обмена, моделирование

Биогидрохимические процессы и биотурбация в бентосном слое донных отложений могут оказывать существенное влияние на изменения запасов разных форм биогенных элементов, времени их оборота, интенсивность потоков веществ и направленность обменных процессов между водой и деятельным (биологически и биогидрохимически активным) слоем ДО. Поэтому учет этих процессов являются важным для понимания механизмов функционирования водной экосистемы. В данной работе рассматривается подход к моделированию процесса биотурбации на границе раздела между водой и верхним слоем донных отложений Вислинского залива Балтийского моря.

Биогидрохимические процессы, которые происходят в бентосном слое донных отложений (ДО) акватории Вислинского залива, могут существенно влиять на изменения запасов разных форм биогенных элементов, времени их оборота, интенсивность потоков веществ и направленность обменных процессов между водой и деятельным (биологически и биогидрохимически активным) слоем ДО. Поэтому учет этих процессов являются важным для понимания механизмов функционирования любой водной экосистемы, в том числе и Вислинского залива [1–5].

Бентосный блок имитационной модели, которая используется для изучения механизмов биотрансформации соединений углерода, азота, фосфора, кремния и динамики растворенного кислорода в экосистеме Вислинского залива наряду с другими процессами учитывает также влияние процесса биотурбации ДО на скорости обменных процессов на границе раздела вода – ДО. Это позволяет оценить интенсивность биогидрохимических изменений в деятельном слое ДО, которые обусловлены биоирригационной активностью бентосных организмов.

Процесс биотурбации представляет собой совокупность нарушений в ДО, вызванных деятельностью живых организмов [4, 6, 7]. Они включают в себя: выкапывание нор и туннелей, которые затем разрушаются или засыпаются; поглощение и экскрецию отложений; вспахивание поверхностных отложений; строительство насыпей; рытье воронок. В процессе биотурбации происходит перемешивание как твердой, так и жидкой фазы ДО. Биоирригация – это процесс, ускоряющий обмен поровой воды с вышележащими водами в результате деятельности живых организмов. Разделение двух данных процессов до некоторой степени условно. В широком смысле биотурбация ДО включает в себя все процессы переноса, совершаемые бентосными организмами. Следуя данному определению, ирригацию можно рассматривать как такой вид биотурбации, который связан с обменом жидкой фракции ДО [8].

Увеличение мощности обитаемого слоя осадков в последние годы становится характерной особенностью распределения бентоса в Вислинском заливе [1]. Показано [9], что в современный период времени в верхнем десятисантиметровом слое ДО сосредоточено в среднем 55% общей биомассы бентоса, а в нижележащих горизонтах – 45%. Современное вертикальное распределение бентоса существенно отличается от того распределения, которое наблюдалось в 50–60 гг. прошлого столетия [10]. Тогда 83% биомассы было приурочено к горизонту 0–10 см и только 17% – к нижележащим слоям ДО. Отмечен также и сдвиг горизонта с максимальной биомассой бентоса вглубь осадка с 0–10 см до 5–15 см. Как было показано в работе [11] это связано с появлением вида-вселенца *Marenzelleria viridis*. Строя норки в достаточно мягких грунтах Вислинского залива, маренцеллерия проникает вглубь до 32–40 см. Разрыхляя осадок, она позволяет освоить более глубокие слои ДО некоторым мелким организмам бентоса (например, олигохетам). Поскольку полихета *Marenzelleria viridis* населяет почти всю акваторию Вислинского залива, то в масштабах лагуны основной вклад в биотурбацию вносит вид-вселенец.

Следствия процесса биотурбации разнообразны, но наиболее важны механический транспорт грунта и изменение химизма среды в придонном слое воды [1]. Строя норки, полихеты выносят на поверхность ДО большое количество грунта. Так, например, популяция маренцеллерии в среднем перерабатывает таким образом около  $2.5 \text{ кг/м}^2$  (максимальные значения –  $5 \text{ кг/м}^2$ ) [1].

В процессе жизнедеятельности полихет и олигохет в грунте формируются тысячи нор. Они пронизывают каждый квадратный метр дна до глубины 15–40 см [1]. В результате этого процесса в верхнем слое ДО накапливаются продукты жизнедеятельности животных, повышается степень обводненности активного слоя осадка. Это, в свою очередь, приводит к возрастанию толщины того слоя ДО, в котором могут протекать аэробные фазы биогидрохимических циклов (например, нитрификация).

Следует также иметь в виду, что этот процесс происходит на границе раздела фаз. Поэтому степень интенсивности биогидрохимических реакций будет существенно зависеть от площади поверхности раздела фаз вода–ДО. Процессы биотурбации бентосными организмами значительно увеличивают площади поверхности раздела фаз [8]. Поэтому можно ожидать, что в Вислинском заливе механический транспорт осадка и биогидрохимические процессы, которые связаны с рециклингом биогенных элементов, будут зависеть, в том числе, и от бентосной макрофауны. Учитывая мелководность залива и высокую степень гидродинамической активности в нем, можно предполагать, что процессы биотурбации в пределах верхнего слоя ДО окажут влияние не только на состояние придонного пограничного слоя, но также и на состояние всей экосистемы Вислинского залива [1].

В настоящее время имеются многочисленные экспериментальные исследования влияния роющих животных на биогеохимические процессы в морских донных отложениях. Однако на уровне целой экосистемы последствия этой биогеохимической активности остаются еще плохо изученными [5]. Имеющиеся результаты моделирования показывают, что, в частности, полихеты *Marenzelleria* spp. потенциально могут оказывать существенное влияние, например, на процессы удержания фосфора в донных отложениях [8]. Тем самым создаются условия для уменьшения потока соединений фосфора из донных отложений в водную среду и снижения степени ее эвтрофирования [5]. Это связано с более глубоким проникновением в донные отложения растворенного кислорода и формированием более глубокого окисленного слоя. Высказано предположение о том, что поскольку полихеты *Marenzelleria* spp. увеличивают потоки соединений азота из донных отложений в водную среду, то в результате меняется соотношение N/P [5]. А это, в свою очередь, оказывает влияние на процессы развития фитопланктона – в частности, на процессы цветения воды синезелеными водорослями.

Учет биоирригации в бентосном блоке имитационной модели Вислинского залива осуществляется путем введения в соответствующих уравнениях членов обмена, которые зависят от геометрических параметров нор, создаваемых бентосными организмами – олигохетами и полихетами. Для математического описания влияния макрозообентоса на химический состав донных отложений и поровой воды в бентосном блоке имитационной модели используется подход Аллера [2, 4, 12]. В нем зона биоирригации донных отложений представлена набором идентичных, вертикально ориентированных полых цилиндров. Предполагается, что эти цилиндры постоянно заливаются водой и распределены равномерно в порах ДО. Такая геометрическая модель позволяет оценить влияние размера и количества таких пор на процесс биоирригации. Сообщество бентосных животных (олигохеты и полихеты) можно представить массивом таких цилиндров, диаметр которых зависит от плотности популяции.

Интенсивность обмена поровой воды с близлежащими водами определяется произведением эмпирического параметра, который называется фактором биоирригации ( $f_{Oligoch}^{Bioturbation}$ ,  $f_{Polych}^{Bioturbation}$ ), на коэффициент молекулярной диффузии  $D(T_w)$ . Значения коэффициентов диффузии зависят от температуры воды  $T_w$ . Факторы биоирригации  $f_{Oligoch}^{Bioturbation}$ ,  $f_{Polych}^{Bioturbation}$  являются функциями средних численностей популяции олигохет ( $N_{Oligoch}$ ) и полихет ( $N_{Polych}$ ) на единицу площади дна, а также средних радиусов  $r_{Oligoch}$  и  $r_{Polych}$  вырытых ими нор [8]:

$$f_{Oligoch}^{Bioturbation} = \frac{r_{Oligoch}}{\left( \frac{1}{\pi N_{Oligoch}} - r_{Oligoch}^2 \right) \left( \frac{1}{2\sqrt{\pi N_{Oligoch}}} - \frac{3r_{Oligoch}}{2} \right)}, \quad (1)$$

$$f_{Polych}^{Bioturbation} = \frac{r_{Polych}}{\left( \frac{1}{\pi N_{Polych}} - r_{Polych}^2 \right) \left( \frac{1}{2\sqrt{\pi N_{Polych}}} - \frac{3r_{Polych}}{2} \right)}. \quad (2)$$

Из (1), (2) следует, что если  $N_{Oligoch} \rightarrow 0$ ,  $N_{Polych} \rightarrow 0$ , то тогда и  $f_{Oligoch}^{Bioturbation} \rightarrow 0$ ,  $f_{Polych}^{Bioturbation} \rightarrow 0$ . Таким образом, с уменьшением средней плотности популяций олигохет и полихет уменьшаются и значения факторов биоирригации. В этом случае будет иметь место снижение влияния бентосных организмов на процессы биогидрохимического обмена между водой и активным слоем ДО. Если же, наоборот,  $N_{Oligoch} \rightarrow +\infty$ ,  $N_{Polych} \rightarrow +\infty$ , то тогда  $f_{Oligoch}^{Bioturbation} \rightarrow 2/(3r_{Oligoch}^2)$ ,  $f_{Polych}^{Bioturbation} \rightarrow 2/(3r_{Polych}^2)$ . То есть с ростом средней плотности популяций олигохет и полихет значения факторов биоирригации будут стремиться к некоторым постоянным величинам, значения которых зависят от средних радиусов  $r_{Oligoch}$  и  $r_{Polych}$  вырытых олигохетами и полихетами нор.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежова Е.Е., Рудинская Л.В., Павленко-Лятун М.В. Вислинский залив. Макрозообентос // Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа / Под ред. А.Ф. Алимова, М.Б. Ивановой. М.: Научный мир, 2004. С. 146–164.
2. Aller R.C. Diagenetic processes near the sediment-water interface of Long Island sound: I. Decomposition and nutrient element geochemistry (S, N, P) // Adv. Geophysics. 1980. V. 22. P. 237–350.

3. Aller R.C. Diagenetic processes near the sediment-water interface of Long Island sound: II. Fe and Mn // *Adv. Geophysics*. 1980. V. 22. P. 351–415.
4. Boudreau B.P. Diagenetic models and their implementation: modelling transport and reactions in aquatic sediments. Berlin: Springer, 1996. 414 p.
5. Maximov A., Bonsdorff E., Eremina T. et al. Context-dependent consequences of *Marenzelleria* spp. (Spionidae: Polychaeta) invasion for nutrient cycling in the Northern Baltic Sea // *Oceanologia*. 2015. V. 57. P. 342–348.
6. Quintana C.O., Tang M., Kristensen E. Simultaneous study of particle reworking, irrigation transport and reaction rates in sediment bioturbated by the polychaetes *Heteromastus* and *Marenzelleria* // *J. Experim. Mar. Biol. and Ecol.* 2007. V. 352. P. 392–406.
7. Renz J.R., Forster S. Are similar worms different? A comparative tracer study on bioturbation in the three sibling species *Marenzelleria arctia*, *M. viridis*, and *M. neglecta* from the Baltic Sea // *Limnol. Oceanogr.* 2013. V. 58. P. 2046–2058.
8. Волощук Е.В., Еремина Т.Р., Рябченко В.А. Моделирование биогидрохимических процессов в донных отложениях в восточной части Финского залива с использованием диагенетической модели // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2015. Т. 8. № 4. С. 106–113.
9. Chechko V.A., Ezhova E.E. Deep-burrowing bioturbators as important ecological factor for the Vistula lagoon // *Abstr. 16<sup>th</sup> Baltic Marine Biologists Symposium «Functional diversity and ecosystem dynamics of the Baltic sea alien species in the brackish water ecosystems»*. Klaipeda: Klaipeda University, 1999. P. 48–49.
10. Аристова Г.И. Вертикальное распределение донных организмов в Куршском и Вислинском заливах // *Исследования в Куршском и Вислинском заливах*. Калининград: Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии, 1965. С. 50–56.
11. Ezhova E.E., Peretertova O.V. Ecosystem effect of the successful invader *Marenzelleria viridis* in the Vistula Lagoon // *Abstr. 16<sup>th</sup> Baltic Marine Biologists Symposium «Functional diversity and ecosystem dynamics of the Baltic sea alien species in the brackish water ecosystems»*. Klaipeda: Klaipeda University, 1999. P. 50–52.
12. Aller R.C. Quantifying solute distributions in the bioturbated zone of marine sediments by defining an average microenvironment // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1980. V. 44. № 12. P. 1955–1965.

Biogidrochemical processes and bioturbation in the benthic layer of bottom sediments can significantly influence the changes in the content of different forms of biogenic elements, the time of their turnover, the intensity of the flows of substances and the direction of metabolic processes, etc. The approach to modeling of the influence of the bioturbation on exchange processes near the interface between water and bottom sediments in the Vistula lagoon of the Baltic Sea is considered in the paper.

**Поляков Д.М.**

(Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева, Владивосток, e-mail: [dmpol@poi.dvo.ru](mailto:dmpol@poi.dvo.ru))

**Особенности накопления химических элементов субколлоидной фракцией донных осадков маргинального фильтра под влиянием повышенного стока р. Раздольная (Амурский залив, Японское море)**

**Polyakov D.M.**

(V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Vladivostok)

**Properties accumulation chemical elements subcolloidal fraction sediments marginal filter the influence of the increased flow on Razdol'naya River (Amursky Bay, Sea of Japan)**

Ключевые слова: повышенный речной сток, оксигидроксиды Fe и Mn, сорбция

Увеличение речного стока расширяет зону смешения пресных и соленых вод маргинального фильтра в залив, что ведет к продолжению процессов флокуляции, образованию оксигидроксидов железа, марганца и сорбции химических элементов. Показано увеличение U, Y, Be, Cd в субколлоидной фракции осадков зоны смешения. Повышенное содержание Cu и As в донных отложениях залива связано с их прижизненным накоплением планктоном и последующей биохимической переработкой в гумусовое вещество отложений.

Амурский залив представляет собой типичную полузамкнутую бухту (часть залива Петра Великого), донные осадки которого формируются, в основном, за счет твердого стока р. Раздольная – самой крупной реки Приморского края.

Исследование содержания химических элементов в донных отложениях р. Раздольная и Амурского залива ведутся продолжительное время [1]. Для объяснения биогеохимических процессов, ведущих к изменению содержания элементов в осадках различных зон маргинального фильтра р. Раздольная, предложили исследовать субколлоидную фракцию [2], которая является наиболее реакционноспособной. Особенность работы в том, что донные осадки отобраны в июле 2015 г. через 10 дней после прохождения тайфуна "Чан-Хом", в результате которого выпало до 67 мм осадков.

Цель работы состояла в изучении динамики содержания макро – и микроэлементов в субколлоидной фракции донных отложений маргинального фильтра р. Раздольная обусловленной биогеохимическими процессами.

Почву и донные осадки (ДО) отобрали на разрезе р. Раздольная – Амурский (рис. 1).

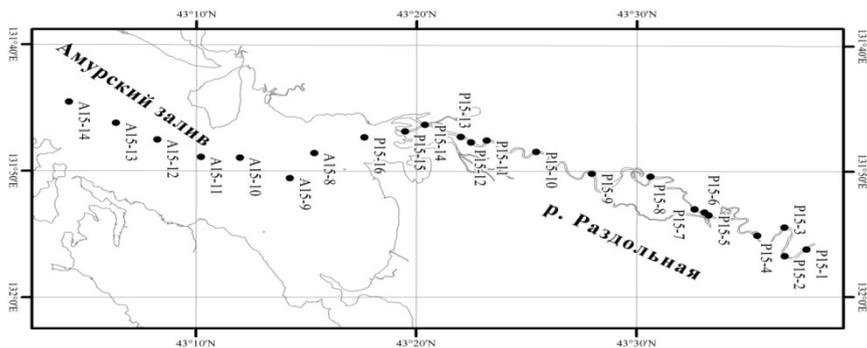


Рисунок 1. Схема расположения станций отбора проб донных осадков на разрезе р. Раздольная – Амурский залив.

На схеме порядковые номера речных станций (Р) и почвы (П) – совпадают (ст. Р1-П1 и т.д.), но станции отбора почвы не отмечены, чтобы не загромождать рисунок. Почва отобрана ручным способом в 5–7 м от берега, а ДО – с помощью дночерпателя из верхнего слоя (1–2 см) осадка. Пробы упаковывали в полиэтиленовую тару и помещали на хранение в холодильник до момента обработки.

Методом водно – механического анализа [3] с использованием дистиллированной воды выделили субколлоидную (<0.001 мм) фракцию осадков. Минеральный, химический составы и содержание  $C_{орг}$  субколлоидной фракции ДО исследовали по методикам [4], [5] и [6] соответственно.

Содержание элементов (Fe, Mn, U, Be, Y, Cd, Cu, Zn, As) определили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (“Agilent 7500 – Agilent Technologies”, США). Правильность определения концентрации элементов подтверждена результатами анализа стандартного образца MAG-1 (глинистый ил из зал. Мэн) Геологической службы США. Стандартное отклонение для исследованных элементов составило  $\pm (3-8)\%$ .

Для удобства построения графиков, содержание элементов представили в виде отношения  $Me_i/Me_p$ , где  $Me_i$  содержание элемента в осадках  $i$  станции и  $Me_p$  среднее содержание элемента в речных отложениях (станции Р1–Р7). Это позволило выявить динамику содержания элементов и сравнить их распределение в ДО на разрезе река – море.

Повышенное содержание Fe (7.7, 8.5), Mn (0.0505, 0.0606%), Y (37.58), U (4.53), Be (1.61, 1.67, 1.71), Cd (0.2, 0.22, 0.29), Cu (30.07, 33.93, 39.09), As (22.34, 24.83, 26.9 мкг/г) совпадают в осадках на разрезе река-море, что отражается на величине отношения для отложений на станциях П3, П6, П8, П11, Р9, Р14, А12, А13 (рис. 2). Наибольшая величина отношения характерна для Mn (2.54, 2.74) в составе почв, для Y (3.04) в речных отложениях и U (1.94) в отложениях залива. В почве может содержаться от

0.1 до 0.6% Mn в виде оксидов и гидроксидов [7].



Рисунок 2. Распределение содержания элементов ( $\Delta$  – Y,  $\square$  – U,  $\circ$  – Fe,  $\blacktriangle$  – Mn,  $\bullet$  – Cu) в субколлоидной фракции донных отложений на разрезе река–море, нормализованные по отношению к среднему содержанию ( $Me_i/Me_p$ ) элементов в речных осадках.

В процессе гипергенеза микроэлементы могут перемещаться как во взвеси, так и в виде ионов в растворе, поэтому они способны сорбироваться на гидроксидах Fe и Mn. Наиболее наглядно это проявляется в отложениях, соответствующих зоне смешения (станции P9, P14): U (2.94, 4.88) Y (18.14, 37.58) Cd (0.29) Be (1.67, 2.19 мкг/г). Содержание микроэлементов в речных осадках до зоны смешения (P1–P7) составило: U (2.34), Y (12.37), Cd (0.17), Be (1.43 мкг/г). Показали, что в осадках зоны смешения пресных и соленых морских вод наблюдается увеличение содержания микроэлементов на 20–52 (U), 32–67 (Y), 14–35 (Be), 41% (Cd).

Прошедшие дожди (результат тайфуна) увеличили сток пресной воды, в результате чего зона смешения сместилась в Амурский залив. Это подтверждается содержанием Fe (6.2, 6.4) и Mn (0.0217, 0.0218%) в осадках залива (станции A12, A13), которое большее или примерно равное (Mn) их среднему содержанию в отложениях до зоны смешения. Следовательно наблюдается продолжение процессов флоккуляции и формирования оксигидроксилов Fe и Mn в заливе, что способствует сорбции микроэлементов. Наиболее существенное увеличение среднего содержания выявлено для Cu (23), Y (30), U (45%). Наиболее значительное увеличение содержания элементов в субколлоидной фракции выявлено в речных отложениях (станции P14).

Среднее содержание  $C_{орг}$  в почве (3.8) больше по сравнению с речными осадками (2.8%). Среднее содержание  $C_{орг}$  в отложениях залива 3.7%. Повышенное содержание  $C_{орг}$  (4.9%), As (21.77) и Cu (26.22 мкг/г) определено в отложениях станции A14 (рис. 3) при среднем содержании As в отложениях залива 13.88 мкг/г. Высокое содержание Cu в осадках станций A11–A13 связано с сорбционным накоплением на оксигидроксидах Fe и Mn. Значительное среднее содержание As в почве (19.49 мкг/г) может быть связано с применением мышьякосодежащих пестицидов в сельском

хозяйстве, что приводит к заражению почвы мышьяком [8].

Высокое содержание  $C_{\text{орг}}$  и элементов указывает на их прижизненное накопление планктоном [9], последующего отмирания, седиментации и образования гумусового вещества в составе осадков.

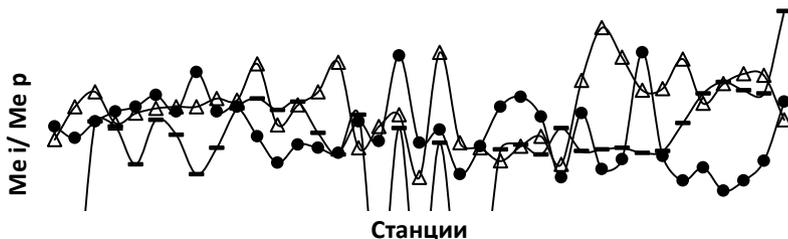


Рисунок 3. Распределение содержания элементов ( $\bullet$  – As,  $\Delta$  – Cu, –  $C_{\text{орг}}$ ) в субколлоидной фракции донных отложений на разрезе река–море, нормализованные по отношению к среднему содержанию ( $Me_i/Me_p$ ) элементов и  $C_{\text{орг}}$  в речных осадках.

Органический углерод субколлоидной фракции донных осадков и почвы состоит минимум из двух составляющих компонент: биохимически переработанной (гумифицированной) и биохимически не переработанной, то есть легкой и «подвижной» органической компоненты  $C_{\text{п}}$  [6]. В состав почв, в основном, входит гумифицированный органический углерод и незначительная часть свежесозданной органики. Напротив, в морских отложениях наблюдается увеличение количества «подвижного» и уменьшение гумифицированного органического углерода по сравнению с почвой. В состав морских осадков в большей степени входит свежесозданная органика, которая еще не подверглась длительной биохимической переработке.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникиев В.В. Короткопериодные геохимические процессы и загрязнение океана. М.: Наука, 1987. 192 с.
2. Поляков Д.М., Аксентов К.И. Динамика накопления Fe, Mn и других тяжелых металлов субколлоидной фракцией донных осадков – результат биохимических процессов, протекающих в маргинальном фильтре р. Раздольная (Амурский залив, Японское море) // Метеорология и гидрология. 2013. № 11. С. 79–86.
3. Петелин В.П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М.: Наука, 1967. 128 с.
4. Поляков Д.М., Можеровский А.В., Марьяш А.А. Геохимические аспекты накопления макроэлементов субколлоидной фракцией донных осадков на

разреze р. Раздольная – Амурский залив (Японское море) // Метеорол. и гидрология. 2014. № 10. С. 79–88.

5. Сорокина О.А., Зарубина Н.В. Химический состав донных отложений среднего течения р. Амур // Тихоокеан. геология, 2011. Т. 30, № 5. С. 105–113.

6. Поляков Д.М., Ходоренко Н.Д., Марьяш А.А. Некоторые аспекты накопления органического вещества субколлоидной фракцией донных осадков на барьере “река-море” (р. Раздольная – Амурский залив) // Вестник ДВО РАН. 2012. № 6. С. 89–93.

7. Добрицкая Ю.М. Определение валового содержания марганца в почвах и растениях. Методы определения микроэлементов в почвах и растениях. АН СССР, 1958. 144 с.

8. Емельянов Е.М., В.А. Кравцов. О причинах повышенных содержаний мышьяка в Балтийском море и Вислинском заливе // Геохимия. 2007. № 8. С. 871–888.

9. Чертко Н.Л., Чертко Э.Н. Геохимия и экология химических элементов. Минск. Изд-во центр БГУ, 2008. 140 с.

Increased river flow enhances the mixing zone of fresh and salt waters marginal filter in the Bay that leads to the continuation of flocculation processes, education oksigidroksids Fe, Mn and sorption on these chemical elements. Shows increase of U, Y, Be, Cd in subkolloidal fractions of sediment mixing zone waters. Increased content of Cu and As in the sediments of the Bay is connected with their accumulation of plankton and subsequent biochemical processing consisting of humus substances reference sediments.

## **Проскурнин В.Ю., Терещенко Н.Н., Гулин С.Б., Чужикова-Проскурнина О.Д.**

(ФГБУН Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, e-mail: [v.proskurnin.imbr@gmail.com](mailto:v.proskurnin.imbr@gmail.com))

### **Геохронологическая реконструкция как инструмент изучения самоочистения Чёрного моря в отношении плутония**

## **Proskurnin V.Yu., Tereshchenko N.N., Gulin S.B., Chuzhikova-Proskurnina O.D.**

(The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol)

### **Geochronological reconstruction as a tool for the Black Sea self-purification studying against plutonium**

Ключевые слова: Чёрное море, седиментационное самоочистение, геохронологическая реконструкция, датировка донных отложений, плутоний-238, 239+240

По результатам датировки глубоководных донных отложений Чёрного моря с помощью техногенных радионуклидов плутония-238 и плутония-239+240 произведена геохронологическая реконструкция потоков седиментационного депонирования плутония в донные отложения. Определён период полууменьшения седиментационного потока плутония после интенсивных глобальных выпадений в глубоководной части Чёрного моря равный 10 годам.

Основным источником поступления искусственной радиоактивности в Чёрное море были глобальные радиоактивные выпадения в результате испытания ядерного оружия в открытых средах (максимум выпадений пришёлся на первую половину 1960-х гг.) (Радиоэкологический отклик... 2008). Вторым по значимости источником искусственных радионуклидов являлись атмосферные выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС (Buessler et al. 1996) в мае 1986 г, а также поступление радионуклидов с речным стоком Днепра и Дуная в первые годы после аварии (Радиоэкологический отклик... 2008). Оба упомянутых источника содержали широкий спектр продуктов распада и активации ядерных и конструкционных материалов, в том числе изотопы плутония (альфа-излучающие  $^{238,239,240}\text{Pu}$  и бета-излучающий  $^{241}\text{Pu}$ ). Благодаря тому, что изотопная композиция плутония в различных источниках его поступления отличается весьма существенно, изотопы плутония считают одними из наиболее информативных трассеров для датировки донных отложений. Это особенно актуально для глубоководной части Чёрного моря, где поступление плутония носило неравномерный характер со строгой локализацией во времени.

Важной особенностью Чёрного моря является наличие сероводородной

зоны, благодаря которой глубоководные донные отложения, в отличие от отложений прибрежных районов, практически не подвержены биотурбации (Buesseler et al. 1994). Это обуславливает сохранение исходной стратификации получаемых профилей концентрации загрязнителей в донных отложениях, в сравнении с осадками прибрежных экосистем, характеризующихся более динамичными условиями существования.

Актуальность проводимых исследований обусловлена необходимостью изучения способности уникального черноморского бассейна к самоочищению и определения его экологической ёмкости в отношении загрязняющих веществ как ядерной, так и неядерной природы. Понимание этих процессов обеспечивает адекватные оценки состояния морской экосистемы при её функционировании в условиях антропогенного воздействия и даёт основу для прогнозных оценок состояния экосистемы при потенциальных авариях на предприятиях ЯТЦ.

Целью исследования была геохронологическая реконструкция потоков депонирования плутония в глубоководных донных отложениях Чёрного моря. Для этого решали следующие задачи: определение вертикального распределения концентраций изотопов  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в толще донных отложений западной части глубоководной котловины Чёрного моря; проведение датировки этих отложений по изучаемым изотопам; определение седиментационных характеристик исследуемого района, как важного показателя самоочищающей способности черноморских вод.

#### *Материалы и методы*

В настоящей работе использовали пробы грунта, отобранные во время 33-ей экспедиции НИС «Maria S. Merian» (Германия) в ноябре–декабре 2013 г. в рамках украинно-германского научного партнёрства. Колонки грунта отбирали мультикорером, разработанным Институтом исследований Балтийского моря (IOW, Варнемюнде, Германия). Мультикорер позволял отбирать колонки поверхностного слоя грунта высотой до 70 см с сохранением стратификации даже лёгких сапропелевых илов с влажностью до 95%, характерных для котловины Чёрного моря. Колонки нарезали с помощью экструдера поворотной конструкции на слои толщиной 2.5–5 мм.

В настоящем исследовании изучали вертикальное распределение  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  и отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в толще донных отложений отобранных в районе западного циклонического круговорота в котловине Чёрного моря в точке с координатами  $43^\circ 31.824'$  с.ш.  $32^\circ 28.088'$  в.д. Глубина водной толщи в исследуемом районе составила 2030 м. Исследуемые образцы донных осадков отбирали в ноябре 2013 г., т.е. через 27 лет после аварии на ЧАЭС, поэтому ожидаемая глубина залегания плутония чернобыльского происхождения составляла десятки мм. Высота отобранной колонки составляла 10 см, а толщина анализируемых слоёв была выбрана равной 2.5 мм на глубине залегания осадка 0–3 см и 5 мм на глубине 3–10 см.

Альфа-радиоизотопы плутония определяли по методике разработанной НПО «Тайфун» для измерения активностей изотопов плутония в пробах окружающей среды, с учётом рекомендаций (IAEA TRS №295, 1988). Изотопы  $^{238}\text{Pu}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  определяли спектрометрическим методом с использованием полупроводникового альфа-спектрометрического комплекса EG&G Ortec Octete PC. Концентрации (удельные активности) определяемых изотопов пересчитывали на обессоленный вес осадка с учётом солёности придонного слоя воды. Погрешности определяемых величин рассчитывали в соответствии с общепринятыми методами.

Для датировки донных отложений использовался метод радиоизотопной геохронологической реконструкции загрязнения плутонием, суть которого заключается в изучении вертикального распределения отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в толще донных осадков (Gulin et al. 2002). При расчёте скорости осадконакопления вносили поправку на гравитационное уплотнение осадка и таким образом, получали шкалу разуплотнённой толщины слоя донных отложений. Для расчёта скоростей седиментации взвешенного вещества использовалась шкала кумулятивного веса донных отложений. Потоки депонирования изотопов плутония определялись исходя из их концентраций в конкретном слое и скорости седиментации взвешенного вещества.

#### *Результаты и обсуждение*

Было обнаружено два хорошо различимых максимума удельной активности  $^{239,240}\text{Pu}$ , один из которых был приурочен слою донных отложений 2.75–3.00 см, а другой – 4.0–4.5 см. Удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в слое отложений 2.75–3.00 см составила  $18.3 \pm 1.9 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ , а отношение активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  –  $0.34 \pm 0.06$ . Это позволяет охарактеризовать природу пика концентраций радиоизотопов плутония в слое 2.75–3.00 см как обусловленную преимущественно выпадениями черномыльских радионуклидов (Gulin et al., 2002) – доля плутония черномыльского происхождения в этом слое достигала 70%. Удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в слое донных отложений 4.0–4.5 см была равна  $25.45 \pm 3.8 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ , при этом отношение  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  составило  $0.035 \pm 0.009$ . Сопоставление изотопных отношений  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ , определённых в профиле донных отложений, с величинами, характерными для основных источников плутония в Чёрном море (Gulin et al. 2002; Hardy et al. 1973), позволяет однозначно датировать слой 2.75–3.00 см 1986 г., а слой 4.0–4.5 см – 1963 г. Отношение активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  во всех слоях ниже 3 см глубины отложений не превышало величину  $0.035 \pm 0.010$ , т.е. было характерным для плутония глобальных выпадений. Это позволяет заключить, что донные отложения ниже глубины 3 см в 2013 г. отражали историю поступления плутония в дочерномыльскую эпоху, тогда как верхние 3 см осадков сформировались после 1986 г. включительно.

Скорость осадконакопления, рассчитанная как по черномыльскому

концентрационному пику плутония, так и по пику глобальных выпадений, составила  $2.1 \text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$  неуплотнённого осадка, а рассчитанная на естественно-уплотнённые слои осадка усреднённая скорость осадконакопления за 51 год с 1962 по 2013 гг. была равна  $0.8 \text{ мм}\cdot\text{год}^{-1}$ . Совпадение скоростей накопления неуплотнённого осадка, рассчитанных по разным пикам плутония, указывает на отсутствие существенных изменений в скорости осадконакопления в исследуемом регионе на масштабе 50 лет. Средняя скорость седиментации взвешенного вещества составила  $60 \text{ г м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ .

С использованием полученных данных о скорости седиментации взвешенного вещества, а также вертикальном распределении концентраций  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{Pu}$  в толще донных отложений были рассчитаны потоки депонирования этих радионуклидов в донные отложения в соответствующие временные интервалы и произведена геохронологическая реконструкция этих потоков (рис.).

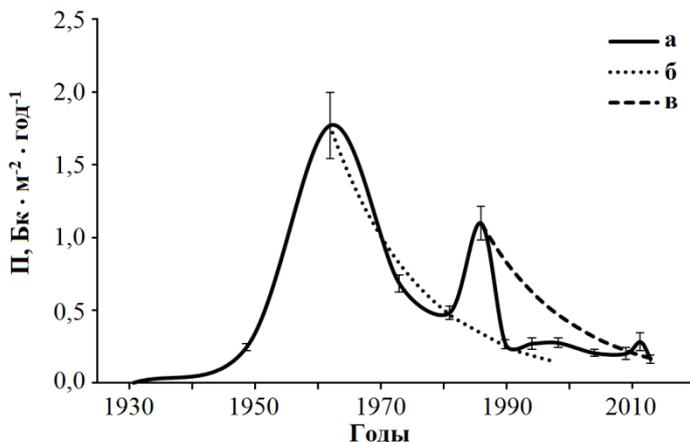


Рисунок 1. Геохронологическая реконструкция потоков седиментационного депонирования  $^{239+240}\text{Pu}$  в глубоководных донных отложениях Чёрного моря: а – потоки рассчитаны по натурным данным; б – результаты моделирования уменьшения потоков в дочернобыльскую эпоху; в – результаты моделирования уменьшения потоков после аварии на ЧАЭС.

Максимальный поток седиментационного депонирования  $^{239+240}\text{Pu}$  в донные отложения наблюдался в первой половине 1960-х годов во время максимально интенсивных глобальных выпадений и составлял величину  $1.77 \pm 0.22 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ . После прекращения массовых испытаний ядерного оружия в открытых средах в 1963 г. поток плутония в донные отложения начал резко спадать в результате уменьшения концентраций плутония в

воде за счёт интенсивного седиментационного самоочищения водной толщи Чёрного моря и к первой половине 1980-х гг. снизился до величины  $0.48 \pm 0.05 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ . В 1986 году за счёт залпового поступления плутония с атмосферными выпадениями после аварии на Чернобыльской АЭС наблюдалось резкое увеличение седиментационного потока  $^{239+240}\text{Pu}$  более чем в два раза – до  $1.10 \pm 0.11 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ . Уже к первой половине 1990-х гг. поток  $^{239+240}\text{Pu}$  сократился до значений практически в два раза ниже наблюдавшихся в 1980-е годы перед аварией на ЧАЭС и оставался постоянным в пределах погрешности используемого метода определения. Средний поток седиментационного депонирования  $^{239+240}\text{Pu}$  в донные отложения в 1990–2000-х гг. составил  $0.24 \pm 0.04 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ .

Было определено, что период полууменьшения потока седиментационного депонирования плутония в дочернобыльскую эпоху после интенсивных глобальных выпадений составил величину около 10 лет, а изменение величины этого потока с достоверностью аппроксимации 98.3% описывается уравнением (1) (рис. 16):

$$П = П_0 \cdot 2^{-\frac{t}{10}} \quad (1)$$

где  $П$  – поток седиментационного депонирования плутония в донные отложения в момент времени  $t$  (год) после максимального поступления плутония в 1962 г. ( $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ );

$П_0$  – поток седиментационного депонирования плутония в исходный момент времени, т.е. в 1962 г. ( $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$ ).

Натурные значения потока седиментационного депонирования плутония в 1990 и 1994 гг., включённые в анализ аппроксимирующей кривой (рис. 16), при исключении данных за 1986 г. не ухудшают достоверность аппроксимации. В свою очередь, попытка описать изменение потока плутония уравнением, аналогичным уравнению (1), в постчернобыльскую эпоху (рис. 1 в) с начальным условием  $П_0 = П_{1986}$ , т.е. с исходным потоком приуроченным к 1986 году, приводит к явно завышенным значениям потока, а достоверность аппроксимации при этом низкая – 23.2%. О слабом влиянии плутония чернобыльского происхождения на формирование потоков его седиментационного депонирования в постчернобыльскую эпоху также говорят отношения активности  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в слоях донных отложений с глубиной залегания менее 2.75 см характерные для плутония глобальных выпадений, практически без влияния выпадений чернобыльских.

The geochronological reconstruction of plutonium sedimentation deposition fluxes into the deep Black Sea bottom sediments was carried out as a result of these sediments dating with anthropogenic plutonium radioisotopes. The 10 years period of plutonium sedimentation flux half-reduction after global nuclear fallouts at the deep Black Sea was determined.

**Римская-Корсакова М.Н., Дубинин А.В., Розанов А.Г.**

(Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, e-mail: korsakova@ocean.ru)

**Поведение Mo и W в процессах осадкообразования в анаэробных условиях в Черном море**

**Rimskaya-Korsakova M.N., Dubinin A.V., Rozanov A.G.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Mo and W behavior during anaerobic sedimentation in the Black Sea**

Ключевые слова: Черное море, молибден, вольфрам, ванадий

Проанализирован химический состав осадков глубоководной впадины Черного моря и взвеси разных горизонтов в толще черноморской воды. Показано, что содержания вольфрама примерно одинаковы и мало меняются как во взвешенном веществе, так и по колонке осадков. Максимумы Mo/W отношения в осадках приурочены к пограничным горизонтам, отмечающих смену условий осадконакопления и богатым органическим веществом. Новозвксинские осадки характеризуются наименьшим значением Mo/W отношения, равным таковому в верхней континентальной коре (1.1).

Переходные элементы Mo и W в окисленной морской воде представлены в виде оксианионов ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{WO}_4^{2-}$ ). Несмотря на одинаковые формы нахождения в морской воде и схожесть химических свойств, их молярное отношение в морской воде достигает 1800 Mo/W в Атлантике и 2200 в Тихом океане [1], что свидетельствует о разных скоростях поступления в океан и удаления. Для сравнения, в верхней континентальной коре молярное отношение Mo/W составляет  $\sim 1$ .

В сероводородных условиях растворенный Mo последовательно переходит из химически инертной формы  $\text{MoO}_4^{2-}$  в ряд тиомолибдатов, с общей формулой  $\text{MoO}_x\text{S}^{2-}_{4-x}$  ( $x=0-4$ ), которые активно сорбируются на поверхностях сульфидов и/или органическом веществе, с образованием фазы Fe-Mo-S, что способствует накоплению Mo в осадках в условиях аноكсии. Это в свою очередь служит трассером анокисических условий осадкообразования в прошлом [2].

Сходным образом, W реагирует с растворенным  $\text{S}^{2-}$  образуя ряд тивольфраматов когда концентрация растворенного  $\text{H}_2\text{S}$  превышает  $60 \mu\text{M}$  [3], однако данные по его накоплению в сероводородных условиях отсутствуют.

Для оценки влияния анаэробных условий на поведение Mo и W в процессе осадкообразования был проведен анализ растворенных Mo и W на границе кислородной и сероводородной зон в Черном море, а также анализ колонки глубоководных осадков из сероводородной зоны Черного моря.

### Материалы и методы

Образцы черноморской воды были отобраны в 7 милях от Геленджика (координаты 44.489°с.ш., 37.869°в.д., глубина станции 1200 м), от поверхности и до глубины 320 м с более частым отбором образцов на границе окисленных и сероводородных вод. Концентрации растворенных Mo, W и V были определены методом ИСП-МС после концентрирования [1]. Осадки отбирали в ходе 100 рейса НИС «Профессор Штокман» в 2009 г. в восточной части глубоководной впадины (станция ПШ100-48, координаты 44.437°с.ш., 36.508°в.д., глубина 2210 м, описание осадков приведено в работе [4]). Определение Mo и W проводили методом ИСП-МС после предварительной пробоподготовки, описанной в работе [5].

### Результаты и их обсуждение

1. Концентрация растворенного Mo в аэробной зоне составляет 36 нмоль/кг (рис. 1). При появлении  $H_2S$  концентрации Mo уменьшаются, достигая минимальных значений (из изученных горизонтов) 3.3 нмоль/кг на глубине 320 м по мере того, как молибден из инертной формы молибдата-иона переходит в форму тиомолибдата, который активно сорбируется на сульфиде в восстановительных условиях.

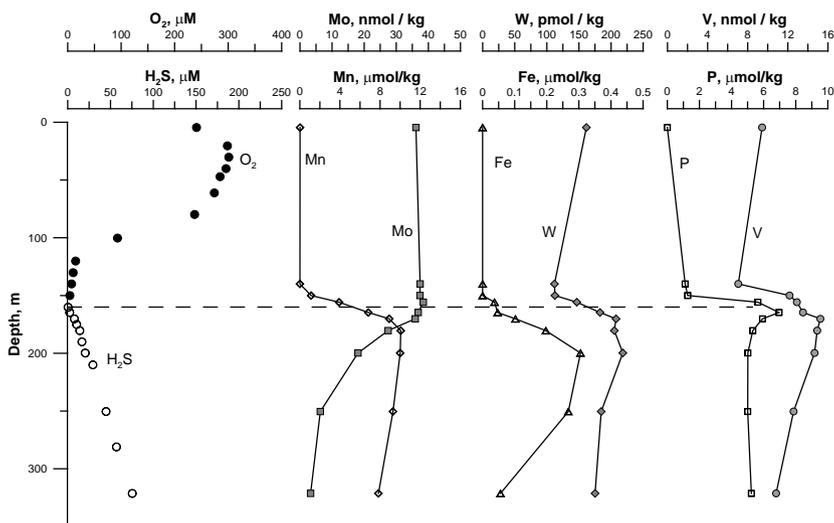


Рисунок 1. Распределение по глубине растворенных  $H_2S$ ,  $O_2$ , Mn, Fe, P, Mo, W, V в воде Черного моря.

2. Растворенного вольфрама гораздо меньше в морской воде по сравнению с Mo – в поверхностной воде его концентрации составляют 160 пмоль/кг (рис. 1). В верхней части редоксклина и над ним концентрации

вольфрама достигают минимума ( $\sim 110$  пмоль/кг). Здесь поступающий вверх из восстановленной зоны  $Mn^{2+}$  переходит во взвешенную форму  $MnO_x$ , которая обладает значительной сорбционной активностью. Появление взвешенного Mn совпадает с минимальным содержанием W. По мере оседания, частицы  $MnO_x$  сначала сорбируют оксигидроксиды  $FeOOH$ , образующиеся за счет поступления снизу  $Fe^{2+}$ . Одновременно происходит сорбция фосфатов [6]. Такие смешанные фазы, состоящие из оксидов Mn и оксигидроксофосфатов Fe, выступают эффективными сорбентами для W. Уменьшение растворенного P сопровождается уменьшением концентраций растворенного W. При попадании в сероводородную зону первым восстанавливается Mn до растворенного состояния  $Mn^{2+}$ , потом растворяются частицы, обогащенные за счет этого, Fe и P. При этом в водную фазу переходит сорбированный на них вольфрам и его концентрации достигают максимума (полученные концентрации составили  $\sim 220$  пмоль/кг). Такое «дипольное» поведение – с минимумом на глубине исчерпания  $O_2$  и максимумом на глубине появления  $H_2S$  – характерно для  $PO_4^{3-}$  иона, в литературе носит название “Mn-Fe-P shuttle” и описывает поведение W на редокс-интерфейсе.

4. Мольное отношение Mo/W резко уменьшается от редокс-интерфейса в более глубокие горизонты от 260 до наименьшего (из полученных) значения  $\sim 20$  (рис. 2). Такое уменьшение происходит преимущественно за счет уменьшения растворенного Mo. Вольфраматы (и образующиеся следом при повышении содержания  $H_2S$  тивольфраматы), по-видимому, устойчивы в растворенной форме в сероводородных водах [3], и по этой причине не накапливаются в восстановленных осадках.

5. Мольное отношение растворенных Mo/W составляет 1300–1800 в воде Атлантического океана, и  $\sim 10$  в окисленных осадках. Следовательно, осадки обогащены W более чем в 100 раз относительно их содержания в морской воде. В сероводородной зоне Черного моря Mo/W отношение составляет  $\sim 20$ , а в восстановленных осадках  $\geq 20$  (рис. 2). Таким образом, можно заключить, что в условиях аноكсии молибден в осадках накапливается в 50–500 раз больше реакционноспособен относительно W, в сравнении с окисленными условиями в океане.

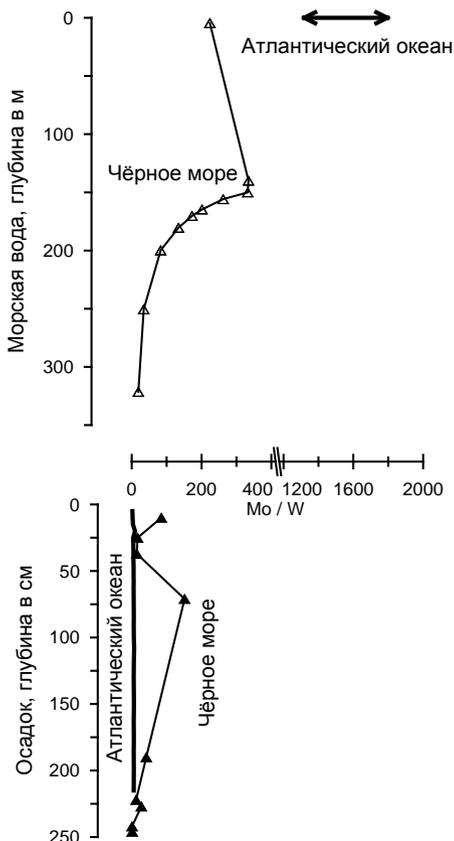


Рисунок 2. Мольное отношение  $Mo/W$  в осадках и морской воде: в Черном море (восстановительные условия) и Атлантическом океане (окислительные условия)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Римская-Корсакова М.Н., Бережная Е.Д., Дубинин А.В. Определение  $Mo$ ,  $W$  и  $V$  в воде Атлантического океана методом ИСП-МС после концентрирования твердофазной экстракцией с 8-оксихинолином // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. С. 587–596.
2. Algeo T.J., Lyons T.W.  $Mo$ –total organic carbon covariation in modern anoxic marine environments: Implications for analysis of paleoredox and paleohydrographic conditions // Paleocyanography. 2006. V. 21. PA1016.
3. Mohajerin T.J., Helz G.R., Johannesson K.H. Tungsten–molybdenum fractionation in estuarine environments // Geochim. Cosmochim. Acta. 2016. V. 177. P. 105–119.
4. Розанов А.Г., Гурский Ю.Н. Геохимические особенности осадков северо-восточной части Черного моря // Океанология. 2016. Т. 56. С. 919–934.
5. Дубинин А.В., Свальнов В.Н., Бережная Е.Д. и др. Геохимия редких и

рассеянных элементов в осадках и марганцевых микроконкрециях Ангольской котловины // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 3. С. 191–214.

6. Dellwig O., Leipe T., Marz C. et al. A new particulate Mn–Fe–P-shuttle at the redoxcline of anoxic basins // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2010. V. 74. P. 7100–7115.

The concentrations of dissolved Mo and W at the Black Sea redoxcline as well as the content of these elements in the sediment core were measured. Formation and dissolution of authigenic Mn-Fe-P particles determines W cycling at redoxcline; Mo chemical transformations are responsible for drastical changes of Mo/W ratio in anoxic environment.

**Русанов И.И.<sup>1,2</sup>, Засько Д.Н.<sup>2</sup>, Захарова Е.Е.<sup>1</sup>, Юсупов С.К.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, e-mail:

rusanov\_igor@mail.ru; <sup>2</sup>Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail:

dasha\_zas@mail.ru)

## **Биогеохимические аспекты продукции и трансформации ВОУ и РОУ в водной толще Черного моря**

**Rusanov I.I.<sup>1,2</sup>, Zasko D.N.<sup>2</sup>, Zakharova E.E.<sup>1</sup>, Yusupov S.K.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Winogradsky Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences, Moscow;

<sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

## **Biogeochemical aspects of production and transformation of POC and DOC in the water column of the Black Sea**

Ключевые слова: ВОВ, РОВ, РОУ, ЛЖК, первичная продукция, бактериальная продукция ОВ, цикл органического углерода

Исследовано образование РОУ при фотосинтезе, хемосинтезе, микробной ассимиляции углекислоты, микробном окислении метана в водной толще Черного моря. Количество синтезируемого РОУ составляет, в среднем, 60–80% от потребленного неорганического углерода. Доминирующую часть в составе образующегося РОУ занимают ацетат, пропионат и бутират.

Цикл органического углерода обусловлен с одной стороны первичной продукцией, за счет использования внешней солнечной энергии, и микробной продукцией органического вещества за счет хемосинтеза. С другой стороны – микробной трансформацией, деструкцией и минерализацией этого органического вещества, замыкая цикл углерода. Деструкционно-минерализационная ветвь в естественных условиях представлена широким спектром микроорганизмов и наиболее сложна [1].

Углекислоту фиксируют не только фототрофы, но и различные группы микроорганизмов. Для одних (гетеротрофные, метанотрофные и др.) это дополнительный неосновной источник углерода в различных реакциях. Для автотрофных микроорганизмов углекислота является основным или единственным источником углерода. При темновой ассимиляции углекислоты образуются разнообразные продукты микробной жизнедеятельности. Основными являются биомасса микроорганизмов (ВОВ) и растворенное внеклеточное органическое вещество (РОВ).

Наибольший вклад в пул органического вещества вносит собственно первичная продукция, представленная взвешенным органическим веществом (ВОВ) и растворенным органическим веществом (РОВ). При этом ВОВ достаточно хорошо оценена количественно, в то время как количественный и качественный состав РОВ еще необходимо дополнительно исследовать. Важность этой оценки проявляется в том, что основная часть РОВ является наиболее усвояемой для широкого круга

микроорганизмов, часто выступая продуктом жизнедеятельности одних, субстратом или промежуточным метаболитом для других. Наиболее важной количественной составляющей РОВ является растворенный органический углерод – РОУ.

Продукционная деятельность фитопланктона и бактериопланктона тесно связаны друг с другом, поскольку значительная доля органического вещества синтезируемая фитопланктоном, потребляется гетеротрофным бактериопланктоном. В результате такого гетеротрофного процесса, с дополнительной фиксацией углекислоты, образуется органическое вещество бактериального генезиса. Этот процесс называется бактериальной или микробной (вторичной) продукцией. Трофический путь преобразования ОВ гетеротрофным бактериопланктоном предложено называть "микробной петлей" [2].

Основным методом определения в морских водоемах, как первичной продукции фотосинтеза, так и бактериальной ассимиляции углекислоты, является в настоящее время радиоуглеродный метод, предложенный Стиман-Нильсенем [3].

Для того чтобы убедиться, что определяемое внеклеточное органическое вещество не является результатом разрыва, лизиса или гидролиза клеток, был проведен ряд экспериментов с разными фиксаторами, различными режимами фильтрации, оптимальным объемом и составом промывных вод. Было показано, что клеточная биомасса не разрушается, а определяемые экзометаболиты действительно являются органическим веществом, прижизненно выделяемым клетками во внешнюю среду, или же образуемым вне полости клетки.

Многие исследователи, как при определении скоростей фотосинтеза, так и темновой ассимиляции углекислоты, учитывают количество ассимилированного углерода в биомассу клеток. Образованное, за время инкубации проб, растворенное органическое вещество либо не учитывали, либо использовали коэффициенты домножения, равные четверти или трети от образованной биомассы. Однако существуют работы, в которых показано, что растворенное органическое вещество (РОВ) образуется неравномерно по горизонтам и составляет, в грубом приближении, от 0 до 100% от потребленного углерода.

Измеренная, на разных станциях и в различные сезоны, средняя фотосинтетическая продукция биомассы (по углероду) в 2–4 раза превышала синтезированную *de novo* (из углерода бикарбоната) биомассу микроорганизмов. На разных горизонтах водной толщи это соотношение варьировало.

Ниже фотосля синтеза биомассы фитопланктоном прекращался. При этом продукция микробной биомассы резко уменьшалась и затухала до минимальных значений, вплоть до зоны хемосинтеза (на границе аэробных и анаэробных вод). В редокс-зоне и прилегающих водах всегда отмечается

существенное, сравнимое с величинами фотосинтеза, увеличение интенсивности ассимиляции углекислоты. Как правило, ниже 200–250 м до дна, скорости темновой ассимиляции  $\text{CO}_2$  замедляются до минимальных значений.

Показано, что при фотосинтезе доля включенного в БМ углерода составляла 20–30%, а углерод во внеклеточном растворенном веществе составлял 70–80% от общего, на весь фотослой.

При общей микробной ассимиляции углекислоты, как в фотослое, так и ниже до дна, соотношение доли углерода, включенного в биомассу и во внеклеточное РОВ, составляло 30–40% и 60–70% соответственно. Это усредненные показатели на столб воды. На разных горизонтах соотношение изменялось.

Данных о количественном и качественном составе РОВ в доступной литературе крайне мало. Встает вопрос – что же представляет собой растворенное органическое вещество вырабатываемое фототрофами и микроорганизмами. Из литературы известно, что это могут быть полисахариды, липиды, белки, аминокислоты, спирты и летучие жирные кислоты [4–6].

Входящие в состав РОВ летучие жирные кислоты (ЛЖК), наряду с другими низкомолекулярными органическими веществами и водородом, являются хорошим субстратом и важными соединениями (интермедиатами) в биогеохимической деятельности широкого круга микроорганизмов. Они могут образовываться как в процессе деструкции органического вещества, так и автотрофно, из неорганического углерода, а так же в процессе микробного анаэробного окисления метана. Однако интенсивности и количественный вклад этих процессов в общий пул органического вещества мало изучен в естественных местообитаниях и требует дополнительных исследований.

Были поставлены эксперименты и получены результаты по количественной и качественной продукции ЛЖК в составе РОВ на нескольких станциях. Составлена усредненная схема микробной трансформации углерода из углекислоты до летучих жирных кислот (ЛЖК). В среднем, для всего водного столба при микробной (темновой) фиксации углекислоты образуется 30–40% биомассы и 60–70% РОВ. При этом, в аэробной зоне в составе РОВ 20% составляют различные низкомолекулярные соединения, а 80% ЛЖК. Соотношение фракций неоднозначное, и большую долю составляет пропионат и бутират (54% и 32% соответственно). В редокс-зоне соотношение в качественном составе РОВ меняется (50 на 50%), при этом основными фракциями ЛЖК являются бутират и пропионат (52% и 23% соответственно). В анаэробной зоне в составе РОВ вновь незначительно преобладает ЛЖК (60%), а основными компонентами являются пропионат и бутират (62% и 29% соответственно).

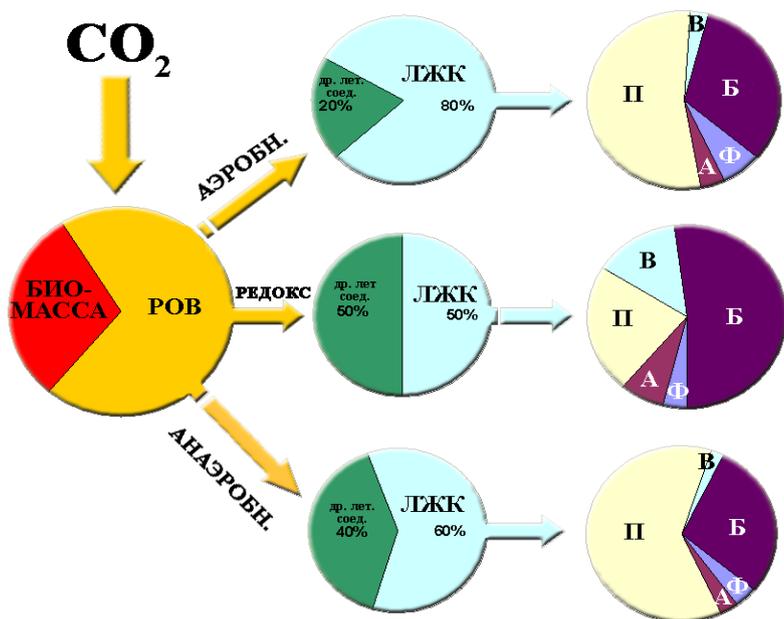


Рисунок. Схема долевого соотношения, где Ф, А, П, Б, В – формиат, ацетат, пропионат, бутират и валерат

Кроме исследования продукции и состава ЛЖК при микробной ассимиляции углекислоты, было изучено образование ЛЖК при микробном окислении метана, как аэробном, так и анаэробном. Практически во всех проанализированных пробах, углерод метана, при его микробной трансформации, обнаруживается не только в углекислоте и биомассе клеток, но и в растворенном органическом веществе [7].

Доля РОВ из углерода метана в Черном море составляет, в среднем, 40-60% от потребленного метана. Амплитуда по разным зонам и горизонтам составляет от 0 до 100% от общего потребленного микроорганизмами углерода метана. Примерно третью часть от образующегося растворенного вещества составляют летучие жирные кислоты (ЛЖК) – формиат, ацетат, пропионат, бутират и валерат. Основную часть ЛЖК в пересчете на весь столб водной толщи, примерно в равных количествах, составляют ацетат, пропионат и бутират. В их распределении по горизонтам и соотношении между собой прослеживаются определенные закономерности.

Таким образом, микробная трансформация метана, учитывая огромные масштабы анаэробной зоны, вносит существенный вклад в пул растворенного органического вещества, легко усваиваемого различными микроорганизмами. Это особенно важно для глубинных вод, куда проникает лишь небольшое количество органического вещества,

образованного в результате фото- и хемосинтеза.

Количественная оценка потоков РОУ и выявление механизмов его трансформации в природных экосистемах является важной задачей современной океанологии и глобальной экологии, как с точки зрения фундаментальных проблем, так и с точки зрения оценки баланса органического вещества и неорганического углерода для различных моделей.

Основная часть работы была проведена в лаборатории микробиологии и биогеохимии водоемов, под руководством академика М.В. Иванова (ИНМИ РАН) в тесном сотрудничестве с доктором геолого-минералогических наук А.Ю. Леин (ИО РАН). Авторы признательны всем коллегам, участвовавшим и помогавшим в проведении экспериментов и обсуждении результатов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФ № 14-27-00114-П

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леин А.Ю., Иванов М.В. Биогеохимический цикл метана в океане. М.: Наука, 2009.
2. Pomeroy L.R., Williams P.J.I., Azam F., Hobbie J.E. Microbial loop // *Oceanography*. 2007. V. 20. № 2. P. 28–33.
3. Steemann-Nielsen E. The use of radioactive carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for measuring organic production in the sea // *J. Cons. Perm. Int. Explor.* 1952. V. 18. P. 117–140.
4. Amon R.M.W., Meon B. The biogeochemistry of dissolved organic matter and nutrients in two large Arctic estuaries and potential implications for our understanding of the Arctic Ocean system // *Marine Chemistry*. 2004. V. 92. P. 311–330.
5. Saliot A., Derieux S., Sadouni N. et al. Winter and Spring Characterization of Particulate and Dissolved Organic Matter in the Danube–Black Sea Mixing Zone // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2002. V. 54. P. 355–367.
6. Volkman J.K., Johns R.B., Gillan F.T. et al. Microbial lipids of an intertidal sediment-I. Fatty acids and hydrocarbons // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1980. V. 44. P. 1133–1143.
7. Rusanov I.I., Savvichev A.S., Yusupov S.K., Pimenov N.V, Ivanov M.V. Production of exometabolites in the microbial oxidation of methane in marine ecosystems // *Microbiology*. 1998. V. 67(5). P. 590–596.

The formation of DOC in photosynthesis, chemosynthesis, microbial assimilation of carbon dioxide, microbial oxidation of methane in the water column of the Black Sea was studied. The amount of synthesized DOC is, on average, 60-80% of the consumed inorganic carbon. The dominant part in the formed DOC occupy acetate, propionate and butyrate.

**Саввичев А.С.<sup>1,3</sup>, Кадников В.В.<sup>2</sup>, Кравчишина М.Д.<sup>3</sup>,  
Галкин С.В.<sup>3</sup>, Новигатский А.Н.<sup>3</sup>, Пименов Н.В.<sup>1</sup>,  
Леин А.Ю.<sup>3</sup>, Флинт М.В.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, e-mail: savvichev@mail.ru; <sup>2</sup>Институт биоинженерии, ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН; <sup>3</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва)

## **Метан как трофическая основа микробного сообщества и источник органического вещества на холодном сипе в море Лаптевых**

**Savvichev A.S.<sup>1,3</sup>, Kadnikov V.V.<sup>2</sup>, Kravchishina M.D.<sup>3</sup>,  
Galkin S.V.<sup>3</sup>, Novigatsky A.N.<sup>3</sup>, Pimenov N.V.<sup>1</sup>, Lein A.Yu.<sup>3</sup>,  
Flint M.V.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Winogradsky Institute of Microbiology, Research Center of Biotechnology, RAS;  
<sup>2</sup>Institute of Bioengineering, Research Center of Biotechnology RAS; <sup>3</sup>Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow)

## **Methane as an Organic Matter Source and the Trophic Basis of the Laptev Sea Cold Seep Microbial Community**

Ключевые слова: cold methane seep, microbial community, rates of microbial processes, anaerobic oxidation of methane, Arctic seas

В донных осадках полигона газовых выделений (море Лаптевых) проведены исследования интенсивностей ключевых микробных процессов циклов метана и серы, а также состава и структуры микробного сообщества. Показано, что именно микробные процессы, связанные с аэробным (бактериальным) и анаэробным (архейным) окислением метана, формируют экосистему донных отложений метановых сипов.

Холодные метановые сипы, как и грязевой вулканизм, являются важными источниками парникового газа метана, поступающего из донных отложений морей и океанов в водную толщу, а из водной толщи в атмосферу [1–2]. Немалый вклад в эмиссию метана в атмосферу вносят холодные метановые сипы. Актуальность изучения подводных метановых сипов в морях Арктики связано, прежде всего, с известным фактом повышения средней температуры и отступления кромки льда в морях восточной Арктики [3–4]. В результате изучения подводных метановых сипов было показано, что значительное количество метана потребляется в процессе сульфатзависимого анаэробного окисления метана. Этот важный биогеохимический процесс протекает при участии консорциума метанотрофных архей (ANME) и сульфатредуцирующих бактерий (SRB) [5]. ANME относятся к классу *Methanomicrobia* и включают в себя некультивируемые клоны ANME-1, 2 и 3 [6]. Органическое вещество,

синтезируемое метанотрофными микроорганизмами, становится трофической основой для развития сообществ бентосных животных [7–9]. Цель исследования – определение активности микробных процессов цикла метана и структуры микробного сообщества донных отложений поля метановых сипов в море Лаптевых.

В 2015 г. в 63-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” на полигоне «Метановые сипы» (ПМС) – участке дна моря Лаптевых размером ~50×50 м и глубиной 71 м (76°46.34' с.ш. и 125°49.75' в.д.) [10], впервые отобраны пробы морской воды и донных осадков, в которых измерены интенсивности микробных процессов и подготовлены образцы для исследования состава микробного сообщества. Наблюдения, проведенные с помощью буксируемого аппарата, показали, что с некоторых участков дна ПМС периодически выделяются пузырьки газа [10]. На поверхности осадка были визуально различимы бактериальные маты белого или серовато-белого цвета неправильной формы. Массовым видом, встреченным в осадках, были симбиотрофные сибоглиниды (ранее погонофоры) *Oligobrachia haakonmosbiensis* (до 1020 экз.·м<sup>-2</sup>).

Таблица. Геохимическая и биогеохимическая характеристика осадков полигона метановых сипов (море Лаптевых) в сравнении с осадками «фоновых» станций

	Eh, мВ	Alk, мг·экв·л <sup>-1</sup>	S <sup>2-</sup> , мкМ·дм <sup>-3</sup>	CH <sub>4</sub> , мкМ·дм <sup>-3</sup>	δ <sup>13</sup> C-CH <sub>4</sub> , ‰	MO, мкМ·дм <sup>-3</sup>	MG, мкМ·дм <sup>-3</sup>	SR, мкМ·дм <sup>-3</sup>
Осадки ПМС, слой 0–48 см	-160 ÷ +20	5.5 ÷ 18	до 400	19–539	-79.9 ÷ -68.3	0.46–3.9	0.001–0.053	0.34–4.8
Осадки «фоновых» станций	+40 ÷ +180	2.2 ÷ 2.8	н.о.	до 0.012	н.д.	до 0.002	до 0.12	до 0.05

Поверхностный слой осадков ПМС моря Лаптевых был представлен слабо окисленными или слабо восстановленными осадками (Eh от +20 до –20 мВ, табл.). Непосредственно под поверхностным слоем осадок был сильно восстановленным (Eh от –50 до –160 мВ). Содержание сульфид иона S<sup>2-</sup> достигало 400 мкМ. Концентрация метана в поверхностном слое осадков (0–15 см) варьировала от 19.2 до 539 мкМ CH<sub>4</sub>·л<sup>-1</sup>. Значения изотопного состава углерода метана (δ<sup>13</sup>C-CH<sub>4</sub>), входящего в состав донных осадков, варьировали в пределах от –68.2 до –79.9‰.

Количественные показатели интенсивности микробных процессов были

получены экспериментально с использованием радиоактивно меченых соединений. Интенсивность окисления метана (МО) в поверхностном слое осадков ПМС достигала 3915 нМ  $\text{CH}_4 \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ ). В осадках были определены интенсивности процессов метаногенеза (МГ до 53 нМ  $\text{CH}_4 \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ ). Низкая интенсивность МГ в осадках ПМС, наряду с высоким содержанием метана, определяется поступлением части метана из подстилающих осадочных отложений. При этом изотопный состав углерода метана указывает на его, главным образом, микробное происхождение.

Интенсивность процесса сульфатредукции (СР) достигала 4865 нМ  $\text{S} \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ , табл.). Повышенная активность СР выявлялась в подповерхностных горизонтах, с характерной для них высокой интенсивностью МО. Такой факт указывает на протекание сульфатзависимого процесса анаэробного окисления метана (АОМ), в теоретической схеме которого, в соответствии с формулой:  $\text{CH}_4 + \text{SO}_4^{2-} = \text{HCO}_3^- + \text{HS}^- + \text{H}_2\text{O}$ , расход метана и серы сульфат-иона является эквимольным. Напротив, интенсивность МО в поверхностных образцах, заметно превышала величину интенсивности СР, что указывает на преобладающую активность аэробного окисления метана в поверхностном слое.

Интенсивность темновой ассимиляции углекислоты (ТАУ) в осадках ПМС достигала значений 5 мкМ  $\text{C} \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ , что более чем на порядок превышает диапазон значений ТАУ, полученный для фоновых станций Ленского разреза (до 160 нМ  $\text{CO}_2 \cdot \text{дм}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ ). Проведенное сравнение значений интенсивности микробных процессов является убедительным доказательством ведущей роли метана как спускового механизма всех биогеохимических процессов, протекающих в донных отложениях ПМС.

Молекулярный анализ показал, что в микробном сообществе поверхностного микробного мата в районе ПМС бактерии составляли 92%, а археи 8% микроорганизмов. В бактериальном сообществе преобладали представители филумов (типов) *Proteobacteria* (53% всех микроорганизмов), *Bacteroidetes* (17%) и *Verrucomicrobia* (4%). Из числа бактерий – участников цикла метана были обнаружены гамма-протеобактерии семейства *Methylococcaceae* (6,5%), осуществляющие аэробное окисление метана. Цикл серы был представлен двумя группами бактерий – окисляющими серу эpsilon-протеобактериями рода *Sulfurovum* (6%), и сульфат-восстанавливающими дельта-протеобактериями порядка *Desulfobacterales* (2%). Метаногенные археи составляли небольшую долю (1.5%) и были представлены порядком *Methanosarcinales*. Таким образом, сообщество микробного мата имеет сложную структуру, включающую аэробные и анаэробные микрзоны. Особенностью микробного сообщества глубинного слоя является присутствие в нем архей линий ANME-1 и 2, способных к анаэробному окислению метана.

Исследования, проведенные нами в поверхностном слое осадков ПМС

моря Лаптевых, показали наличие значительного количества погонофор *Siboglinidae* (*Oligobrachia haakonmosbiensis*). Наличие внутритканевых симбиотрофных метаноксиляющих бактерий, выявленных по особенностям строения внутриклеточных мембран, а также весьма легкий изотопный состав углерода органического вещества ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}} = -36.5\text{‰}$ ) убедительно доказывают ведущую роль процесса микробного окисления метана в питании симбиотрофных погонофор.

Известно, что тионовые и бесцветные серные бактерии («тиотрофные» бактерии) развиваются за счет окисления сульфида или серы кислородом и являются основой в микробных сообществах бактериальных матов холодных сипов [11]. Микробные маты на гидротермальных полях, грязевых вулканах, а также на холодных метановых сипах, как правило, образованы крупными нитчатыми бесцветными гаммапротеобактериями семейства *Beggiatoaceae*. Именно эти бактерии придают матам характерный рисунок, а также белый или светло серый оттенок. Не менее известны микробные маты, образованные нитчатыми сульфид-окисляющими бактериями, принадлежащими роду *Thiothrix*. Однако в образце микробного мата ПМС моря Лаптевых нитчатые бесцветные бактерии обнаружены не были.

В микробном сообществе осадков ПМС бактерии рода *Sulfurovum* составляют 5.9% и являются доминирующими представителями серного цикла. В составе того же сообщества нами показано наличие свободно живущих эпсилонпротеобактерий рода *Arcobacter* (2%), окисляющих восстановленные соединения серы и образующих хлопьевидный видимый налет на поверхности осадка ПМС. Известно, что бактерии рода *Arcobacter* могут служить основой рыхлых бактериальных матов на поверхности осадка. До сих пор такие маты были найдены только на поверхности донных отложений грязевых вулканов [11].

Геохимическим доказательством высокой активности анаэробного окисления метана было наличие аутигенных карбонатов. Изотопный состав углерода ОВ карбонатных корок был аномально легким  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}} = -44.5\text{‰} \dots -88.5\text{‰}$ ), что указывает на заметный вклад  $\text{CO}_2$ , образованной в процессе окисления метана [12]. Массовые находки карбонатных корок и конкреций имеют важное значение, поскольку аутигенные карбонаты служат биогеохимическим фильтром, уменьшающим поток метана из донных отложений в водную толщу и в атмосферу.

Экспедиционные исследования финансировались ФАНО (целевое финансирование на проведение морских экспедиционных исследований Арктики) [10]. Исследования активностей микробных процессов и состава микробных сообществ поддержаны грантом РНФ № 16-14-10201. Интерпретация данных частично выполнена в рамках Госзадания ИО РАН на 2015–2017 гг. по теме № 0149–2014–0026.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reeburgh, W. S. Oceanic methane biogeochemistry // Chem. Rev. 2007. V. 107. P. 486–513.
2. Pimenov N.V., Savvichev A.S., Rusanov I.I., Lein A.Yu., Ivanov M.V. Microbiological Processes of the Carbon and Sulfur Cycles at Cold Methane Seeps of the North Atlantic // Microbiology. 2000. V. 69. № 6. P. 709–721.
3. Parmentier F-J.W. et al. The impact of lower sea-ice extent on Arctic greenhouse-gas exchange // Nature Clim. Change. 2013. V. 3. P. 195–202.
4. Shakhova N., Semiletov I., Leifer I. et al. Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf // Nature Geoscience. 2014. V. 7. P. 64–70.
5. Boetius A., Ravenschlag K., Schubert C.J. et al. A marine microbial consortium apparently mediating anaerobic oxidation of methane. // Nature. 2000. V. 407 P. 623–626.
6. Knittel K., Boetius A. Anaerobic Oxidation of Methane: Progress with an Unknown Process // Annu Rev Microbiol. 2009. V. 63. P. 311–334.
7. Galkin S.V., Sahling H. Benthic communities associated with gas and fluid seepages in the Sea of Okhotsk / AAPG Pacific Section Annual Convention. Monterey, 1999. P. 29.
8. Levin L.A., Mendoza G.F., Gonzalez J.P. et al. Diversity of bathyal macrofauna on the northeastern Pacific margin: the influence of methane seeps and oxygen minimum zones // Mar. Ecol. 2010. V. 31. P. 94–110.
9. Gebruk A.V., Krylova E.M., Lein A.Yu. et al. Methane seep community of the Håakon Mosby mud volcano (the Norwegian Sea): composition and trophic aspects // Sarsia. 2003. V. 88(6). P. 394–403.
10. Flint M.V., Poyarkov S.G., Rimsky-Korsakov N.A. Ecosystems of the Russian Arctic-2015 (63<sup>d</sup> Cruise of the Research Vessel Akademik Mstislav Keldysh) // Oceanology. 2016. V. 56. № 3. P. 459–461.
11. Grunke S., Felden J., Lichtschlag A. et al. Niche differentiation among mat-forming, sulfide-oxidizing bacteria at cold seeps of the Nile Deep Sea Fan (Eastern Mediterranean Sea) // Geobiology. 2011. V. 9. P. 330–348.
12. Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Саввичев А.С. и др. Аутигенный Мг-кальцит на метановом полигоне в море Лаптевых // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 194–213.

An area of cold methane seeps at the bottom of the Laptev Sea was investigated. High rates of methane oxidation were revealed in the sediments and in the water column. Anaerobic methane oxidation carried out by the ANME consortium was coupled to sulfate reduction. Bacteria of the genera *Sulfurovum* and *Arcobacter* were the agents of the sulfur cycle. Methanotrophic activity was essential for development of symbiotrophic tubeworms of the upper sediment layers.

## **Савенко А.В., Савенко В.С.**

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, e-mail: Alla\_Savenko@rambler.ru)

### **Взаимодействие канкринита с морской водой (по данным экспериментального моделирования)**

## **Savenko A.V., Savenko V.S.**

(Moscow M.V. Lomonosov State University)

### **Interaction between cancrinite and seawater (by the data of experimental modeling)**

Ключевые слова: канкринит, терригенные силикаты, карбонатизация, морская вода, экспериментальное моделирование

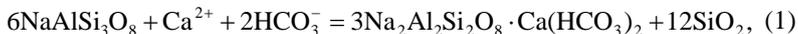
Экспериментально изучено взаимодействие канкринита  $3\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  с морской водой. Установлено, что этот процесс сопровождается снижением pH и концентраций кальция и магния при увеличении карбонатной щелочности и содержания калия и кремния. Полученные результаты косвенно подтверждают гипотезу о карбонатизации силикатов в морской воде.

Предположения о важной роли терригенных силикатов в формировании состава морской воды высказывались давно (см., например, [1]). Р. Гаррелс и Ф. Маккензи [2], исходя из гипотезы постоянства солевого состава морской воды и опираясь на термодинамические расчеты полей устойчивости силикатов в морской воде, предположили, что в океане идет “обратное выветривание”, противоположное процессу выветривания на суше. В последующих работах [3–6] было получено подтверждение этой гипотезы.

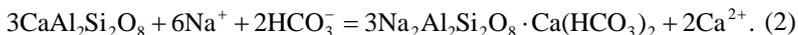
Сделанные Р. Гаррелсом и Ф. Маккензи выводы относятся к ситуации, когда силикат взаимодействует с бесконечно большим объемом морской воды. Такие условия реализуются в самых поверхностных слоях донных отложений, но на глубине нескольких метров массообмен с водной толщей становится пренебрежимо мал и процессы минералообразования протекают в условиях закрытой системы. По-видимому, с этим и низкой скоростью реакций связано отсутствие новообразованных полевых шпатов и слюд в морских осадках, где обнаруживаются аутигенные цеолиты. Цеолиты, по данным натурных наблюдений, характеризуют начальную стадию обратного выветривания, причем первым образуется филлипсит с атомным отношением  $\text{Si}/\text{Al} = 2$ , а впоследствии – клиноптилолит с более высоким атомным отношением  $\text{Si}/\text{Al} = 3$  [7], что соответствует направлению, противоположному процессу выветривания на суше, идущему с десилификацией и снижением отношения  $\text{Si}/\text{Al}$ .

Из рассмотрения геохимического баланса океана следует, что различные источники растворенного кальция в океане обеспечивают не более 1/3 кальция, необходимого для связывания автохтонного  $\text{CO}_2$  в  $\text{CaCO}_3$  [8].

Наиболее вероятное объяснение этого факта связано с участием в образовании  $\text{CaCO}_3$  силикатного кальция. В.И. Вернадский [9] отмечал, что одним из возможных продуктов трансформации силикатов в океане может быть кальциевый канкринит, образующийся в результате присоединения углекислоты к алюмосиликатам:  $3\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Замещение альбита канкринитом должно сопровождаться удалением из раствора карбонатов и кальция:



но при взаимодействии с анортитовой составляющей поглощение растворенных карбонатов идет с выделением в раствор кальция:



Реакция (2) соответствует эффектам, наблюдавшимся при взаимодействии морской воды с вулканическими пеплами [10] и песчано-глинистым материалом современных осадков [11]. Однако и в этом случае для выяснения механизма процесса необходимо проведение экспериментов с мономинеральными фракциями силикатов.

Нами было экспериментально изучено химическое взаимодействие мономинеральной фракции канкринита (Урал, Вишневые горы) с 35% искусственной морской водой, не содержащей бора. Исключение боратов из состава морской воды было вызвано стремлением избежать введения поправок при расчете содержания растворенных карбонатов по величине общей щелочности. Навески тонко растертого (~100 мкм) канкринита помещали в полипропиленовые пробирки, в которые затем добавляли одинаковые количества морской воды. Массовое отношение твердой фазы и морской воды варьировалось от 0.006 до 0.100. Герметично закрытые пробирки ежедневно по несколько часов перемешивали на шейкере при комнатной температуре в течение года, после чего раствор отфильтровывали через мембранный фильтр 0.22 мкм. В фильтрате и исходной морской воде измеряли величину pH с точностью  $\pm 0.005$  ед., а также содержание кремния колориметрическим методом с молибдатом аммония и компонентов основного солевого состава методом капиллярного электрофореза, за исключением щелочности (Alk), которую определяли ацидиметрическим титрованием, с относительной погрешностью  $\pm 3\%$ .

Результаты опытов представлены в таблице. Концентрации натрия, хлоридов и сульфатов оставались неизменными во всем диапазоне массового отношения твердая фаза : раствор, что свидетельствует об отсутствии или крайне малой величине гидратации твердой фазы. Содержание кальция и магния с ростом массового отношения твердая фаза : раствор снижалось, кислотность морской воды незначительно повышалась, а концентрации калия, кремния и величина щелочности увеличивались. Важно отметить, что при увеличении массы навески твердой фазы концентрации кальция, магния, калия и кремния асимптотически приближались к постоянным

значениям (рисунок), что может рассматриваться как свидетельство установления равновесия с твердой фазой, имеющей состав исходного канкринита.

Таблица. Изменение химического состава морской воды при взаимодействии с канкринитом

$m_{\text{тв. фазы}},$ г/л	рН	Alk, мг- экв/л	Концентрации в растворе, мг/л						
			SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na	K	Si
0	8.00	2.49	2792	19380	422	1330	10980	401	0.14
6.25	8.00	2.55	2788	19371	414	1325	10963	403	1.90
12.5	7.99	2.62	2791	19362	410	1322	10937	406	2.00
25	7.98	2.73	2796	19369	400	1320	10993	409	2.08
50	7.95	2.97	2798	19382	392	1317	10949	410	2.08
100	7.92	3.33	2790	19367	392	1315	10998	410	2.08

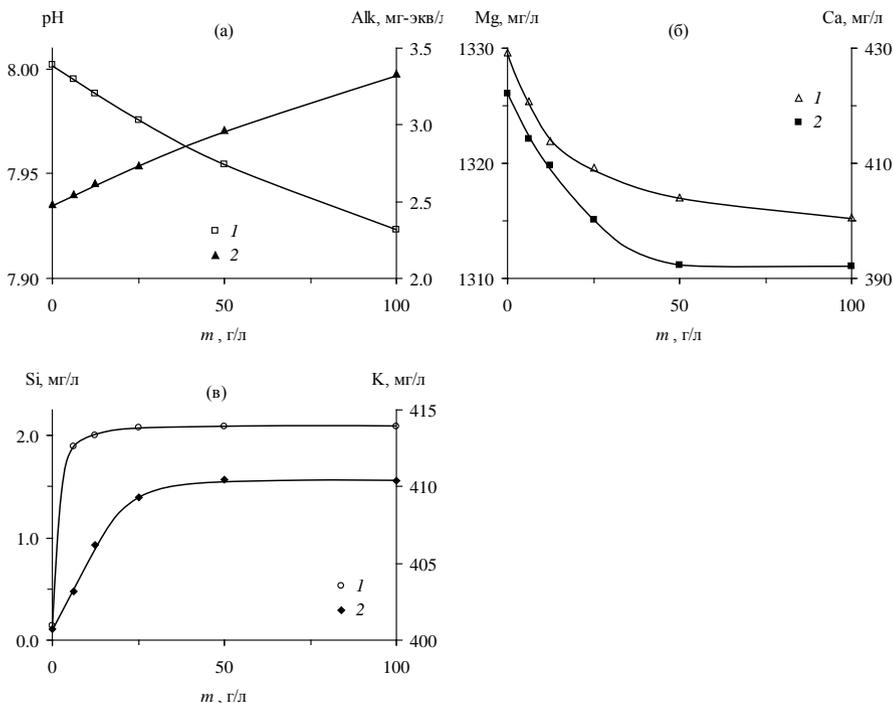


Рисунок. Изменение концентраций растворенных компонентов при взаимодействии морской воды с канкринитом: (а) величины рН (1) и щелочности (2); (б) содержание магния (1) и кальция (2); (в) содержание кремния (1) и калия (2).

Растворение канкринита в морской воде соответствует реакции (2) замещения плагиоклазов канкринитом, идущей в обратном направлении. Для бикарбонатного компонента твердой фазы можно записать:



Результаты экспериментов согласуются с этой схемой: происходит поглощение растворенного кальция и выделение ионов  $\text{H}^+$  (снижение величины рН) и  $\text{HCO}_3^-$  (увеличение щелочности). Поглощение из морской воды растворенного магния, по-видимому, связано с образованием не чистого карбоната кальция, а магнизального кальцита или доломита. Увеличение концентраций кремния и калия вызвано, скорее всего, их переходом из твердой фазы в растворенное состояние в силу исходной недосыщенности морской воды по этим компонентам. Полученные данные косвенно подтверждает гипотезу о карбонатизации силикатов в океане.

Авторы благодарят П.Ю. Плечова и М.Е. Генералова (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН), предоставивших образец канкринита.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пустовалов Л.В. Петрография осадочных пород. Ч. 1. М.-Л., 1940. 476 с.
2. Гаррелс Р., Маккензи Ф. Эволюция осадочных пород. М.: Мир, 1972. 272 с.
3. Mackenzie F.T., Garrels R.M. Silicates: Reactivity with sea water // Science. 1965. V. 150. № 3692. P. 57–58.
4. Mackenzie F.T., Ristvet B.L., Thorstenson D.C., Lerman A., Leeper R.H. Reverse weathering and chemical mass balance in a coastal environment // River Inputs to Ocean Systems. Switzerland: UNEP–UNESCO, 1981. P. 152–187.
5. Sahu K.C. Geochemical modeling for sea-bed mineral formation – A proposal // Proc. Indian Nat. Sci. Acad. 1986. V. A52. № 2. P. 558–564.
6. Mackin J.E., Swider K.T. Modeling the dissolution behavior of standard clays in seawater // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1987. V. 51. № 11. P. 2947–2964.
7. Сендеров Э.Э., Петрова В.В. Современное состояние проблемы природных цеолитов // Итоги науки и техники. Сер. Неметаллические полезные ископаемые. Т. 8. М.: ВИНТИ, 1990. 142 с.
8. Савенко В.С. О возможном геохимическом механизме сопряжения циклов углерода и кальция в океане // Океанология. 2012. Т. 52. № 2. С. 210–212.
9. Вернадский В.И. Очерки геохимии // Избранные сочинения. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 5–392.
10. Савенко А.В., Савенко В.С. Терригенная пирокластика как источник растворенного кальция в океане // Океанология. 2012. Т. 52. № 5. С. 668–674.
11. Савенко А.В., Савенко В.С. Материковый сток твердых веществ как источник растворенного кальция в океане // Океанология. 2014. Т. 54. № 4.

C. 484–489.

The interaction between cancrinite  $3\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  and seawater was experimentally studied. It was established that this process is followed by the decrease of pH and concentration of calcium and magnesium at the increase of carbonate alkalinity and content of potassium and silicon. The obtained results indirectly confirm a hypothesis about silicates carbonatization in seawater.

## **Саттарова В.В., Аксентов К.И.**

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, e-mail: sv\_8005@mail.ru).

### **Особенности распределения ртути в донных осадках северо-западной Пацифики**

**Sattarova V.V., Aksentov K.I.**

(V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok)

### **Features of mercury distributions in sediments of the North Pacific Ocean**

Ключевые слова: донные осадки, ртуть, Курильская котловина, Курило-Камчатский желоб, Берингово море

Были проведены определения ртути в донных осадках, отобранных в северо-западной части Тихого океана. Диапазон общих концентраций Hg в осадках составил 19–158 мкг/кг, среднее – 77 мкг/кг ( $n = 50$ ). В пространственном распределении ртути наблюдается концентрирование ее в глинистых отложениях, обогащенных органическим веществом и остатками диатомовых микроводорослей. Значения коэффициента обогащения находятся в пределах 0.3–4.3. Для большинства образцов значения EF, как правило, более 1, что указывает на то, что обогащение было связано с биогеохимическими процессами.

В последние годы интерес к поведению ртути в геологической среде значительно вырос в связи с широким распространением этого элемента в лито-, гидро- и атмосфере. Изучение процесса распределения и миграции ртути в окружающей среде является важным из-за ее высокой токсичности [1, 2]. Значительные объемы ртути попадают в океан и транспортируются течениями [3]. Конечной точкой миграции ртути являются донные отложения. Несмотря на значительное количество литературных данных по этому вопросу, поведение ртути и многие механизмы трансформации и распространения, действующие в природных водных объектах, остаются все еще слабо изученными.

В данной работе рассматриваются уровни концентрации ртути, ее распределение и характеристики накопления в донных отложениях северо-западной части Тихого океана.

Материалом для исследования послужили образцы поверхностных осадков, отобранных в международных экспедициях на абиссальной равнине, прилегающей к Курило-Камчатскому желобу (проект KuramBio, НИС «Sonne», 2012), в Курильской котловине Охотского моря (проект SokhoBio, НИС «Академик М.А.Лаврентьев», 2015), в Курило-Камчатском желобе (проект KuramBio II, НИС «Sonne», 2016) и в Беринговом море (НИС «Академик М.А.Лаврентьев», 2011, 2013). Общий химический анализ выполнялся методами ИСП-МС и ИСП-АЭС. Определения ртути были

выполнены на современном ртутном аналитическом комплексе, в составе которого входят атомно-абсорбционный спектрометр РА-915+ и пиролизная приставка ПИРО-915+ для термической деструкции пробы (ООО «Люмэкс», Россия). Контроль качества осуществлялся путем анализа стандартных образцов морских отложений HISS-1, MESS-4 и PACS-3. Обработка данных химического анализа проводилась методами математической статистики с помощью программы “STATISTICA 8.0”.

Концентрации ртути в исследуемых районах варьируют от 19 до 158 нг/г (рис. 1). Среднее содержание Hg в поверхностных осадках составляет 88 нг/г в Курильской котловине (n = 13), 76 нг/г в Курило-Камчатском желобе (n = 32) и 55 нг/г в Беринговом море (n = 5).

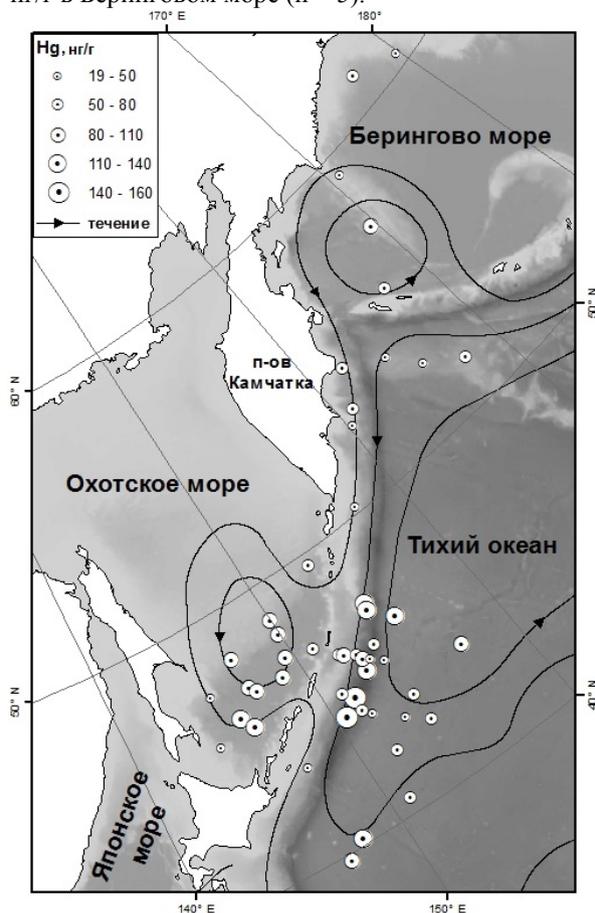


Рисунок 1. Карта районов исследования и содержание ртути в донных осадках.

Значения органического углерода варьируют от 0.84 до 1.92% в Курильской котловине и от 0.70 до 1.92% в Беринговом море. В районе Курило-Камчатского желоба значения  $C_{орг}$  составляют от 0.57 до 1.55%. Сравнивая районы исследования по среднему содержанию химических элементов, можно отметить, что осадки Курильской котловины характеризуются повышенным содержанием Mn, Mo, Ni, Li, Pb, Rb, Cs и Th; осадки Берингова моря отличаются повышенным содержанием  $C_{орг}$ , Si, K, Ti, Sr, Zn и U; а осадки со станций, расположенных в районе Курило-Камчатского желоба и прилегающей к нему абиссальной равнины – повышенными концентрациями Al, Fe, Ca, Mg, Ba, Co, Cu, Y и Zr.

Согласно результатам кластерного анализа ртуть входит в ассоциацию с органическим углеродом и глинистой фракцией (рис. 2). Органическое вещество, скорее всего, выступает в качестве сорбента, участвующего в образовании органокомплексов. Наши результаты хорошо согласуются с [3–6], которые показали, что концентрации Hg в морских осадках хорошо коррелируют с содержанием  $C_{орг}$ . Наибольшее метилирование в океанской толще воды происходит в зоне термоклина, вследствие этого она переходит в более биодоступную форму и концентрируется в фито- и зоопланктоне [3, 7]. После отмирания, детрит, обогащенный ртутью, опускается на дно согласно литодинамической ситуации. Чем больше остатков планктона поступает на дно, тем больше концентрация ртути в донных осадках этих мест.

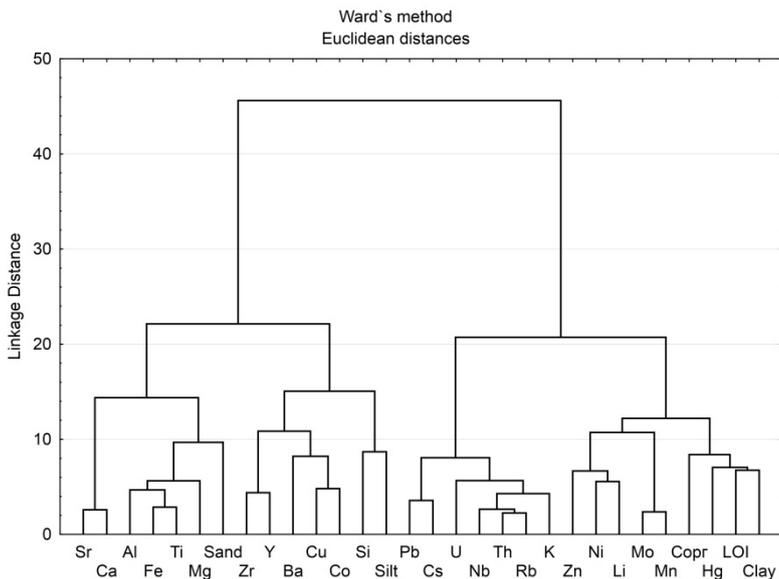


Рисунок 2. Дендрограмма кластерного анализа для донных осадков

Для оценки состояния загрязнения морской среды часто используется коэффициент обогащения (ЕF). Значения EF на станциях варьируются от 0.3 до 4.3. Значение EF в пределах 1 указывает на преобладание природного происхождения элемента в осадке, тогда как значения, превышающие 1.5, указывают на обогащение либо естественными (например, вкладом биоты), либо антропогенными процессами [8].

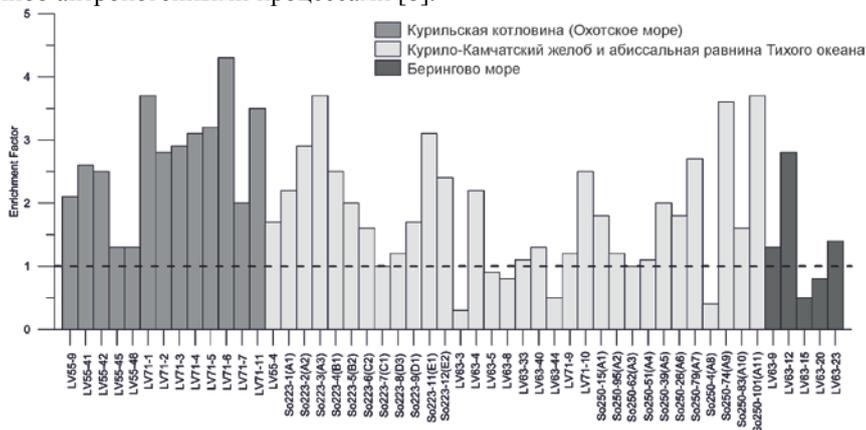


Рисунок 3. Факторы обогащения для ртути в поверхностных осадках.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ (проект № 16-04-01431-а) и ДВО РАН (проекты № 15-I-1-005о).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fitzgerald W.F., Lamborg C.H., Hammerschmidt C.R. Marine biogeochemical cycling of mercury // *Chem. Rev.* 2007. V. 107. P. 641–662.
2. Schuster P.F., Krabbenhoft D.P., Naftz D.L., Cecil L.D., Olson M.L., Dewild J.F., Susong D.D., Green J.R., Abbott M.L. Atmospheric mercury deposition during the last 270 years: a glacial ice core record of natural and anthropogenic sources // *Environ. Sci. Technol.* 2002. V. 36. P. 2303–2310.
3. Sunderland E.M., Krabbenhoft D.P., Moreau J.W., Strode S. a., Landing W.M. Mercury sources, distribution, and bioavailability in the North Pacific Ocean: Insights from data and models // *Glob. Biogeochem. Cycles.* 2009. V. 23. GB2010.
4. Hammerschmidt C.R., Fitzgerald W.F. Geochemical controls on the production and distribution of methylmercury in near-shore marine sediments // *Environ. Sci. Technol.* 2004. V. 38. P. 1487-1495.
5. Liu W., Hu L., Lin T., Li Y., Guo Z. Distribution and mass inventory of mercury in sediment from the Yangtze River estuarine-inner shelf of the East China Sea // *Cont. Shelf Res.* 2017. V. 132. P. 29–37.
6. Shi J.B., Liang L.N., Yuan C.G., He B., Jiang G.B. Methylmercury and total

mercury in sediments collected from the East China Sea // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2005. V. 74. P. 980–987.

7. Gosnell K.J., Mason R.P. Mercury and methylmercury incidence and bioaccumulation in plankton from the central Pacific Ocean // *Mar. Chem.* 2015. V. 177. P. 772–780.

8. Zhang J., Liu C.L. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China-weathering feature, anthropogenic impact and chemical fluxes // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2002. V.54. P. 1051–1070.

Mercury concentrations in surface sediments collected from the Northwestern Pacific were analyzed. The range of total Hg concentrations in sediments was 19-158  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , with a mean of 77  $\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $n = 50$ ). The high mercury concentrations were observed in clayey sediments, which are enriched in organic matter and the remains of silicate microalgae. EF values of the most samples were generally more than 1, indicating that enrichment was by biogeochemical processes.

**Семенов П.Б.<sup>1</sup>, Крылов А.А.<sup>2</sup>, Ванштейн Б.Г.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового Океана им. И.С. Грамберга», Санкт-Петербург, e-mail: [petchorsem@gmail.com](mailto:petchorsem@gmail.com), <sup>2</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет, Институт Наук, Санкт-Петербург)

**Геохимические особенности миграции метана при деградации субаквальной мерзлоты (на примере приямальской части южнокарского шельфа)**

**Semenov P.B.<sup>1</sup>, Krylov A.A.<sup>2</sup>, Vanshtein B.G.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>The All-Russia Scientific research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean named after I.S. Gramberg», Saint-Petersburg, e-mail: [petchorsem@gmail.com](mailto:petchorsem@gmail.com),

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences)

**Geochemical features of methane migration due to submarine permafrost degradation (on the example of the Yamal shelf of the South Kara shelf)**

Ключевые слова: Метан, морские осадки, поровая вода, деградация субаквальной мерзлоты, стабильные изотопы, Карское море

Геохимические особенности раннего диагенеза в разрезе приповерхностных донных осадков приямальского шельфа Карского моря демонстрируют признаки транспортировки растворенного метана восходящим флюидом пресной воды. Изотопный состав метана свидетельствует о возможной связи миграционного процесса с восходящим флюидом талой воды субаквальной мерзлоты. Транспортируемый метан полностью окисляется бактериями в верхнем анаэробном слое осадков.

Восходящая миграция «флюидов» метана и талой воды к поверхности морского дна осуществляется за счет процессов конвекции и диффузии, а относительный вклад каждого из этих процессов определяется проницаемостью пород [1]. При миграции метан может находиться в растворенной форме в поровой воде или в виде отдельных пузырьков. Геохимические аспекты эмиссии метана, вызванной деградацией прибрежной субаквальной мерзлоты на акватории Карского моря, представляют особый интерес вследствие их сравнительно малой изученности. В тоже время по данным А.А. Васильева с соавторами [2] залежи пластового льда в районе полярной станции Марре-Сале на побережье Западного Ямала представляют собой значимый резервуар иммобилизованного метана. Следует полагать, что и субаквальная мерзлота приямальского шельфа аккумулирует метан. На прибрежных мелководьях, метан, скопившийся под подошвой мерзлоты в виде свободного газа, мигрирует через сквозные талики и оттаивания осадков в кровле мерзлоты в виде пузырьков. В данном случае метан не успевает перейти в доступную

для анаэробного окисления метана (АОМ) растворенную форму, а высокая проницаемость осадков обеспечивает возможность адвекции пузырьков с последующей разгрузкой в водную толщу и атмосферу [3]. Растворенный метан, мигрирующий путем диффузии, может быть полностью уничтожен АОМ непосредственно в пределах фронта протаивания, о чем свидетельствуют недавние работы по мерзлоте моря Лаптевых [4].

Цель исследований – установить геохимические особенности миграции метана в зоне локальной газонасыщенности, связанной с деградацией субаквальной мерзлоты, на примере приямальской части южнокарского шельфа.

Основой исследований являются материалы, полученные в ходе экспедиционных работ ФГУП «ВНИИОкеангеология» в августе-сентябре 2012 г., в рамках проведения комплексной газогеохимической съемки по сейсмическим профилям 2D с опережающим сейсмоакустическим профилированием на приямальской части южнокарского шельфа.

По результатам сейсмоакустического профилирования на акватории приямальской части южнокарского шельфа было выявлено большое количество амплитудных аномалий в верхней части осадочного чехла, связанных с присутствием субаквальной мерзлоты и наличием газовых эманаций. Наибольший интерес представляет участок с амплитудной аномалией в центральной части района работ. Здесь установлена вертикальная зона потери корреляции сигнала, секущая субгоризонтальные сейсмические рефлекторы, которая связана с присутствием газовых эманаций. Ширина и глубина аномалии составляют около 120 м и 20 м соответственно. Аномалия четко прослеживается до поверхности морского дна на глубине моря 45м. В центральной части аномалии была выполнена станция геологического опробования, мощность вскрытого разреза которой составила 110 см. В извлеченном керне было опробовано 7 интервалов, характеризующихся различными литологическими разностями.

Визуальный осмотр керна не выявил ожидаемых признаков дегазации осадка в результате декомпрессии, что могло выражаться в присутствии в осадке отдельных округлых пустот. При этом на глубине 110 см концентрация метана оставляет 724 мМ, что в 158 раз превышает его среднее значение в интервале 90–110 см (4.58 мМ), рассчитанное для 126 станций опробования, выполненных в ходе геолого-съемочных и геофизических работ в пределах листов R-41, 42 [5]. Максимальное значение концентрации метана, наблюдаемое в донных осадках колонки, существенно меньше предела растворимости для условий *in situ*, определяющего концентрацию раствора метана, уравновешенного свободной газовой фазой [6]. Следовательно, метан в изученных осадках присутствовал *in situ* только в растворенной форме.

В верхнем части колонки донных осадков в интервале 5 см концентрация метана составляет 0.85 мМ, что более чем в два раза выше его

средней концентрации 0.38 мМ, в соответствующем интервале по данным региональных съемочных работ [5].

Отдельного внимания заслуживает распределение концентрации хлорида-иона, поскольку этот анион не участвует в постседиментационных биогеохимических процессах и не подвержен сорбции матрицей осадка, изменение его вертикального распределения в осадках может быть связано только с изменением состава поровых вод. Нисходящий градиент хлорида вниз по разрезу колонки донных осадков свидетельствует о влиянии потока более пресной воды.

Восходящая миграция растворенного метана и разгрузка пресной воды в изучаемом разрезе могут быть следствием независимых процессов, однако нельзя исключить возможность их изначальной взаимосвязи. С этой позиции интерес представляют данные по изотопному составу метана. На рисунке представлена CD диаграмма, построенная на основе многих данных

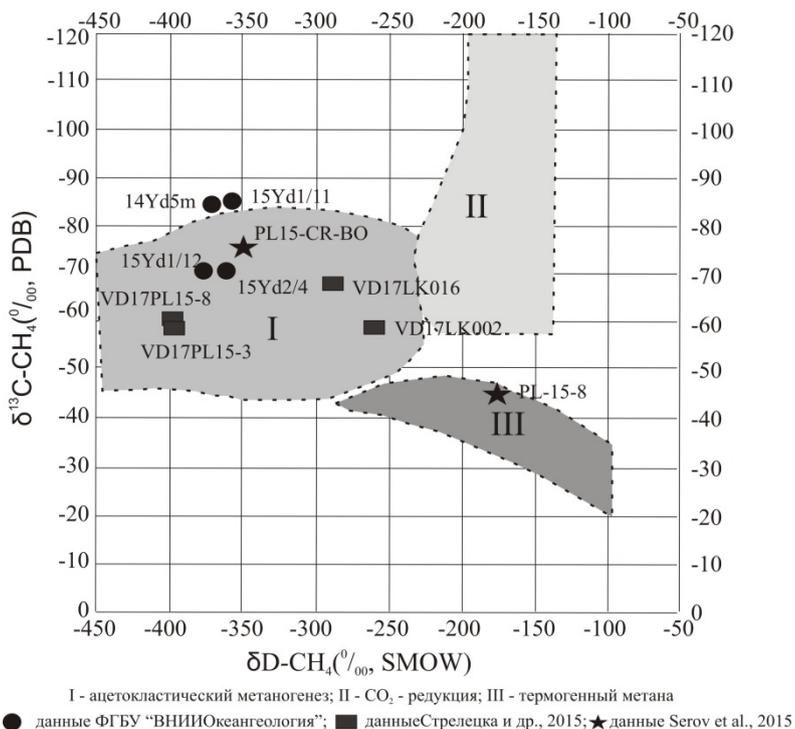


Рисунок. Диаграмма  $\delta^{13}C$  и D в метане газовой фазы современных отложений различных участков Карского моря

и позволяющая графически идентифицировать метан различного

происхождения по значениям  $\delta C^{13}$  и  $\delta D$  [7]. На приводимой диаграмме сопоставляются данные, характеризующие три различных источника микробного метана в исследуемом районе: в анализируемых осадках, подземный лед полярной станции Марре-Сале на западном побережье Ямала [2] и в осадках пингоподобной структуры (PLF-2) вблизи восточной границы Приновоземельского желоба [8]. Как видно из рисунка отмечается сходство метана анализируемых осадков с метаном подземных льдов в районе Марре-Сале по значениям  $\delta D$  (от  $-296$  до  $-281\text{‰}$ ), что свидетельствует о существенной роли ацетокластического метаногенеза, обычно преобладающего в континентальных условиях, где поровые воды почв и осадков не обогащены сульфатом. Значимая доля примеси метана континентального происхождения может служить косвенным подтверждением взаимосвязи мигрирующего флюида с деградирующей мерзлотой, изначально образовавшейся на суше. Значения  $\delta C^{13}$ , определяющие локализацию метана исследуемых осадков в транзитной области CD диаграммы, вероятно, отражают закономерный вклад метана, образовавшегося из реликтового ОВ деградирующей мерзлоты. Необходимо подчеркнуть, что в осадках прибрежных морских акваторий роль ацетатного метаногенеза может быть относительно высока. Однако геомикробиологические исследования в Карском море свидетельствуют о повсеместном преобладании водородного метаногенеза, что обусловлено как низкой концентрацией ацетата в поровых водах осадков, так и высокой концентрацией бикарбоната в холодных арктических водах [9].

Основываясь на приведенные выше данные, можно предположить, что геохимические особенности анализируемых осадков обусловлены восходящей миграцией пресной воды, содержащей существенное количество растворенного метана, высвобожденного в ходе деградации субаквальной мерзлоты. В пользу последнего свидетельствует с одной стороны расположение станции вблизи внешней границы распространения стабильной субаквальной мерзлоты, а с другой - геоморфологические особенности района исследований, для которого характерен плоский рельеф прибрежной равнины. Плоский рельеф на побережье западного Ямала в силу отсутствия перепада высот не создает условий для гидравлического транспорта грунтовых вод (часто насыщенных почвенным метаном) в осадки прибрежных морских акваторий, удаленных от берега [10].

Миграция распресненной воды к поверхности морского дна может происходить в силу плотностной конвекция, обусловленной высвобождением менее плотной пресной воды деградирующей субаквальной мерзлотой. Разгрузка талых вод в результате деградации субаквальной мерзлоты в виде подводных флюидов была зафиксирована и количественно охарактеризована в недавних исследованиях прибрежной зоны Бофорта [11].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Santos I.R., Eyre B.D and Huettel M. B. D. The driving forces of porewater and groundwater flow in permeable coastal sediments: A review// *Estuar. coast. Shelf Sci.* 2011. V. 98. P. 1–15
2. Васильев А.А., Стрелецкая И.Д., Мельников В.П., Облогов Г.Е. Метан в подземных льдах и мерзлых четвертичных отложениях Западного Ямала // *ДАН.* 2015. Т. 465. № 5. С. 604–607
3. Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A. et al. Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf // *Science.* 2010. V. 327(5970). P. 1246–1250.
4. Overduin P.P., Liebner S., Knoblauch C. et al. Methane oxidation following submarine permafrost degradation: Measurements from a central Laptev Seashelf borehole // *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 2015. V. 120. P. 965–978.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист R-41-Амдерма. Объяснительная записка. Санкт-Петербург. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 383 с.
6. Yamamoto S., Alcauskas J.B., Crozier T.E. Solubility of methane in distilled water and seawater // *J. Chem. Eng. Data.* 1976. V. 21. P. 78–80.
7. Whiticar M. J. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane // *Chemical Geology.* 1999. V. 161(1). P. 291-314.
8. Serov P., Portnov A., Mienert Ju. et al. Methane release from pingo-like features across the South Kara Sea shelf, an area of thawing offshore permafrost // *Journal of Geophysical Research – Earth Surface.* 2015. V. 120 (8). P. 1515–1529.
9. Леин А.Ю., Иванов М.В. Биохимический цикл метана в океане М.: *Наук*, 2009. 576 с.
10. Bugna G.C., Chanton J.P., Cable J.E. et al. The importance of groundwater discharge to the methane budgets of nearshore and continental shelf waters of the northeastern Gulf of Mexico // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 1996. V. 60. P. 4735–4746.
11. Dimova, N., Paytan A., Kessler J.D. et al. Current Magnitude and Mechanisms of Groundwater Discharge in the Arctic: Case Study from Alaska // *Environmental Science and Technologies.* 2015. V. 49(20). P. 12036–12043.

Geochemical features of early diagenesis in the upper sediments of Yamal shelf (Kara Sea) are likely to reveal dissolved methane transport by upward brackish water migration. Methane isotopic composition in the surface sediments is indicating convection ascent of thaw water from subsea permafrost. The transported methane is totally consumed by bacterial oxidation in the upper anoxic sediments.

**Силкин В.А., Паутова Л.А., Востоков С.В., Часовников В.К.**  
(Институт океанологии РАН, Москва, e-mail: vsilkin@mail.ru,)

## **Биогеохимический статус водной массы и его индикаторы**

**Silkin V.A., Pautova L.A., Vostokov S.V., Chasovnikov V.K.**

(Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

## **Biogeochemical status of the water mass and its indicators**

Ключевые слова: биогеохимический статус, фитопланктон, Черное море, диатомеи, кокколитофориды, азот, фосфор

Биогеохимические процессы в северо-восточной части Черного моря в соответствии с экологической стехиометрией делятся на три типа: 1. N:P близко к соотношению Редфилда (весеннее цветение мелкоклеточных диатомей); 2. N:P значительно меньше соотношения Редфилда (цветение кокколитофориды *Emiliania huxleyi* в конце весны и начале лета); 3. N:P значительно больше соотношения Редфилда (цветение крупноклеточных диатомей летом и осенью).

Сезонные изменения факторов среды приводят к сдвигу биогеохимических процессов в экосистеме. При этом структура фитопланктонного сообщества является индикатором этих изменений, и доминантные виды отражают превалирование того или иного типа биогеохимических процессов. В результате многолетних исследований в северо-восточной части Черного моря выделена генеральная схема смены доминант, которая может быть представлена в виде:

Мелкие диатомеи (весна) – кокколитофориды (конец весны, начало лета) – крупные диатомеи (лето и осень).

Функциональная роль этих доминант различна и она определяет характер биогеохимических процессов в каждый сезон. Для развития мелких диатомей (в основном представители рода *Pseudo-nitzschia*) характерны высокие концентрации азота (1.44 мкм), фосфора (0.12 мкм) и кремния (3.61 мкм). Отношение азота к фосфору близко к соотношению Редфилда (13.2). Удельная скорость роста этих диатомей высока и соответственно интенсивность биогеохимических процессов максимальна за весь период сезонных изменений. Фенология цветений мелких диатомей может иметь межгодовую изменчивость, но обычно они происходят со второй половины февраля до конца марта.

С конца мая до середины июня практически ежегодно наблюдается доминирование кокколитофорид (*Emiliania huxleyi*), а при цветениях доля кокколитофорид может составлять более 90% от общей биомассы. Концентрация азота минимальна, а фосфора и кремния максимальна в течение годового цикла (N=0.80 мкм P=0.27 мкм). Соответственно, соотношение азота и фосфора (N:P = 2.96) намного меньше соотношения Редфилда. Удельная скорость роста кокколитофорид невелика по сравнению с мелкими диатомеями, биомасса обычно не превышает 1 г/м<sup>3</sup> и

интенсивность биогеохимических процессов значительно ниже весенних цветений.

Обычно со второй половины июня наступает смена лидирующего комплекса, в экосистеме доминируют крупные диатомеи (*Proboscia alata* и *Pseudosolenia calcar-avis*). Концентрация кремния интенсивно снижается (до 1.27 мкМ), а азота возрастает (до 3.05 мкМ). При абсолютном доминировании крупных диатомей (более 90% от общей биомассы) концентрация фосфора приближается к нулю ( $P=0.021$  мкМ). Соответственно, отношение азота к фосфору намного ( $N:P>100$ ) превышает соотношение Редфилда. Удельная скорость роста крупных диатомей ниже, чем у диатомей и кокколитофорид, а биомасса высока (до 4 г/м<sup>3</sup>) и интенсивность биогеохимических процессов может быть высокой.

Таким образом, биогеохимические процессы в северо-восточной части Черного моря в соответствии с экологической стехиометрией делятся на три типа: 1. N:P близко к соотношению Редфилда (весеннее цветение мелкоклеточных диатомей); 2. N:P значительно меньше соотношения Редфилда (цветение кокколитофориды *Emiliania huxleyi* в конце весны и начале лета); 3. N:P значительно больше соотношения Редфилда (цветение крупноклеточных диатомей летом и осенью).

Biogeochemical processes in the northeastern part of the Black Sea in accordance with ecological stoichiometry are divided into three types: 1. N:P is close to the Redfield ratio (spring bloom of small-cell diatoms); 2. N:P significantly less than the Redfield ratio (bloom of coccolithophorid *Emiliania huxleyi* in late spring and early summer); 3. N:P is much larger than the Redfield ratio (bloom of large cell diatoms in summer and autumn).

## **Титова К.В., Кокрятская Н.М., Жибарева Т.А.**

(Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail: ksyu\_sev@mail.ru)

### **Сульфатредукция в донных отложениях озера Белое (Архангельская область)**

## **Titova X.V., Kokryatskaya N.M., Zhibareva T.A.**

(N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk)

### **Sulphate reduction in bottom sediments of Lake Beloe (Arkhangelsk Region)**

Ключевые слова: соединения серы, донные отложения, пресноводные озера, Архангельская область

В работе исследовалась сульфатредукция в донных отложениях пресноводного озера Белое (Архангельская область). Распределение форм восстановленной серы свидетельствует об активности процесса и некотором сходстве его протекания с морскими осадками.

Серa является одним из основных элементов-индикаторов окислительно-восстановительных процессов диагенеза донных отложений. В поверхностных средах наиболее устойчивой формой серы является сульфат-ион [1]. Озерная среда остается не до конца изученной для локальной или глобальной моделей цикла серы [2]. Высокая биологическая продуктивность может являться причиной попадания на дно значительной массы органического вещества. Это в свою очередь вызывает повышенную продуктивность бентосного сообщества и интенсивные микробиологические процессы на поверхности дна и в толще отложений. Бактериальное сообщество аэробных организмов-гетеротрофов в осадках создает дефицит кислорода в самых верхних слоях отложений, и в осадках начинаются и развиваются процессы диагенеза восстановительного типа. Одним из таковых процессов является бактериальное восстановление сульфатов с образованием сероводорода [1]. Важность бактериальной сульфатредукции в минерализации органического вещества в морских отложениях доказана [1, 3–5]. Однако, немногочисленны исследования данного процесса в пресноводных экосистемах, что обусловлено небольшими концентрациями сульфатов в них. Несмотря на порой низкое содержание растворенного сульфата, в пресноводных озерах происходит достаточно интенсивно круговорот серы [6]. Кроме того, соединения восстановленной серы (обычно встречаются в водоемах, в осадках которых развиваются анаэробные условия во время периодов термической стратификации) оказывают воздействие на физико-химические условия в водоеме, которые, в свою очередь, влияют как на геохимические циклы, так и на деятельность живых организмов [7]. Среди многих факторов,

влияющих на процесс сульфатредукции, и на характер накопления восстановленных соединений серы, можно выделить основные [1, 8]: содержание сульфатов и количество органического вещества и его качественный состав.

Целью настоящего исследования было изучение протекания процесса сульфатредукции в донных отложениях, отобранных в меженные периоды одного года, малого пресноводного озера Белое (Архангельская область) на основании данных по распределению форм серы.

Выбор станций отбора проб донных осадков обусловлен морфометрическими особенностями рассматриваемого озера. Отбор осуществлялся на самом глубоководном участке (2.5 м) данного водоема в периоды зимней (март) и летней (июль) стратификации. Образцы донных осадков отобраны в соответствии с установленными требованиями [9] ударной грунтовой трубкой с дискретностью 5 см. Определение содержания форм серы в донных отложениях проводилось по методике [10], а количества органического углерода – на С,Н,N-анализаторе фирмы «Hewlett-Packard».

Отобранные донные отложения (ДО) представляли собой темно-коричневые илы. Влажность осадков в среднем составляла 87%, изменялась от 93–94% в поверхностных слоях до 79–84% в толще отложений (максимальная глубина отбор 50 см).

Суммарное содержание сульфатной серы в донных отложениях озера Белое составляло 1.73% (здесь и далее в расчете на сухое вещество осадков), изменяясь в интервале преимущественных концентраций от 1.02 до 2.52%. Максимальные количества сульфатной серы отмечены для поверхностных горизонтов осадков в зимний и летний периоды, наибольшее из них – 3.70%. В толще отложений зафиксировано немонокотное снижение количеств сульфатной серы, минимальное – 0.62%. Для сравнения добавим, что концентрации сульфатов в донных отложениях озера Святое (расположено в нескольких километрах от исследуемого водоема) составляло в среднем 0.22 % [11], максимально – 1.56%; для озера Масельгское, расположенного так же, как и озеро Белое, в зоне средней тайги (Кенозерский национальный парк, Архангельская область) – 0.19 %, максимально – 0.70% [12], для озера Байкал 0.02 %, максимально – 0.04 % [13]. Таким образом, в донных отложениях озера Белое содержание сульфатной серы значительно, больше, чем в донных осадках указанных пресноводных озер. Для них же отмечены низкие количества сульфатов или их исчерпание уже в поверхностных отложениях [8, 12, 13].

Содержание сульфатов в жидкой фазе отложений составляло в среднем 3200 мг/л (1067 мг/л в пересчете на серу) или 33 мМ, изменяясь от 2300 до 4400 мг/л. Причем эта величина, несколько варьируя по слоям отложений, в толще осадков не снижается, а в зимний период даже немного увеличивается на 500 мг/л по сравнению с поверхностными горизонтами,

достигая значения в 3100 мг/л или 32 мМ. В летний период иловая вода отложений содержит в среднем в 1.5 раза больше сульфатов, чем зимой. Эти величины значительно выше пороговых концентраций, которые выявлены для осадков пресных водоемов от 8 до 40 мкМ [8] и концентраций сульфатов в иловой воде других пресноводных озер: для осадков озера Байкал – 0.03–6.90 мг/л [14], для озер литовских национальных парков – 40–215 мг/л [15]. В работе [16] показано, что сульфатредукция в пресноводных отложениях с концентрациями  $\text{SO}_4^{2-}$  от 60 до 105 мкМ ограничена наличием доноров электронов (ОВ), а не наличием акцепторов (сульфаты).

Среднее содержание органического вещества (ОВ) (выраженное через  $C_{\text{орг}}$ ) составляло 9,76 % (здесь и далее в расчете на сухое вещество осадков), изменяясь в интервале преимущественных значений от 5.20 до 14.05%. Летний период характеризовался бóльшим содержанием в донных отложениях  $C_{\text{орг}}$  – 11.09%, что в 1.2 раза выше, чем в марте. Максимальные количества ОВ содержались в подповерхностном горизонте как в марте (20.18%), так и в июле (19.7 %). По мере продвижения в толщу отложений количества  $C_{\text{орг}}$  заметно снижались (по отношению к поверхностным слоям осадков) в 2 раза зимой и 3.3 раза летом, что свидетельствует о протекавших в ДО процессах минерализации ОВ. Отношение C/N в поверхностном слое отложений в зимний период было 11, в летний период – 8. Эти значения подтверждают и долей лабильного  $C_{\text{орг}}$ , которая составляла в марте 35% от общего его количества и 56% в июле. В толще отложений отношение C/N увеличивалась, но не монотонно, проходя через меньшие значения в срединных слоях (особенно это явно выражено в зимний период) и увеличиваясь к нижним горизонтам донных отложений.

Таким образом, все предпосылки для протекания сульфатредукции в донных отложениях созданы (исходя из содержания сульфатов и ОВ и его качественного состава, эти факторы не должны лимитировать данный процесс). Рассмотрим вертикальное распределение форм серы в осадках.

Соединения восстановленной серы ( $\sum S_{\text{H}_2\text{S}}$ ) – продукты трансформации бактериального сероводорода, к ним относятся кислоторастворимые сульфиды ( $S^{2-}$ ), элементная ( $S^0$ ), пиритная сера ( $S_{\text{пирит}}$ ), также сера в составе органических соединений ( $S_{\text{орг}}$ ) [17].

Среднее содержание соединений восстановленной серы составляло 1.52 % (здесь и далее в расчете на сухое вещество осадка), по мере погружения в толщу эта величина несколько увеличивалась: горизонт отложений от 0–5 см – 0.43%; глубже 15 см – 1.65%. Отмечены максимумы в содержании  $\sum S_{\text{H}_2\text{S}}$  в зимний период для горизонта отложений 15–20 см, в летний – для слоя 10–15 см (рис.). В следующих за указанными горизонтами осадков количества восстановленной серы несколько снижались, далее по глубине содержания  $\sum S_{\text{H}_2\text{S}}$  увеличивались. Доминирующей формой среди соединений восстановленной серы была пиритная сера (рис.). Ее доля от  $\sum S_{\text{H}_2\text{S}}$  составляла в среднем 48%. В толще отложений доля этой формы серы

увеличивается в среднем до 60%, изменяясь с глубиной в зимний период немонотонно, в летний период тенденция к увеличению прослеживалась более отчетливо. В поверхностном горизонте при минимальном содержании общей восстановленной серы (в марте оно составляло 0.55%, вклад  $\Sigma S_{H_2S}$  в содержание общей серы – 17%; в июле – 0.31 и 12% соответственно), доля пиритной серы была так же наименьшей и составляла в среднем 15%, доминирующей формой была сера органических соединений – 78%. В общем, вклад сульфидной и элементной серы в  $\Sigma S_{H_2S}$  в донных отложениях озера Белое был минимален, и не превышал 7%.

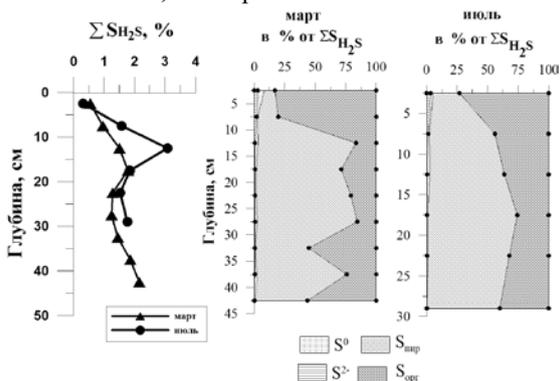


Рисунок. Распределение общей восстановленной серы и форм в ее составе в донных отложениях озера Белое

Таким образом, в донных отложениях озера Белое в оба сезона исследований содержалось значительное количество сульфатной серы, в том числе и в жидкой фазе осадков. Исходя из содержания сульфатов и ОВ и его качественного состава, эти факторы не должны лимитировать сульфатредукцию в ДО. Концентрации форм восстановленной серы свидетельствуют об активном протекании данного процесса, который наиболее интенсивен в толще отложений (до 45 см), что отличает ДО озера Белое от осадков большинства исследованных пресноводных озер. К тому же, доминирующей среди форм восстановленной серы в ДО была пиритная. Незатухание процесса сульфатредукции в толще отложений и указанное распределение форм серы характерно, в свою очередь, для морских осадков [1], водная толща над которыми содержит большие количества сульфатов, которыми обогащаются и иловые воды отложений. Концентрации же сульфатов в воде озера Белое в среднем более, чем в 100 раз меньше их содержания в морской воде. Таким образом, источником поступления сульфатов в ДО озера Белое могут служить подземные воды.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол\_а №16-35-00025.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Волков И.И.. Геохимия серы в осадках океана. М.: Наука, 1984. 272 с.
2. Nriagu J.O., Coker R.D. Emission of sulfur from Lake Ontario sediments //

- Limnology and Oceanography. 1976. V. 2. № 4. P. 485–489.
3. Jörgensen B.B. The sulfur cycle of a coastal marine sediment (Limfjorden, Denmark) // *Limnology and Oceanography*. 1977. V. 22 (5). P. 814–832.
4. Леин А.Ю. и др. Биогеохимические процессы цикла серы на ранних стадиях диагенеза осадков на профиле река Енисей – Карское море // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 681–692.
5. Саввичев А.С. и др. Микробные процессы трансформации органического вещества в Белом море // *Океанология*. 2005. Т. 45. № 5. С. 689–702.
6. Глобальный биогеохимический цикл серы и влияние на него деятельности человека / Под ред. Г.К. Скрябина. М.: Наука, 1983. 424 с.
7. Nriagu J.O. Sulphur metabolism and sedimentary environment: Lake Mendota, Wisconsin // *Limnology and Oceanography*. 1968. V. 13. P. 430–434.
8. ГОСТ 17.1.5.01–80 Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: Изд-во стандартов СССР, 1980. 5с.
9. Волков И.И., Жабина Н.Н. Методы определения различных соединений серы в морских осадках // *Химический анализ морских осадков*. М.: Наука, 1980. С. 5–27.
10. Holmer M., Storkholm P. Sulphate reduction and sulphur cycling in lake sediments: a review // *Freshwater Biology*. 2001. V. 46. № 4. P. 431–451.
11. Титова К.В., Кокрятская Н.М. Сульфатредукция в донных отложениях озера Святое (юг Архангельской области) // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2014. № 1 (84). С. 52–56.
12. Титова К.В., Кокрятская Н.М. Соединения серы в воде и донных осадках малых озер юго–запада Архангельской области // *Вестник Московского государственного областного университета*. 2013. № 2. С. 101–105.
13. Лазо Ф.И. Геохимия серы в донных отложениях озера Байкал // *Геохимия*. 1980. № 1. С. 109–115.
14. Намсараев Б.Б., Земская Т.И. Микробиологические процессы круговорота углерода в донных осадках озера Байкал. Новосибирск: Издательство СО РАН, филиал «Гео», 2000. 160 с.
15. Кревш А., Кучинскене А., Кревш А., Пашкаускас Р. Микробиологическая деструкция органического вещества в донных осадках озер Литвы // *Микробиология*. 2006. Т. 75. № 2. С. 257–263.
16. Lovley D.R., Klug M.J. Sulfate Reducers Can Outcompete Methanogens at Freshwater Sulfate Concentrations // *Applied and Environmental Microbiology*. 1983. V. 45. № 1. P. 187–192.
17. Остроумов Э.А. Метод определения форм восстановленной серы в отложениях Черного моря // *Тр. ИО АН СССР*. 1953. Т. 7. С. 57–69.
- In the work, sulfate reduction in bottom sediments of the freshwater lake Beloe (Arkhangelsk region) was investigated. The distribution of the forms of reduced sulfur indicates the activity of the process and some similarity of its course with marine sediments.

**Федоров Ю.А.<sup>1</sup>, Трубник Р.Г.<sup>1</sup>, Гарькуша Д.Н.<sup>1</sup>,  
Морозова М.А.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: [fedorov@sfedu.ru](mailto:fedorov@sfedu.ru);

<sup>2</sup>Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, г. Ростов-на-Дону)

**Экспериментальные и натурные исследования участия  
сульфитредуцирующих клостридий (*Clostridium perfringens*)  
в образовании метана и сероводорода в водных объектах  
различной минерализации**

**Fedorov Yu.A.<sup>1</sup>, Trubnik R.G.<sup>1</sup>, Gar'kusha D.N.<sup>1</sup>,  
Morozova M.A.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don; <sup>2</sup>Azov Fisheries Research Institute, Rostov-on-Don)

**Experimental and field research of the participation of sulfite-  
reducing clostridia (*Clostridium perfringens*) in the formation of  
methane and hydrogen sulphide in water bodies of various  
salinity**

Ключевые слова: сульфитредуцирующие клостридии, метан, сероводород, *C. perfringens*, донные отложения

В донных отложениях водных объектов различной минерализации исследована численность сульфитредуцирующих клостридий, а также обсуждается вопрос об их участие в образовании метана и суммарного сероводорода в водных объектах. Проведенный эксперимент показал, что чистые культуры *C. perfringens* способны продуцировать метан *in vitro*, что отнюдь не исключает процессы метаногенеза и сульфатредукции *in situ*.

Бактерии рода *Clostridium* – это наиболее многочисленная и широко распространенная группа среди анаэробов. Они обнаружены в различных природных зонах, климатических поясах, в самых разнообразных почвах, воде и донных отложениях озер, рек, морей и океанов [1–2]. Не составляют исключения даже зоны вечной мерзлоты, где обнаруживают психротолерантные и психрофильные бактерии рода *Clostridium* [3]. Отнесение к роду клостридий соответствуют трем основным критериям: 1) обладают способностью к формированию эндоспор; 2) обладают облигатным типом анаэробного метаболизма; 3) неспособны к осуществлению сульфатредукции [4]. Последний пункт важен особенно. Принято считать, что разложение органических веществ до спиртов, кислот, углекислого газа и водорода является основной функцией клостридий в природе. Также известно, что продукты ферментативных реакций клостридий используются в качестве дополнительного питательного

субстрата бактериями-сульфатредукторами, которые, как известно, генерируют сероводород.

Кроме того, на загрязненных участках водоемов и водотоков могут развиваться альтернативные процессы генерации восстановленных газов, которые контролируются не ингибирующими друг друга бактериальными консорциумами [5]. Прежде всего, речь идет о процессе образования сероводорода гнилостными бактериями, в том числе сульфитредуцирующими клостридиями, восстанавливающими полуокисленные соединения ( $S_2O_3^{2-}$ ,  $SO_3^{2-}$ ,  $S_4O_6^{2-}$ ) и серу ( $S^0$ ) [6], а также бактериями, участвующими в гидролизе древесины, поступающей различными путями в водные объекты. Принято считать, что бактерии рода *Clostridium* самостоятельно не продуцируют метан и сероводород, а лишь служат главными предшественниками сульфатредукторов и метаногенов. осуществляя важнейший этап анаэробного распада органического вещества в водных экосистемах [4, 7]. Однако, учитывая установленные нами ранее корреляционные зависимости [8] и то, что по мнению [9] сульфитредуцирующие клостридий могут участвовать в образовании метана и сероводорода в водных экосистемах, находящихся в зоне антропогенного воздействия, натурные и экспериментальные исследования роли сульфитредуцирующих клостридий в циклах метана и сероводорода в водных экосистемах вызывают неподдельный интерес.

В связи с этим и поскольку данная точка зрения выходит за рамки общепринятых в современной науке постулатов, проведение экспериментальных и натурных исследований на предмет участия сульфитредуцирующих клостридий в образовании метана и сероводорода в водных объектах представляется весьма важной и актуальной задачей.

В период с 2014–2017 гг. нами были успешно проведены экспедиционные исследования на пресноводных и морских водоемах и водотоках, с различной степенью антропогенной нагрузки. Опробован целый ряд водоемов и водотоков на территории Восточного Донбасса, юго-восточного побережья Таганрогского залива, группы лиманов на Таманском полуострове, грязевые озера Чембурское (окрестности г. Анапа) и Пилёнкино.

Отбор, транспортировка, хранение проб донных осадков и последующее определение концентраций  $CH_4$ ,  $\sum H_2S$  проведены в ФГБУ «Гидрохимический институт» по общепринятым в системе Росгидромета стандартным методикам [5, 10]. Определение численности вегетативных клеток сульфитредуцирующих клостридий проводили согласно методике, подробно изложенной в работе [11]. Исследование численности микроорганизмов проводились в 2-х кратной повторяемости в ФГБНУ АзНИИРХ. Результаты анализа выражали числом КОЕ (колониеобразующие единицы) в 1 г. донных осадков для каждого горизонта.

Результаты натуральных исследований показали, что вегетативные клетки сульфитредуцирующих кластридий, в том или ином количестве, присутствуют на всех без исключения исследованных водных объектах. Численность исследуемых микроорганизмов в донных отложениях рек, водохранилищ и отстойников Восточного Донбасса довольно высока и достигает значений  $1 \times 10^6$  КОЕ/г, среднее значение количества кластридий по каждому водному объекту составляет  $1 \times 10^4$  КОЕ/г.

Обратим внимание, что между численностью сульфитредуцирующих кластридий и содержанием метана в донных отложениях обнаружена прямая линейная статистически значимая зависимость, коэффициент корреляции  $R=0.36$  ( $p<0.01$ ). Также установлена тенденция увеличения содержания суммарного сероводорода (коэффициент корреляции  $R=0.26$  ( $p>0.05$ )) с ростом численности сульфитредуцирующих кластридий в донных отложениях.

Похожие значения численности кластридий и значимые коэффициенты корреляции были получены в ходе исследования лиманов Таманского полуострова и озера Чембурское, грязи которых используются на курортах Краснодарского края в качестве лечебных. Зависимость между численностью сульфитредуцирующих кластридий, содержанием метана и суммарного сероводорода в грязевых отложениях характеризуется как прямая и статистически достоверная, в случае с метаном  $R=0,83$  ( $p<0,01$ ), а с суммарным сероводородом -  $R=0,73$  ( $p <0,01$ ).

Результаты экспедиционных исследований, проведенных на юго-восточном побережье Таганрогского залива, показали отсутствие указанных выше взаимосвязей, косвенно подтверждающих непосредственное участие сульфитредуцирующих кластридий в образовании метана и сероводорода. На наш взгляд, это связано с мизерными содержаниями метана и суммарного сероводорода, которые могут быть обусловлены как литологическим составом донных осадков, так и быстрым окислением восстановленных газов вследствие особых гидродинамических условий района исследования. Здесь донные отложения сложены преимущественно песчаными частицами и обломочным материалом, что не способствует развитию процессов метаногенеза и сульфатредукции [5]. В свою очередь, численность сульфитредуцирующих кластридий в донных осадках достигает  $1 \times 10^7$  КОЕ/г, что говорит о влиянии хозяйственно-бытовых сточных вод, поступающих от расположенных неподалеку населенных пунктов, и мощном фекальном загрязнении юго-восточного побережья Таганрогского залива.

Относительно благоприятная ситуация, в сравнении с другими водными объектами, сложилась на озере Пиленкино, где содержание вегетативных клеток сульфитредуцирующих кластридий не превышает  $1 \times 10^3$  КОЕ/г. Для лечебных грязей, коими принято считать грязи озера Пиленкино, существуют нормативные уровни содержания потенциально-патогенных

бактерий, гарантирующие эпидемическую безопасность использования пелоидов в лечебных целях. Регламентирована и численность сульфитредуцирующих клостридий. Согласно [12], для лечебных грязей всех типов титр клостридий не должен составлять менее 0.1, а результаты нашего исследования показали, что титр клостридий в озере достигает 0.001. Следовательно, использование этих грязей в лечебных целях не может быть нами рекомендовано. Тем не менее, данный водоем довольно популярен среди туристов, самостоятельно практикующих грязелечение.

Таким образом, результаты натуральных исследований показали широкое распространение и высокую численность сульфитредуцирующих клостридий в водных объектах различной минерализации, а также их относительно тесную связь с содержанием метана и суммарного сероводорода в донных отложениях, что косвенно указывает на способность исследуемых микроорганизмов генерировать восстановленные газы в донных отложениях *in situ*. Выводы, сделанные по результатам натуральных исследований, требуют валидации, в том числе путем проведения специальных экспериментов, результаты которых подтвердили или опровергли высказанное предположение. И такой эксперимент был проведен. Его результаты показали, что 6-ти суточные чистые культуры *S. perfringens*, выращенные на селективной среде Вильсона-Блера, образуют метан в количестве, около 10 раз превышающем контрольные значения. Не исключено, что отсутствие суммарного сероводорода в пробах газовой смеси чистых культур может быть связано с недостатком ряда органических веществ, присутствующих в донных отложениях в природных условиях, которые способны выполнять как функции дополнительного питательного субстрата для микроорганизмов, так и выступать в качестве катализатора биохимических реакций в процессе метаболизма клостридий. Это вероятно, так как донные отложения, содержащие до  $1 \times 10^6$  КОЕ/г вегетативных клеток сульфитредуцирующих клостридий, при культивировании на селективной среде Вильсона-Блера на 5-е и 6-е сутки продуцировали и метан, и суммарный сероводород.

Исходя из изложенного выше, можно констатировать, что чистые культуры *S. perfringens*, при определенных условиях, способны продуцировать метан. Более того, донные отложения, содержащие до  $1 \times 10^6$  КОЕ/г вегетативных клеток сульфитредуцирующих клостридий демонстрировали как генерацию метана, так и суммарного сероводорода. Очевидно, необходимы более детальные и углубленные исследования, чтобы окончательно установить роль сульфитредуцирующих клостридий в образовании метана и суммарного сероводорода в водных объектах различной минерализации, подверженных антропогенному воздействию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухарин О.В., Литвин В.Ю. Патогенные бактерии в природных

экосистемах. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 277 с.

2. Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. Почвенные азотфиксирующие бактерии рода *Clostridium*. М.: Наука, 1974. 251 с.
3. Edwards D.D.; McFeters G.A.; Venkatesan M.I. Distribution of *Clostridium perfringens* and fecal sterols in a benthic coastal marine environment influenced by the sewage outfall from McMurdo Station, Antarctica // Applied and Environmental microbiology. 1998. V. 64. № 7. P. 2596–2600.
4. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. Т. 2: Пер. с англ./ Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита и др. М.: Мир, 1997. 368 с.
5. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах. Ростов-н/Д-Москва, 2005. 329 с.
6. Федоров Ю.А., Гриненко В.А. Особенности фракционирования изотопов серы и кислорода сульфатов озера Большой Тамбукан // Геохимия. 2004. № 1. С. 111–115.
7. Дзюбан А.Н. Маслянокислые бактерии, относящиеся к роду *Clostridium*, в донных отложениях внутренних водоемов разного типа // Микробиология. 2005. Т. 74. № 1. С. 119–125.
8. Федоров Ю.А., Морозова М.А., Трубник Р.Г. О связи физико-химических параметров и содержания восстановленных газов с сульфитредуцирующими кластридиями в донных отложениях малых рек // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. № 1 (189). С. 95–100.
9. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Доценко И.В., Афанасьев К.А. Метан и сероводород в лечебных сульфидных грязях (на примере озера Большой Тамбукан) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 3. С. 102–109.
10. Рабочий документ (РД) 52.24.525-2011. Массовая доля сульфидной серы в донных отложениях. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с N,N-диметил-п-фенилендиамином. Росгидромет, ГУ “Гидрохимический институт”, 2011. 26 с.
11. Руководство по медицинской микробиологии. Общая и санитарная микробиология / Под ред. Лабинской А.С., Волиной Е. Г. М., 2008. 1080 с.
12. МУК 143-9/316-17 Методические указания по санитарно-микробиологическому анализу лечебных грязей.

In the bottom sediments of water bodies of various mineralization, the number of sulfite-reducing clostridia was studied, and the question of their participation in the formation of methane and total hydrogen sulfide in water bodies is discussed. The experiment showed that pure cultures of *C. perfringens* able to produce methane *in vitro*, that does not preclude methanogenesis and sulphate reduction processes *in situ*.

## **Филатова Т. Б., Алёшина Е.Г., Клещенков А.В.**

(Институт аридных зон Южного научного центра РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: fila5784@mail.ru)

### **Содержание биогенных элементов в атмосферных осадках (дождевой воде)**

## **Filatova T.B., Aleshina E.G., Kleshnikov A.V.**

(Institute of Arid Zones of Southern Scientific Centre of RAS, Rostov-on-Don)

### **The content of nutrients in atmospheric precipitation (rain water)**

Ключевые слова: атмосферные осадки, дождевая вода, биогенные элементы, неорганический азот, неорганический фосфор.

Подтверждено, что при частых интенсивных атмосферных осадках в виде дождя имеет место эффект разбавления проб и примеси из атмосферы интенсивно вымываются. Более высокие концентрации загрязняющих веществ в дождевой воде регистрируются в пробах, отобранных после долгого отсутствия осадков, и их содержание выше в первых порциях дождевой воды.

Попадая в природные воды путём выпадения непосредственно в водоём или за счёт поверхностного стока, дождевая вода может ухудшить их качество. Химический состав атмосферных осадков формируется как в процессе образования облаков, на значительных высотах и удалении от мест отбора проб, так и в процессе вымывания подоблачных примесей непосредственно над районом исследования. Данные о химическом составе проб атмосферных осадков могут служить косвенным интегральным показателем загрязнённости атмосферы.

Отбор проб дождевой воды производился в соответствии с руководящими документами. В отобранных пробах дождевой воды определяли величину активной реакции среды (рН) и концентрации растворённых биогенных веществ по стандартным методикам, рекомендованным для использования при гидрохимических исследованиях, при анализе проб воды использовали рН-метр «рН-150 МИ» и спектрофотометр «UNICO».

В период с мая по сентябрь было отобрано 17 единичных (точечных) проб дождевой воды на двух станциях, расположенных на расстоянии 9.4 км друг от друга, в месте отдыха на левом берегу Дона и в Северном микрорайоне города Ростова-на-Дону в зоне влияния автотранспорта. В пробах были определены аммоний, нитриты, нитраты, фосфаты, азот растворённый и фосфор растворённый, азот валовый и фосфор валовый. Были получены следующие результаты.

Величина активной реакции среды в пробах дождевой воды изменялась от нейтральной до слабощелочной. Выпадения кислых осадков (рН<5.0)

зафиксированы не были, значения занимали диапазон в области 6.49–7.85 при средней величине рН 7,11.

Основными формами азота, поступавшими с атмосферными осадками в мае-сентябре 2016 г. на данных станциях наблюдения, являлись аммоний и нитраты. При этом содержание аммонийного азота изменялось от 260 до 1170 мкг/л, диапазон изменения концентраций нитритов составил 6–68 мкг/л, нитратов – 300–790 мкг/л, фосфатов – 55–500 мкг/л. Содержание растворённого азота имело предел 730–660 мкг/л, валового азота – 660–2730 мкг/л. Содержание растворённого фосфора варьировалось в диапазоне от 65 до 380 мкг/л, валового фосфора – от 76 до 390 мкг/л. Минимальные значения концентраций иона аммония, нитрит-иона, нитрат-иона и фосфат-иона были зафиксированы на станции на левом берегу Дона в мае, максимальные концентрации иона аммония, нитрит-иона и нитрат-иона наблюдались на станции в Северном микрорайоне города вблизи автомагистрали в июле.

В данный период времени в дождевой воде азот и фосфор были представлены в основном минеральными формами, органическая составляющая была незначительна. Полученная нами средняя концентрация неорганического азота в дождевой воде за временной интервал май-сентябрь 2016 г. составила 1142 мкгN/л, что согласуется с литературными данными (1410 мкгN/л). Диапазоны изменения значений концентраций и средние концентрации аммонийного азота, нитритов и нитратов в атмосферных осадках соответствовали опубликованным значениям. В то же время среднее содержание фосфатов в дождевой воде было выше, что можно, видимо, объяснить тем, что в литературе приведены средние значения за год, а у нас – за период май-сентябрь, когда в летние месяцы поступление фосфора в атмосферу с продуктами метаболизма и пыльцы растений увеличивается.

При сравнении абсолютных значений концентраций обращает на себя внимание следующее. После длительного периода без осадков в пробах дождевой воды определялись повышенные концентрации ионов аммония и нитратов. При следующем дожде (через сутки) содержание этих соединений уменьшалось в 2–4 раза. Затем, через 10 дней жаркой погоды без осадков, регистрировались концентрации, повышенные в 2–3 раза по сравнению с предыдущими. Такое же уменьшение наблюдалось и в мае, сходные колебания отмечены были и в сентябре. В пробах, отобранных в следующие ближайшие дни, содержание данных биогенных веществ уменьшалось.

Видимо, при частых интенсивных атмосферных осадках происходит разбавление примесей и их интенсивное вымывание. С другой стороны, более высокие концентрации загрязняющих веществ в дождевой воде, отобранной после долгого отсутствия осадков, очевидно, связаны с недобором влаги. Таким образом, получены первичные материалы о химическом составе дождевой воды на станциях в г. Ростове-на-Дону

вблизи автомагистралей и за городом, которые согласуются с опубликованными и позволяют сделать следующие выводы.

Величина активной реакции среды не выходила за пределы установленного интервала 6.5–8.5, выпадения кислых осадков зафиксированы не были.

Основными формами азота, поступавшими с атмосферными осадками в мае-сентябре 2016 г. на данных станциях наблюдения, являлись аммоний и нитраты, относительный вклад которых составил 54% и 44% соответственно, 2% приходилось на долю нитритов.

В данный период времени в дождевой воде азот и фосфор были представлены в основном минеральными формами, органическая составляющая была незначительна.

Минимальные значения концентраций биогенных веществ в дождевой воде были зафиксированы на станции на левом берегу Дона в мае, максимальные концентрации иона аммония, нитрит-иона и нитрат-иона наблюдались на станции в Северном микрорайоне города вблизи автомагистралей в июле.

В период исследований высокого загрязнения атмосферных осадков зарегистрировано не было.

Подтверждено, что при частых интенсивных атмосферных осадках в виде дождя имеет место эффект разбавления проб и примеси из атмосферы интенсивно вымываются. Более высокие концентрации загрязняющих веществ в дождевой воде регистрируются в пробах, отобранных после долгого отсутствия осадков, и их содержание выше в первых порциях дождевой воды.

Информация базируется на результатах анализа единичных проб и носит оценочный характер.

Работа выполнена в рамках программы государственного задания ИАЗ ЮНЦ РАН по теме 01-17-03 «Современное состояние и многолетняя изменчивость прибрежных экосистем южных морей России».

It was confirmed that during the frequent heavy rains, the effect of sample dilution takes place, and impurities from the atmosphere washed out intensively. Higher concentrations of pollutants in rain water are recorded in samples taken after a long absence of precipitation, and their content is higher in the first portions of rain water.

**Цыганкова А.Е.<sup>1,2</sup>, Бердников С.В.<sup>1,2</sup>, Шeverдяев И.В.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону; <sup>2</sup>Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: [aetsygankova@yandex.ru](mailto:aetsygankova@yandex.ru), [berdnikov@ssc-ras.ru](mailto:berdnikov@ssc-ras.ru))

**Изучение особенностей поведения соединений тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd) в устьевой области Дона: математическое моделирование и лабораторные эксперименты**

**Tsygankova A.E.<sup>1,2</sup>, Berdnikov S.V.<sup>1,2</sup>, Sheverdyayev I.V.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don; <sup>2</sup>South scientific center RAS, Rostov-on-Don)

**The study of the behavior of heavy metals (Cu, Pb, Cd) in estuarine region of the Don: mathematical modeling and laboratory experiments**

Ключевые слова: миграция, растворенные формы, взвесь, тяжелые металлы, гидрологический режим, дельта Дона.

В работе представлена математическая модель гидролого-гидрохимического режима дельты Дона, основанная на компартментальном подходе и применяющая методику балансовых расчетов, является хорошей основой для изучения закономерностей и механизмов преобразования жидкого, твердого и химического стока Дона на пути в Азовское море в условиях разных гидрологического режимов.

Физико-химические условия миграции соединений ТМ в речных и прибрежных морских водах существенно различаются. Это обстоятельство вызывает значительный интерес к оценке возможного влияния этих различий на формы миграции и потоки химических элементов в водах промежуточной солёности. Одной из задач является изучение влияния устьевой области на изменение форм миграции химических соединений, поступающих со стоком р. Дон, в результате совместного действия комплекса физико-химических, биогеохимических и гидродинамических процессов. Выделить при этом влияние отдельных факторов бывает затруднительно. Существенную помощь при решении этих проблем может оказать математическое моделирование.

Имеется опыт применения математического моделирования для изучения закономерностей переноса и седиментации соединений ТМ в экосистеме Белого моря (ТМ) [1–3] и искусственных радионуклидов в экосистемах Баренцева [4] и Азовского морей [5–8].

Применение методики балансовых расчетов на основе компартментального подхода содержит ряд этапов (модулей) [1]. Подробное описание последовательности этапов мультикомпартментальной балансовой модели для количественной параметризации геохимических потоков соединений тяжелых металлов (ТМ) в устьевой области Дона

представлено в работе [9].

*На первом этапе*, связанном с районированием водоема, выделением в нем набора компарментов (боксов) и построением модели крупномасштабного водообмена. Для оценки потоков воды в дельте Дона в условиях сгонно-нагонных явлений применяется модифицированная для более подробного анализа пространственно-временных особенностей поведения ТМ в дельте Дона гидрологическая модель HEC-RAS [10], с помощью которой проведен расчет динамики затопления в дельте Дона при наложении экстремального нагона и повышенного расхода в Дону. Для этого в качестве динамики уровня в Таганрогском заливе (на западной границе расчётной области) был задан восстановленный ход уровня в х.Донском во время экстремального нагона 23–24 сентября 2014 г., в Дону был задан расход  $690 \text{ м}^3/\text{с}$ . В результате получена динамика затопления во время основных фаз затопления через 14, 19, 31 и 57 часов.

Для изучения миграции соединений ТМ в дельте Дона в условиях нестабильного (нагон) и стабильного (естественного) гидрологических режимов выполнена серия вычислительных экспериментов, показывающих особенности изменений уровня в основных рукавах дельты Дона.

*На втором этапе* для расчета переноса и седиментации взвешенных веществ, как основных носителей взвешенных форм соединений ТМ, используется подход, предложенный в работе [8].

Частицы взвеси, переносимые речным потоком в пределах дельты, в период условно-естественного режима имели преимущественно пелитовую размерность (диаметр частиц менее  $0.001 \text{ мм}$  составлял более 80%), а в период зарегулированного стока крупность частиц увеличилась до 10–20%, имеющие алевритовую размерность (диаметр частиц от  $0.01$  до  $0.1 \text{ мм}$ ).

При нагонах, в условиях затопления значительных площадей, почвы в дельте Дона находятся в контакте с водами от 5 до 78 ч [11]. При снижении уровня затопленные участки земли освобождаются от воды, которая ручьями стекает в протоки разветвленной речной сети дельты. Эти процессы могут изменять равновесие в системе распределения соединений ТМ металлов между водой и взвесью.

По мере удаления от вершины дельты концентрация взвеси закономерно снижается примерно в 2 раза по основным рукавам и значительно больше для более мелких рукавов. Таким образом, несущей способности потока воды недостаточно, чтобы удерживать (в модели) частицы во взвешенном состоянии даже при столь низкой скорости осаждения, которая находится на пределе, определяемом гидравлической крупностью частиц и данными о гранулометрическом составе взвешенных наносов в дельте по данным наблюдений.

В результате модельных расчетов получен баланс взвешенного вещества. Всего за 5 суток расчета в дельту поступает 37.1 тыс. тонн взвеси, из них 4.5 тыс. тонн с речными водами, остальные 87.9% из Таганрогского

залива. При этом осаждается в дельте 36.1 тыс. тонн или 97.5%.

Согласно работе [12], в дельте Дона выделяется пять зон: 0, I, II, III и IV для анализа пространственного изменения концентраций общей взвеси и разных форм соединений тяжелых металлов: от вершины дельты (0–I зоны) к устьевому участку (IV зона). Исходя из этого зонирования, осевший материал распределяется следующим образом при воздействии нагона. На зону IV приходится 58% осевшего материала, на промежуточные зоны – III и II в целом 37% или соответственно 23% и 14% и всего 5% оседает в верховьях дельты (зона I). При отсутствии нагонов процентное распределение взвеси имеет обратный характер: в зоне I осело 59.7%, а в зоне 2 – 38.5%, остальное, около 2% – в зонах III и IV.

*Третий этап* исследований связан с моделированием переноса химических соединений, имеющих растворенную и взвешенную формы миграции.

Ключевыми в данной модели являются значения таких параметров как  $K_D^1$  (коэффициенты распределения ТМ ((мкг ТМ/кг) / (мкг ТМ/л), представляющие собой равновесное отношение концентраций ТМ в породе и водном растворе) и  $K_D$  (среднего коэффициента распределения, л/кг), которые определяются в результате лабораторного модельного эксперимента или натурных исследований [13].

Результаты рассмотренных выше расчетов динамики взвешенных веществ существенно определяют и динамику соединений ТМ в дельте Дона, особенно для мигрирующих преимущественно во взвешенной форме.

Для взвешенных форм ТМ расчеты с применением математической модели не проводились, оценки получены путем умножения концентрации взвеси на содержание каждого микроэлемента во взвешенной форме. Результатом расчета является содержание взвешенных форм ТМ в единице объема воды.

Для растворенных форм были выполнены самостоятельные вычислительные эксперименты. После этого оценивалось доленое содержание взвешенной формы миграции ТМ. Предполагалось, что в рассматриваемый период коэффициенты  $K_D$ , равные отношению удельного содержания микроэлементов во взвеси к концентрации их в воде в растворенной форме, не изменяются, как по времени, так и по пространству.

Для соединений ТМ, мигрирующих в р. Дон преимущественно в растворенной форме (на примере меди), вариации концентраций при нагонах и сгонах не столь значительны, как для остальных микроэлементов, основной формой миграции которых является взвешенная форма (на примере свинца).

Важно подчеркнуть, что вариации гидрологического режима в дельте Дона, обусловленные сгонно-нагонными явлениями и изменением его стока, прежде всего, определяют изменчивость наблюдаемых здесь концентраций соединений ТМ как в растворенной, так и взвешенной

формах. Для детального понимания этого процесса проведен вычислительный эксперимент, имитирующий ситуацию нагона [14]. По результатам этого эксперимента показано, что в период затопления дельты Дона в водах существенно изменяется состав соединений ТМ, происходит поглощение микроэлементов растительностью и почвой, также возможен и обратный переход подвижных форм этих элементов из почвы в воду.

Таким образом, разработанная модель гидролого-гидрохимического режима дельты Дона является хорошей основой для изучения закономерностей и механизмов преобразования жидкого, твердого и химического стока Дона на пути в Азовское море.

Работа выполнена в рамках внутреннего гранта ЮФУ № ВнГр-07/2017-14 и гранта РФФИ №13-05-41528 РГО\_а.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников С.В. Разработка и применение математических моделей для прогнозирования изменений гидрохимического режима в устьевых областях и на шельфе северных морей России // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. М.: Наука, 2005. С. 60–82.
2. Бердников С.В. Цыганкова А.Е. Применение балансовых моделей для оценки седиментации терригенного материала в Белом море и его выноса в арктический бассейн // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сообщества (НЦ ЧЭС). 2004. № 3. С. 29–41.
3. Бердников С.В., Цыганкова А.Е. Математическое моделирование влияния гидрологических и литодинамических процессов на перенос и накопление химических соединений в Белом море // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей северо-европейского бассейна. Вып. 2. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2007. С. 334–380.
4. Усягина И.С., Бердников С.В. Моделирование динамики  $^{137}\text{Cs}$  в воде и донных отложениях Баренцева и Белого морей в период 1960–2010 гг. // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: материалы XXIX междунар. Конф. (Мурманск, 27–29 марта 2013 г.). Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2013. С. 338–350.
5. Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л. Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. М.: Наука, 2006. 304 с.
6. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Буфетова М.В., Бердников С.В. Структура потоков радионуклидов в Азовском море // Изв. АН, серия геогр. 2004. № 3. С. 84–91.
7. Матишов Д.Г., Касаткина Н.Е., Бердников С.В. Математическое моделирование динамики  $^{137}\text{Cs}$  в воде и донных отложениях Азовского моря в период 1960–2006 гг. // Экологический вестник научных центров

- Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС). 2007. № 2. С. 20–27.
8. Сорокина В.В., Бердников С.В. Математическое моделирование терригенного осадконакопления в Азовском море // *Океанология*. 2008. Т. 48. № 3. С. 456–466.
9. Цыганкова А.Е., Бердников С.В. Разработка мультикомпартментальной балансовой модели динамики соединений тяжелых металлов в устьевой области Дона // *Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод»*. Ч. 1 (Ростов–на–Дону, 8–10 сентября 2015 г.). Ростов–на–Дону, 2015. С. 381–384.
10. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>.
11. Пономаренко Е.П., Сорокина В.В., Бирюков П.А. Сгонно–нагонные явления в дельте реки Дон в 2007–2010 гг. и их прогнозирование // *Вестник Южного научного центра*/ гл. ред. академик Г.Г. Матишов. М.: Наука, 2012. Т. 8. № 1. С. 28–37.
12. Матишов Д.Г., Сорокина В.В., Бердников С.В. и др. Отчет о научно–исследовательской работе «Интегральная оценка эколого–геохимического состояния аквальных систем устьевой области Дона». Ростов–на–Дону, 2014. 68 с.
13. Цыганкова А.Е., Бердников С.В., Сорокина В.В., Алешина Е.Г. Модельно–экспериментальный подход к изучению поведения соединений тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd) в устьевой области Дона // *Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии: материалы Международной конференции и молодежной научной конференции памяти члена–корреспондента РАН Д.Г. Матишова* (г. Ростов–на–Дону, Россия, 5–8 сентября 2016 г.). Ростов–на–Дону: Изд–во ЮНЦ РАН, 2016. С. 476–479.
14. Бердников С.В., Цыганкова А.Е., Алешина Е.Г. Влияние нагонов на миграцию соединений тяжелых металлов в дельте Дона: полевые исследования и лабораторные эксперименты // *Экология. Экономика. Информатика / Сборник статей: в 2–х т. Т. 1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Выпуск 2*. Ростов н/Д: Изд–во ЮНЦ РАН, 2017. С. 159–164.

The paper presents a mathematical model of the hydrological-hydrochemical regime of the Don Delta, based on fragmented approach and the application of the methodology of the balance calculations. Is a good basis for the study of patterns and mechanisms of transformation of liquid, solid and chemical runoff of the Don on the way to the Azov Sea in conditions of different hydrological regimes.

**Часовников В.К., Чжу В.П., Очередник О.А., Петров И.Н.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: [chasovnv@mail.ru](mailto:chasovnv@mail.ru))

## **Гидрохимический мониторинг в прибрежной зоне Черного моря в районах с различной степенью антропогенной нагрузки**

**Chasovnikov V.K., Chjoo V.P., Ocherednik O.A., Petrov I.N.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS)

## **Hydrochemical monitoring in the coastal zone of the Black Sea with different levels of anthropogenic load**

Ключевые слова: мониторинг, биогенные элементы, эвтрофикация, затрудненный водообмен, прибрежная зона, антропогенное воздействие, Черное море

Проведена оценка содержания различных форм биогенных элементов в прибрежной зоне Черного моря в 2016 г. Рассмотрена изменчивость химических параметров в течение этого периода, выполнено сравнение биогенного режима между различными акваториями. Получены количественные оценки уровня антропогенной нагрузки на исследуемые акватории.

В 2016 г. продолжены регулярные наблюдения за содержанием биогенных элементов в прибрежной зоне Черного моря. Для проведения гидрохимического мониторинга были выбраны две реперные точки в Геленджикской и Голубой бухтах (рис. 1). Выбор места точек наблюдений отражает особенности гидрохимического режима этих акваторий. Геленджикская бухта характеризуется затрудненным водообменом с морем и представляет собой наиболее уязвимый участок морского побережья, подверженный повышенной рекреационной нагрузке. Голубая бухта практически соответствует открытому побережью, являясь акваторией, свободной для водообмена. Таким образом, исследуемые акватории представляют собой районы с различной степенью антропогенной нагрузки, в том числе и с точки зрения возможностей естественного самоочищения [1, 2]. Отбор проб осуществлялся не менее четырех раз в месяц, даты наблюдений и пример изменчивости содержания нитратов представлен на рис. 2.

Программа мониторинга включала в себя комплекс стандартных гидрохимических исследований: растворенный кислород, сероводород, рН, щелочность, фосфор фосфатный и валовый/органический, кремний, азот нитратов, нитритов, аммонийный и валовый/органический. В течение года выполнено 1150 химических анализов. Методы определения содержания биогенных элементов были стандартными, принятыми в практике морских экспедиционных работ [3].

Целью данной работы было исследование изменчивости биогенных элементов в прибрежной зоне Черного моря в районах с различной

степень антропогенной нагрузки и выявление трендовых составляющих содержания БЭ как в межгодовом, так и в сезонном масштабе. Выполненные исследования позволили выделить особенности режима биогенных элементов и их изменчивость в текущем году.

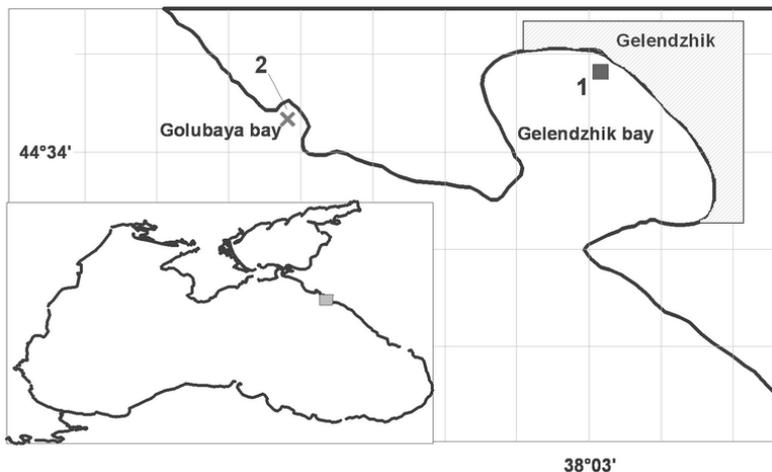


Рисунок 1. Расположение точек отбора проб регулярного химического мониторинга в Геленджикской (1) и Голубой (2) бухтах.

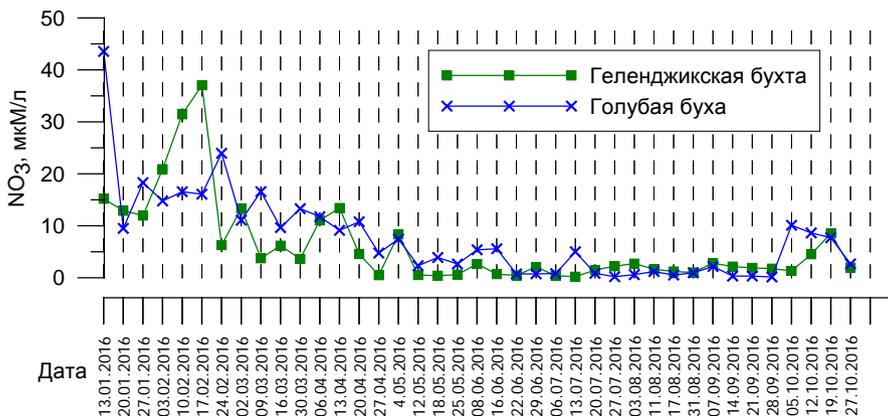


Рисунок 2. Мониторинговые наблюдения за содержанием нитратов в реперных точках в 2016 году.

Полученные данные позволяют оценить изменчивость на сезонном и внутрисезонном уровне, а также различия в концентрациях элементов между различными акваториями. Сравнительный анализ содержания и

динамики биогенных элементов в Геленджикской бухте и на открытом побережье в районе Голубой бухты показывает, что гидрохимический режим этих акваторий отличается существенным образом. Для Геленджикской бухты следует отметить повышенный фон содержания химических параметров, в первую очередь для форм фосфора. Установлено, что расхождения наблюдаемого гидрохимического фона между двумя бухтами составляет: для фосфатов в 1.6 раза, валового фосфора – 1.4 раза, нитритов – 1.6 раза. Сезонная изменчивость в Геленджикской бухте характеризуется более значительными колебаниями величин, по сравнению с их более сглаженным ходом для акватории Голубой бухты (рис. 2).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Часовников В.К., Лукашев Ю.Ф. Гидрохимический режим прибрежной части Черного моря в районе Большого Геленджика // Комплексные исследования техногенного загрязнения в прибрежной зоне Кавказского шельфа Черного моря. Геленджик: Роскомнедра, ГП НИПИокеангеофизика, 1994. С. 56–67.
2. Часовников В.К. Гидрохимический режим акваторий с затрудненным водообменном в условиях антропогенной нагрузки// Проблемы управления и устойчивого развития прибрежной зоны моря. Геленджик, 2007. С. 295–298.
3. Бордовский О.К., Чернякова А.М. Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: ИО РАН, 1992. 200 с.

We carried out the estimation of the content of various forms of biogenic elements in the coastal zone of the Black Sea in 2016. We also analysed the the variability of chemical parameters during this period, and compared the biogenic regime between different water areas. We obtained quantitative estimates of the level of anthropogenic load on the investigated water areas.

**Часовников В.К., Чжу В.П., Очередник О.А.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: [chasovni@mail.ru](mailto:chasovni@mail.ru))

**Мониторинг техногенного загрязнения вод и донных отложений в прибрежной зоне Черного моря в районе Геленджика**

**Chasovnikov V.K., Chjoo V.P., Ocherednik O.A.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Monitoring of technogenic pollution of water and bottom sediments in the coastal zone of the Black Sea in the Gelendzhik region**

Ключевые слова: загрязняющие вещества, мониторинг, прибрежная зона, донные отложения, Черное море

Проведена оценка содержания техногенных загрязнений в воде и донных отложениях прибрежной зоны Черного моря в районе Геленджика. На примере Геленджикской и Голубой бухт получены количественные оценки уровня содержания загрязняющих веществ. Установлен перечень параметров концентрации которых превышают допустимые нормы в 2016 году.

В течение 2016 г/ были выполнены 2 полигонные гидрохимические съемки Геленджикской и Голубой бухт (рис. 1) в весенний и летний периоды. Кроме этого, в этих бухтах, дважды в месяц отбирались пробы воды в реперных точках на исследования содержания загрязняющих веществ (ЗВ). Выполнено около 1000 определений химических параметров в воде и грунте.

Кроме стандартной гидрохимии, список определяемых параметров на загрязнения, включает в себя: тяжелые металлы (Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Hg, Cr, Ni, Co), фенол, детергенты (АПАВ), нефтепродукты, ХОП ( $\alpha$ -ГХЦГ,  $\gamma$ -ГХЦГ,  $\beta$ -ГХЦГ, DDT, DDE, DDD, гептахлор, ГХБ), бенз(а)пирен.

*Загрязняющие вещества в толще вод.*

Выше нормы ПДК, в 2016 году, зафиксированы максимальные значения техногенных загрязнений (ТЗ) для – железа, марганца, свинца, ХОП (ГХБ и 4.4'-DDT). Остальные изученные загрязняющие вещества находились в воде в концентрациях ниже ПДК. Выполняемые полигонные съемки отчетливо показывают характерное влияние малых рек и берегового стока, а также наиболее загрязненные участки бухты.

На рис.2 представлен пример распределения цинка в водах акватории Геленджикской и Голубой бухт.

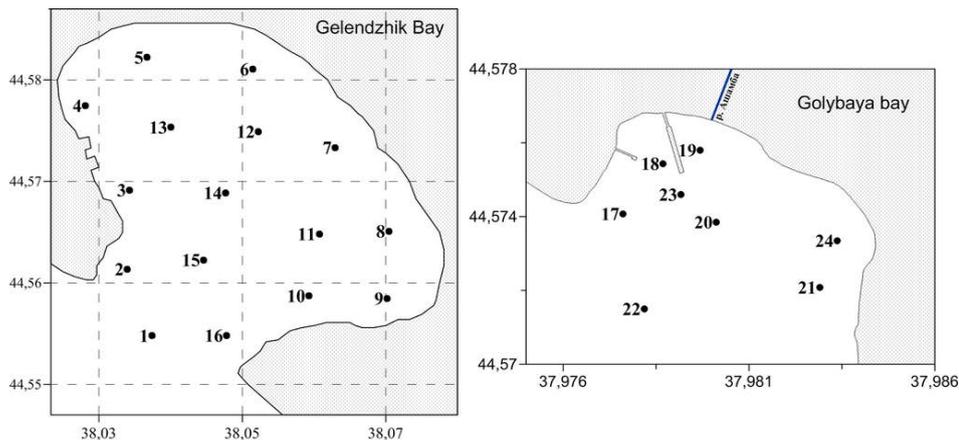


Рисунок 1. Схема расположения станций на полигонах в Геленджикской и Голубой бухтах.

Из наиболее загрязненных участков акватории в Геленджикской бухте следует выделить, в первую очередь, юго-восточный район, прилегающий к месту впадения реки Су-Аран, где происходит наиболее интенсивное антропогенное воздействие и, как следствие, накопление загрязнений в осадках [1-3]. Для Голубой бухты накопление загрязняющих веществ приурочено к пирсу ЮО ИО РАН и впадению реки Ашамба (рис. 2, 3).

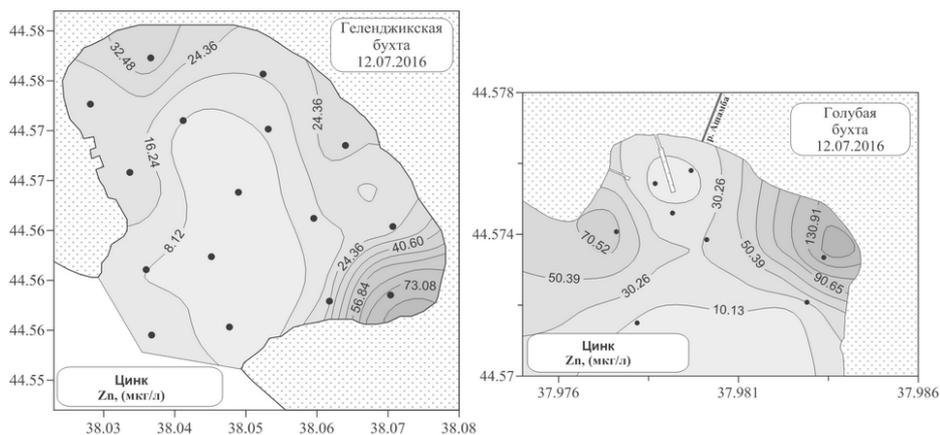


Рисунок 2. Содержание в воде Геленджикской и Голубой бухт цинка (мкг/л), съемка – лето 2016 г.

### *Загрязняющие вещества в донных осадках.*

В 2016 г. выше нормы допустимых концентраций (ДК) зафиксированы значения для – бенз(а)пирена,  $\gamma$ -ГХЦГ и  $\Sigma$  ДДТ, ДДД и ДДЭ. Содержание остальных техногенных загрязнений находилось в пределах существующих норм.

На рис. 3 представлены карты распределения цинка, отражающие характерные очаги накопления ЗВ в донных осадках исследованных акваторий.

В 2016 г. разница наблюдаемых концентраций ЗВ между двумя бухтами (Сгел/Сгол) составляет: для цинка в 1.7 раза, кадмия – 1.5, гептахлор в 1.96 раза. Для осадков Голубой бухты зафиксированы более высокие концентрации отдельных метаболитов хлорорганических пестицидов (ХОП).

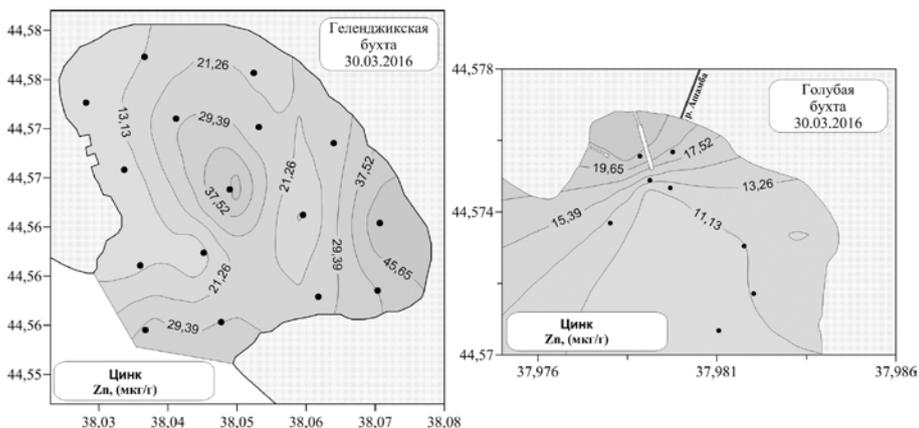


Рисунок 3. Распределение цинка (мкг/г) в донных осадках Геленджикской и Голубой бухт, весна 2016 г.

Области повышенных величин содержания ТЗ в донных отложениях, как правило, совпадают с наиболее часто встречающимися максимумами ЗВ в поверхностных водах. Для осадков Геленджикской бухты характерны более высокие уровни концентраций техногенных загрязнений, чем для Голубой бухты. Следует отметить наличие стабильного фона стойких органических загрязнителей (СОЗ) в виде различных индивидуальных метаболитов ХОП в водах и донных осадках Голубой и Геленджикской бухт. Наиболее тревожен факт высокого содержания пестицидов и нефтепродуктов в донных отложениях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Часовников В.К., Чжу В.П., Очередник О.А., Марьясова Е.С. Оценка уровня техногенных загрязнений в прибрежной зоне Черного моря в районе Геленджика // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 76–80.
2. Часовников В.К., Чжу В.П., Очередник О.А., Марьясова Е.С. Загрязнение донных осадков в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. М.: ГЕОС, 2015. С. 221–224.
3. Немировская И.А., Онегина В.Д., Коновалов Б.В. Особенности распределения углеводов в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря // Океанология. 2015. Т. 55. № 5. С. 1–11.

We carried out the estimation of the content of technogenic pollution of water and bottom sediments of the coastal zone of the Black Sea in the Gelendzhik area. We obtained quantitative estimates of the level of pollutants through the examples of Gelendzhik and Blue Bays. In 2016 we established a list of parameters which concentration levels exceed the permissible norms.

**Nasr S.M.<sup>1</sup>, Okbah M.A.<sup>2</sup>, El-Gamal Sh.M.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Department of Environmental Studies, Institute of Graduate Studies and Research, Alexandria University, Alexandria, Egypt [samir\\_nasr@yahoo.com](mailto:samir_nasr@yahoo.com) ; <sup>2</sup>Department of Marine Chemistry, National Institute of Oceanography and Fisheries, Alexandria, Egypt)

## **Geochemistry and Mobilization of some Trace Metals in core sediments and interstitial water along the Mediterranean Coast of Egypt**

Key words: trace elements, core sediments, interstitial water and Egyptian Mediterranean coast.

The presence of trace metals in aquatic systems originates from the natural interactions between the water, sediments and atmosphere with which the water is in contact. The concentrations fluctuate because of natural hydrodynamic chemical and biological forces. Man, through industrialization and technology, has developed the capacity to alter these natural interactions to the extent that the very waters and the aquatic life therein have been threatened to a devastating point [1]. Heavy metals are one of the more serious pollutants in our natural environment due to their toxicity, persistence and bioaccumulation problems [2].

The pollution of heavy metals in the sediments has become one of important environmental issues. Generally, sediments always selected to serve as an indicator for aquatic ecosystems pollution. The distribution characteristics of contaminants in sediments could provide some useful information of contaminants including transformation and migration [3].

Core samples serve as an excellent tool for establishing the sedimentation rate, the history of contaminant additions to the water system, and the inventories of pollutants. These determinations are possible since suspended particles and bottom sediments adsorb pollutants dissolved in the water system and control their transport and ultimate deposition. In the absence of chemical mobility within the sediments, the changes in contaminant concentrations with the depth of the core can be converted to a record of history of contaminant inputs<sup>[4]</sup>.

Investigations of interstitial water of marine sediments have been oriented in two main directions. The first one concentrates on explaining the regularities and different phenomena which control the distribution of different chemicals parameters such as Alk, Sal., SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, Na, K, P, Si, NH<sub>4</sub>, Br, I, Fe, Mn, Pb, among others. Many researchers have shown great interest in these aspects. The second direction has been oriented to the changes of chemical composition and diagenetic processes leading to metamorphism of interstitial water and their related sediments [5, 6].

The main objective was to study the concentration and distribution of some trace metals in the core sediments and interstitial water along the Egyptian Mediterranean coast and to evaluate the contamination degree and the potential ecological risk for the selected metals and determine metal mobilization between

interstitial water and sediments.

#### *Sample collection and preparation:*

Eleven core sediments samples collected from the Egyptian Mediterranean coast Figure [1], from El-Salloum at the west to Al-Arish at the east, along the northern coast of Egypt [Southeastern Mediterranean Sea] during 2014, carried to the laboratory in an icebox and stored at  $-20^{\circ}\text{C}$  in the dark until analysis. In the laboratory, the sediments centrifuged and the supernatants discarded. The resulting sediment materials dried at room temperature and then ground into powder for analysis. The leftover kept for backup.

The following instruments used in this research: inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [ICP/AES], model Agilent 7700X ICP-MS. The formula equation to calculate the concentration in mg/kg. All solutions were prepared using Milli-Q water. All of the reagents used exhibited an analytical grade.

About 50gm of sediments taken from the homogenized samples for mechanical analysis. The mechanical analyses have been carried out by using a method by [7].

Calcium carbonate percent [ $\text{CaCO}_3\%$ ] was measured using a Calcimeter apparatus as described by Machette, 1986 [8], whereby 6N HCl is applied to the sample and the gas evolved from the reaction displaces fluid within the Calcimeter apparatus [9].

Total organic carbon [TOC %] was determined according to Walkely-Blak's [10] by wet oxidation method [11, 12].

Total elemental analyses of sediments were determined according to [13] method and [14].



Figure 1: the sampling sites of the study area along the Egyptian Mediterranean coast

#### *Results and discussion:*

Grain size analysis performed on 11 core samples after dividing it into layers. Results showed that fine sand [0.250–0.125 mm] and medium sand [0.250–0.50 mm] were the dominated fractions of all sediment samples. Very fine sand observed only in the upper layer [0–10 cm] in Al-Arish Station. Fine sand represent about 70% of the sediments texture, Medium sand represent about 29% of the sediments texture they located in the western region, cores [El-Salloum, Baghoush and El-Mex].

The range and average of total organic matter [TOM] in the core sediments of the study area found to vary from [0.059 to 2.65%]. The highest value was observed at Al-Maadia [middle region] and the lowest concentration of [TOM %] found in cores Rashid, Baghoush and El-Nobarreya [0.15–0.35%] at layer [50–60 cm].

The Coastal sediments of the Egyptian Mediterranean coast are mainly composed of two principal types: carbonate and quartzes dominant sand. The concentration of total carbonate in the core sediment samples ranged between 1 to 95%. The study area divided into three regions, which revealed differences in the distribution of  $\text{CaCO}_3$ . In the Eastern and middle region, the core samples indicated very low carbonate content ranging from [0.75 to 18.18%] and average 4.24%. on the other hand, the Western region,  $\text{CaCO}_3\%$  range was [64.2 to 97.23%] and average 82.4%.

The western side sector of the Egyptian coast comprising the northern margin of the western desert is a typical carbonate province and it is mainly composed of calcite. Core El-Nobarreya have the highest  $\text{CaCO}_3\%$  in the study area [94.39–97.23%] followed by core Baghoush which are considered as a famous recreational beach. Core El-Salloum is far from any land based sources and have high  $\text{CaCO}_3\%$  content ranges between [88.66–93.58%].

The Vertical distribution of calcium carbonate in the study area was follow:

Rashid< El-Gamil<Power Station< El-Broullos< Al-Arish< Maadia< El-Mex< El-Dikhaila< Salloum< Baghoush< El-Nobarreya

The distribution of the total concentrations of metals [Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Cr, Cd, Pb and Ba] in core sediments, of the Egyptian Mediterranean Coast, have the range and average concentrations [ $\mu\text{gg}^{-1}$ ] where: 18.06–52563.69 [5951.34] for Fe, 0.19–1303.65 [159.63] for Mn, 0.52–251.94 [25.77] for Zn, 0.45–41.59 [4.99] for Cu, 0.02–52.15 [6.83] for Ni, 0.06–141.81 [21.52] for Cr, 0.01–2.87 [0.14] for Cd, 0.46–41.77 [5.04] for Pb and 0.19–557.5 [72.36] for Ba.

The distribution of Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Cd and Ba, among the three regions of the study area was similar and arranged as the following: Eastern region> Middle region> Western region. While, the distribution of Ni and Pb, are also similar and arranged as the following: Eastern region> Western region> Middle region.

Based on the SQGs proposed by USEPA, sediments characterized by, the concentrations of Cr at cores Al-Arish [layers 10–30], El-Gamil [layers10–40], Burullous [upper layer and between 30–40 cm] and Rashid [layer 0–20cm] was higher than the LEL but lower than the SEL, also Cr at the upper layers of cores Al-Arish and El-Gamil] exceeded the SEL concentration, indicating a clear disturbance to the sediment-dwelling benthic communities. Accordingly, the concentration of Cd and Zn at all stations under investigation was belonged to unpolluted sediments. Also 2% of the total samples showed SEL concentration from Fe, Mn and Ni which found in the upper layer of core Al-Arish. 98% of the Cd, 96% of Zn, 94% of Pb, 92% Cu, 90% of Fe and 88% of Mn and Ni concentrations of most stations under investigation was lower than LEL; it would

tolerate by the majority of benthic organisms. The metals concentrations in core El-Gamil was higher than the LEL and lower than the SEL, which means that the sediment was considered to be contaminated, but with moderate impacts on benthic life, meaning that it would be tolerated by the majority of benthic organisms.

The calculated EFs found to fall in the following sequence: Pb>Ni>Zn>Cr>Cd>Cu>Mn>Ba. The eastern region characterized by, Mn, Zn, Ni, Cu, Pb and Ba have Low enrichment, Cr has moderate enrichment and Cd has sever enrichment. The middle region: characterized by low Mn, Zn, Ni, Cu, Cd, Pb and Ba enrichment and moderate Cr enrichment. In the western region. Zn, Ni and Pb have very high enrichment [VH EF] Cu, Cr and Cd have significant EF [S EF]. Mn have low EF.

The geo-accumulation index showed that the eastern region classified from moderately polluted to highly pollute with Cr and Cd, while the Middle and western regions classified to unpolluted sediments  $I_{geo}$  class 0. According to metals, Ba was unpolluted in all study area and Fe also except in the first layer of core Al-Arish and El-Gamil.

From the contamination factor [ $C_f$ ], degree of contamination [ $C_d$ ] and modified degree of contamination [ $mC_d$ ] core El-Gamil and Al-Arish at the Eastern region are the only two cores that have moderate to high contamination. While the middle and western regions ranged from nil to very low degree of contamination. From the PLI we found that, middle and western regions classified from unpolluted regions, and eastern region classified from polluted area.

The correlation matrix showed that, strong positive correlation exists between Fe and Mn, Zn, Cr, Ba and Ni and the negative correlation between Sand and [Fe, Mn, Zn and Ba].

The normalization technique showed that, metals [Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, and Ba] are from natural background and [Cd and Pb] exist in both forms natural background and anthropogenic inputs. They enriched from anthropogenic input.

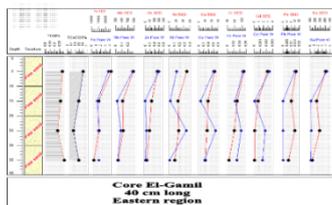
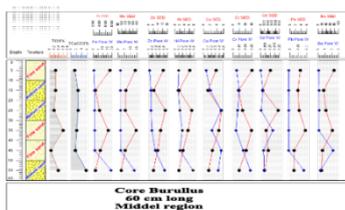
The low partitioning percentage of Fe, Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Cd, Pb and Ba in sediments, suggest that potential flux of these metals from sediment into the surface water might be very low and thus have less bioavailability. The reasonable concentrations of Cd, Cu, Ni and Ba in interstitial water suggest a high potential flux of these metals from sediment into the surface water, therefore might be easily available to biota.

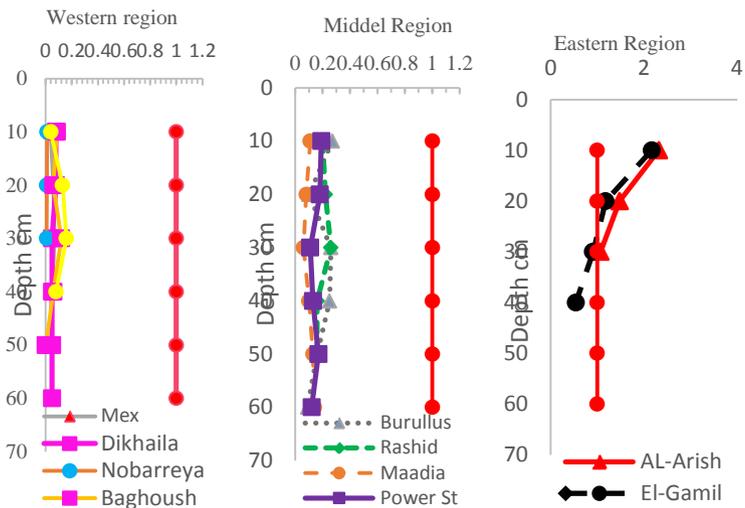
## REFERENCES

1. Greaney, K.M., (2005). An assessment of heavy metal contamination in the marine sediments of Las Perlas Archipelago, Gulf of Panama. School of Life Sciences Heriot–Watt University, Edinburgh.
2. Tam, N. and Y. Wong, (2000). Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps. Environmental Pollution. 110(2).

195–205.

3. Wang, Y., J. Hu, K. Xiong, X. Huang and S. Duan, (2012). Distribution of heavy metals in core sediments from Baihua Lake. *Procedia Environmental Sciences*. 16. 51–58.
4. IAEA, V., (2003). Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radionuclides and trace elements. IAEA–TECDOC–1360 (ISBN 92–0–109003–X, ISSN 1011–4289 ).
5. Abril, J., D. SUBMARINE GEOLOGY AND GEOPHYSICS.
6. Nasr, S.M. and Y.N. Gorsky, (1990). Chemical composition of the interstitial water in bottom sediments of Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean): Diagenetic processes. *Sci. Mar.* 54(3). 249–255.
7. Folk, R.L., (1966). A review of grain-size parameters. *Sedimentology*. 6(2). 73–93.
8. Machette, M., (1986). Calcium and Magnesium. Field and laboratory procedures used in a soil chronosequence study, (1648). 30.
9. Singer, M.J. and P. Janitzky, Field and laboratory procedures used in a soil chronosequence study. 1986: Department of the Interior, US Geological Survey.
10. Walkley, A. and I.A. Black, (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*. 37(1). 29–38.
11. Baruah, T. and H. Barthakur, (1997). *A Textbook of Soil Chemical Analysis*. Vikash, New Delhi.
12. Baruah, T.C. and H.P. Barthakur, (1997). *A Textbook of Soil Analysis*, Vikas Publishing House, Pvt. Ltd.
13. Oregioni, B. and S.R. Aston, (1984). The determination of selected trace metals in marine sediments by flame atomic absorption spectrophotometry. IAEA Monaco Laboratory Internal Report.
14. Loring, D. and R. Rantala, (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth–science reviews*. 32(4). 235–283.





Pollution Load Index of trace metals in the core marine sediments of the Egyptian Mediterranean coast.

# Pogojeva M.<sup>1</sup>, Yakushev E.<sup>2,3</sup>, Ilinskaya A.<sup>3,4</sup>, Braaten H.-F.<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>State Oceanographic Institute, Moscow, Russia; <sup>2</sup>Norwegian Institute for Water Research; Norway; <sup>3</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia; <sup>4</sup>Moscow State University, Russia)

## Experimental study on influence of thawing permafrost on chemical properties of the sea water

Key words: permafrost thawing, sea water biogeochemistry, acidification, pollution

During the joint Norwegian-Russian expedition to Svalbard 11–17 of June 2017, experimental studies of the effect of melting permafrost on the biogeochemical parameters of sea water were carried out. Samples of permafrost were collected from an abrasive cliff (Fig. 1) located about 10 km west from Longyearbyen.



Figure 1. Abrasive cliff in Svalbard

In the process of the experiment, samples of permafrost, PF (about 50–55 g) were added to the 1 liter flasks with sea water (SW). The bottles with opened lids were exposed for 24 hours in the air temperature in plastic boxes covered with lids to simulate the natural conditions. The samples were collected after 0, 3, 6, 12 and 24 hours of exposition for pH, carbonate system, nutrients and heavy metals, including mercury and methylmercury. In parallel we measured changes after 24 hours in the sea water without PF and distilled water with PF (Table).

Sample	Exposition period and sampling, hours				
	0	3	6	12	24
SW					
SW+PF 3					
SW+PF 6					
SW+PF 12					
SW+PF 24					
SW w/o PF					
DW+PF					

The sampling techniques for the measured parameters were organized in accordance to previously described standard procedures [1]. We used standard techniques of analytical measurements in Norway and Russia. Nutrients were sampled into 100 ml plastic bottles and preserved with sulfuric acid. Samples for Alk and TIC were preserved with mercury chloride. Water samples for Hg species analysis were collected in 250 mL fluorinated polyethylene (FLPE) bottles [2].

Samples for carbonate system, nutrients and mercury forms were measured in Norwegian Institute for Water Research, Oslo, forms of total metals were measured in Zubov State Oceanographical Institute, Moscow.

The results of the experiment have showed the possible changes of the sea water composition connected with the permafrost thawing. In Figures 2, 3 we plotted changes of concentrations in 1 liter of the sea water after addition of 1 g of permafrost of the parameters under study.

The results show a clear enrichment of the main nutrients, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, Si, concentrations with a maximum after 3 hours, and decreasing concentrations afterwards (Fig.2). No clear signal was found for TOC.

Alk and TIC had minimum values in the 3 hours sample then the content increased. It should be pointed out, that the 1<sup>st</sup> measurement was done from the initial sea water without permafrost. An addition of permafrost should decrease the salinity of the sample, and therefore content of TIC (as one of the main ion) and Alk. During the experiment Alk and TIC increased and reached after 24 hours values close to initial ones. pH decreases all the 24 hours (better pronounced for pH calculated as a function of Alk and TIC than pH measured). Concentrations of total Hg increase with a peak after 3 hours and then continue to grow. Me Hg doesn't show a clear trend. Concentrations of the total metals generally increased with the exception of cadmium.

We plan to use the received data to estimate the flux of parameters under study due to Arctic coast permafrost thawing, and compare this with the supply by rivers and atmosphere.

*Acknowledgements:* Norwegian Research Council project 246752 "POMPA—Pollutants and Carbonate System Parameters in Polar Environmental Media: Snow–Ice–Seawater–Sediments–Coastal Discharge", Svalbards miljøvernfond project "Permafrost decay for acidification/bioproduktivitet", Norwegian Ministry of Climate and Environment projects PERMACID and ARCRISK, Russian State Hydrometeorological Survey Science Project (NIOKR 1.5.3.7).

## REFERENCES

1. Grashoff K, Kremling K, Ehrhard M. Methods of seawater analysis, 3rd completely revised and extended edition. WILEY-VCH Verlag GmbH, 1999. 632 p.
2. Braaten H.F.V., de Wit H.A., Harman C. et al. Effects of sample preservation and storage on mercury speciation in natural stream water // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2014. V. 94. P. 381–384.

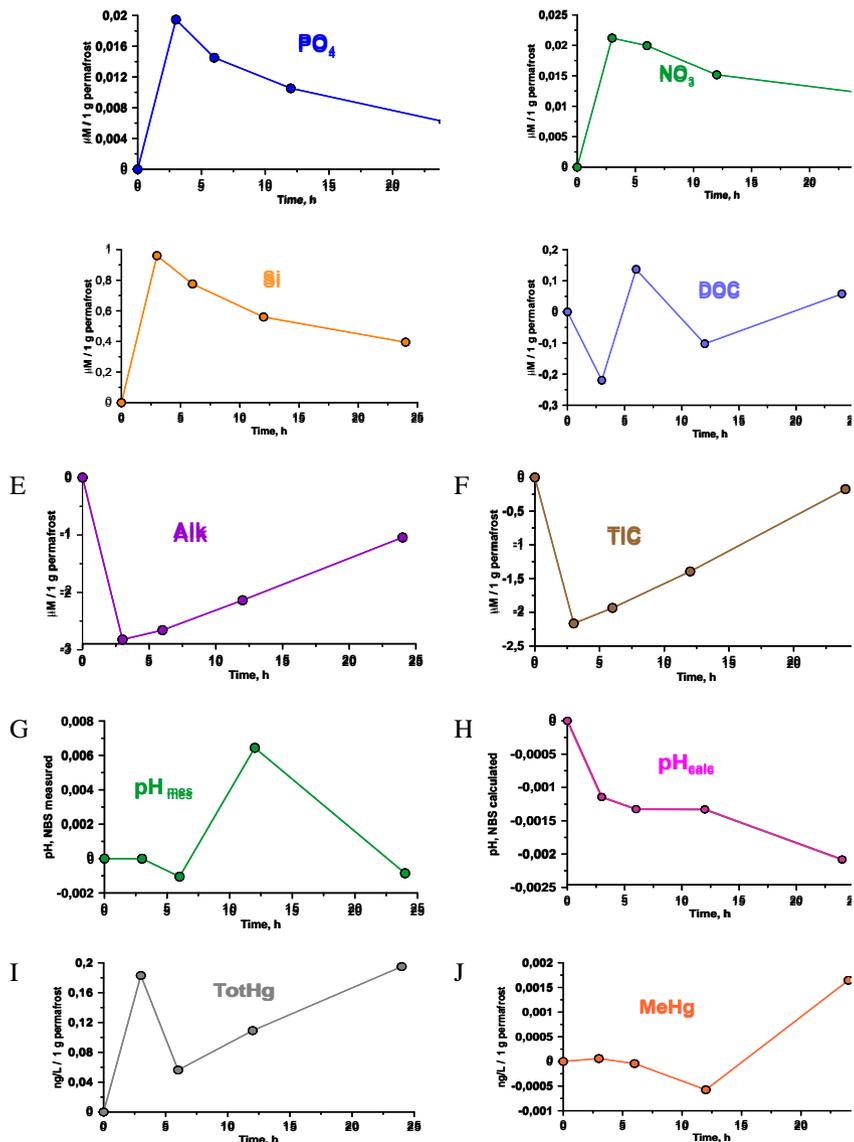


Figure 2. Change of concentrations of phosphate, PO<sub>4</sub> (A), nitrate and nitrite, NO<sub>3</sub> (B), silicate, Si (C), Dissolved Organic Carbon, DOC (D), Alkalinity (E), Total Inorganic Carbon, TIC (F), pH measured (G), pH calculated (H), total mercury, TotHg (I), methyl mercury, MeHg (J) due to melting of 1 g of permafrost in 1 liter of the sea water.

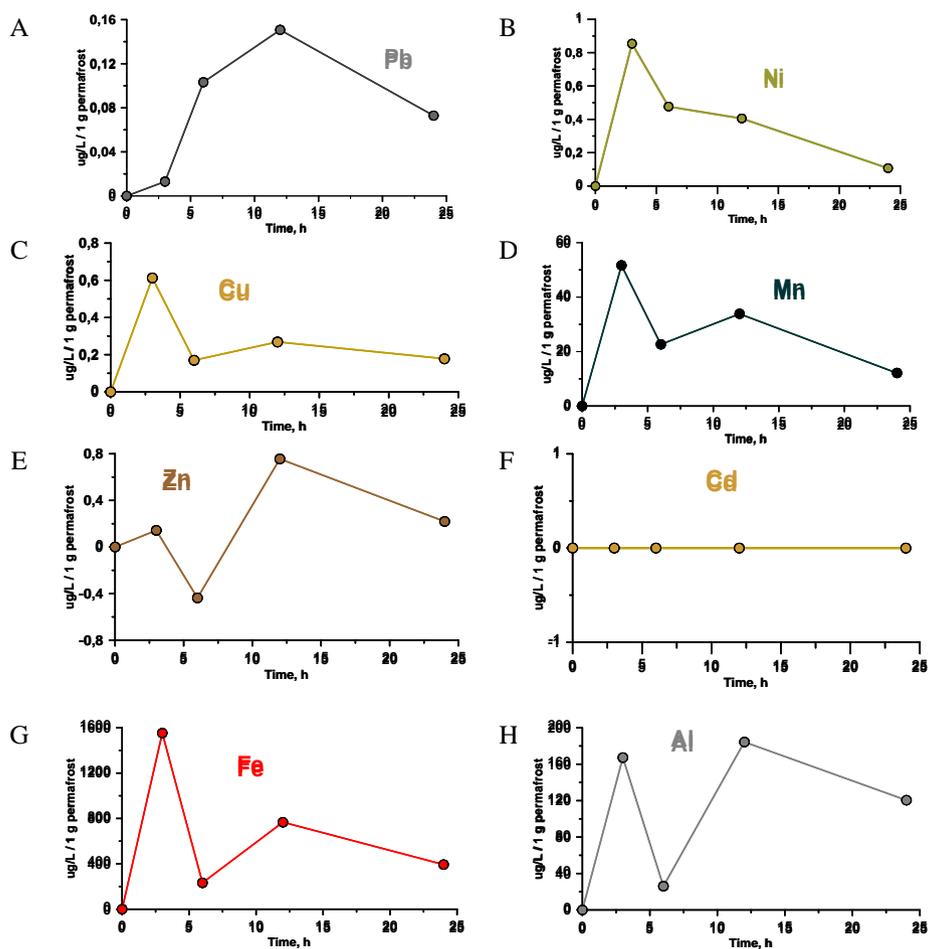


Figure 3. Change of concentrations of lead, Pb (A), nickel, Ni (B), copper, Cu (C), manganese, Mn (D), zinc, Zn (E), cadmium, Cd (F), iron, Fe (G), aluminum, Al (H) due to melting of 1 g of permafrost in 1 liter of the sea water.

**Yakushev E.<sup>1,2</sup>, Ilinskaya A.<sup>3</sup>, Protsenko E.<sup>1,2</sup>, Wallhead P.<sup>4</sup>,  
Yakubov S.<sup>2</sup>, Pakhomova S.<sup>5,2</sup>**

(<sup>1</sup>Norwegian Institute for Water Research, Norway, <sup>2</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, <sup>3</sup>Moscow State University, Russia, <sup>4</sup>Section of oceanography and biogeochemistry, (NIVA Vest), Norway, <sup>5</sup>Norwegian Institute for Air Research, Norway)

## **Modeling the influence of a fish farm on water column and sediment biogeochemistry using a 2-dimensional Benthic-Pelagic model**

Key words: Fish farming, modeling, observations, waste, oxygen depletion, carrying capacity estimation

Fish farming is an important industry globally, that is constantly developing and growing in order to meet the demands of world population [1]. The industry is facing various challenges connected with environmental management of aquaculture sites including carrying capacity prediction, land-water interaction and multi-site effects [2].

The aim of this work was to develop and configure a model for fish farm impact studies and to demonstrate its ability to quantify the effects of fish farm emissions on water column and sediment biogeochemistry. We employ a fully-coupled benthic-pelagic model consisting of two modules, biogeochemistry and transport, joined using the Framework for Aquatic Biogeochemical Modelling, FABM [3]. Biogeochemical processes are modeled with the Bottom RedOx Model, BROM [4], that has a special focus on deoxygenation and redox biogeochemistry in the sediments and Benthic Boundary Layer (BBL).

In this work, BROM is coupled with a new 2-Dimensional Benthic-Pelagic transport model (2DBP). The coupled model is calibrated using the field data received in the Hardangerfjord, one of the largest salmon farming areas in Norway, in August 2016. We demonstrate an ability of the model to predict consequences of increased fish farm emissions on biogeochemical conditions of water column and sediment.

### *Methods*

The benthic–pelagic biogeochemical model BROM combines a relatively simple ecosystem model with a detailed biogeochemical model for the water column, benthic boundary layer, and sediments, with a focus on oxygen and redox state. BROM considers interconnected transformations of species of (N, P, Si, C, O, S, Mn, Fe) and resolves OM in nitrogen currency. OM dynamics include parameterizations of OM production (via photosynthesis and chemosynthesis) and OM decay via oxic mineralization, denitrification, metal reduction, sulfate reduction and methanogenesis. To provide a detailed representation of changing redox conditions, OM in BROM is mineralized by several different electron acceptors and dissolved oxygen is consumed during both mineralization of OM and oxidation of various reduced compounds. Process inhibition in accordance

with redox potential is parameterized by various redox-dependent switches. BROM also includes a module describing the carbonate equilibria; this allows BROM to be used to investigate acidification and impacts of changing pH and saturation states on water and sediment biogeochemistry. The detailed description of BROM is given in [4].

### 2-Dimensional Benthic Pelagic Model 2DBP

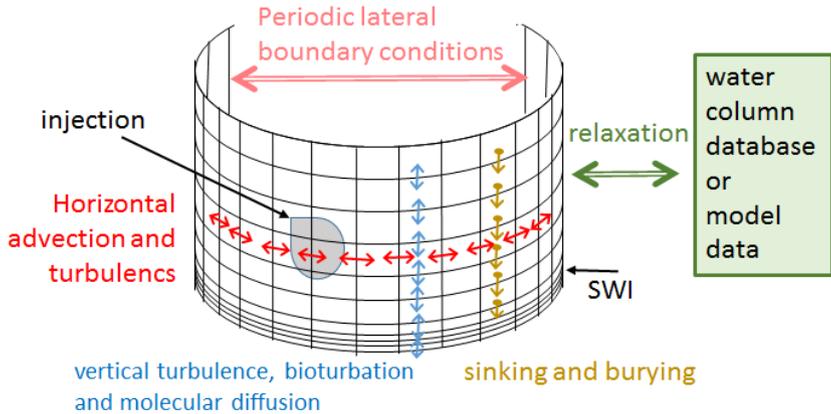


Figure 1. . Scheme of 2-Dimensional Benthic-Pelagic model 2DBP.

The 2-Dimensional Benthic-Pelagic model 2DBP aims to simulate vertical and horizontal transport of matter in the water column and upper sediments at small horizontal scales (10–1000 m) (Fig. 1). In the vertical direction the grid resolution changes from meters in the water column to several cms in the BBL and increases from less than 1 mm below the SWI to several cms deeper in the sediments. In the horizontal direction 2DBP has a constant horizontal resolution (assumed 25 m in this work) at a vertical transect with a prescribed length (assumed 750 m in this work). The processes of horizontal advection, horizontal turbulence, vertical turbulence, sinking of particles and burying are parameterized. Since the horizontal scale of the model is relatively small we assume that the horizontal current velocity is constant along the transect but changes with time. We also assume periodic boundary conditions: the left boundary of the model domain is linked to the right boundary. Additionally, the water column concentrations may be relaxed towards “climate” data from a data base or another model, possibly to account for exchange across the transect.

To parameterize seasonal variability in the water column of nutrients and oxygen for the upper boundary we used results from the database DB Copernucus. These data were used also as a “climate” data for relaxation. At the low boundary, we used the values received during the field studies. Waste deposition from the cage was modeled as a constant with time injection of POM

in a grid cell at 50 m depth. The value of the injection was calculated from measured value of  $1.55 \text{ kg C m}^{-2} (15 \text{ d})^{-1}$  [2], that gave  $5 \text{ mmol N s}^{-1}$  for 22 m cage diameter. The settling velocity was assumed similar to PON settling in BROM, i.e.  $5 \text{ m day}^{-1}$ .

### Results

The model results are compared with the field data received in the Hardangerfjord in August 2016. The difference of observed and modeled concentrations near fishfarm and surrounding water is summarized in Tables 1.

Table. Difference of concentrations between the fishfarm and surrounding waters:

Observations:	Model:
$\Delta \text{DON} = +3 \mu\text{M}$	$\Delta \text{DON} = +1.5\text{--}3 \mu\text{M}$
$\Delta \text{NH}_4 = +7 \mu\text{M}$	$\Delta \text{NH}_4 = +5\text{--}10 \mu\text{M}$
$\Delta \text{PO}_4 = +0.2 \mu\text{M}$	$\Delta \text{PO}_4 = +0.2\text{--}1.0 \mu\text{M}$
$\Delta \text{O}_2 = -45 \mu\text{M}$	$\Delta \text{O}_2 = -30\text{--}150 \mu\text{M}$
$\Delta \text{pH} = -0.07$	$\Delta \text{pH} = -0.1\text{--}0.5$
$\Delta \text{NO}_3 = -5 \mu\text{M}$	$\Delta \text{NO}_3 = +5\text{--}10 \mu\text{M}$

Model predicts changes in the bottom biogeochemistry in several tens of meters from the fish farm (i.e. increased organic matter (OM), oxygen depletion, denitrification, metal and sulfur reduction etc.) as well as a detectable decrease of oxygen and increase of ammonia, phosphate and OM in the water column in the vicinity of the fish farm (Fig. 2).

The provided numerical experiments allowed to analyze the consequences of the potential increase of the fishfarm production (Fig. 2, right column) and demonstrate that in this case of an increased waste disposal there should be an increase in oxygen depletion and even decrease of nitrate due to denitrification. That can explain the observed decrease of nitrate (Table) that was not reproduced in the baseline version of the model.

### Conclusions

Model satisfactory reproduces the mechanism of changes in pelagic and benthic biogeochemistry due to an injection of OM from a fishfarm. It allows to analyse consequences of the OM injection changes, i.e. to predict: (i) volume of water affected; (ii) area of the bottom affected; (iii) extreme concentrations of substances in relation to the allowed permissible level. Summarizing the proposed model can be an effective instrument of estimating of the carrying capacity of the water bodies regarding the planning aquaculture business development.

The code of the model used is available at <https://github.com/BottomRedoxModel>. This work was supported by Norwegian Research Council project 535640 (JELLYFARM).

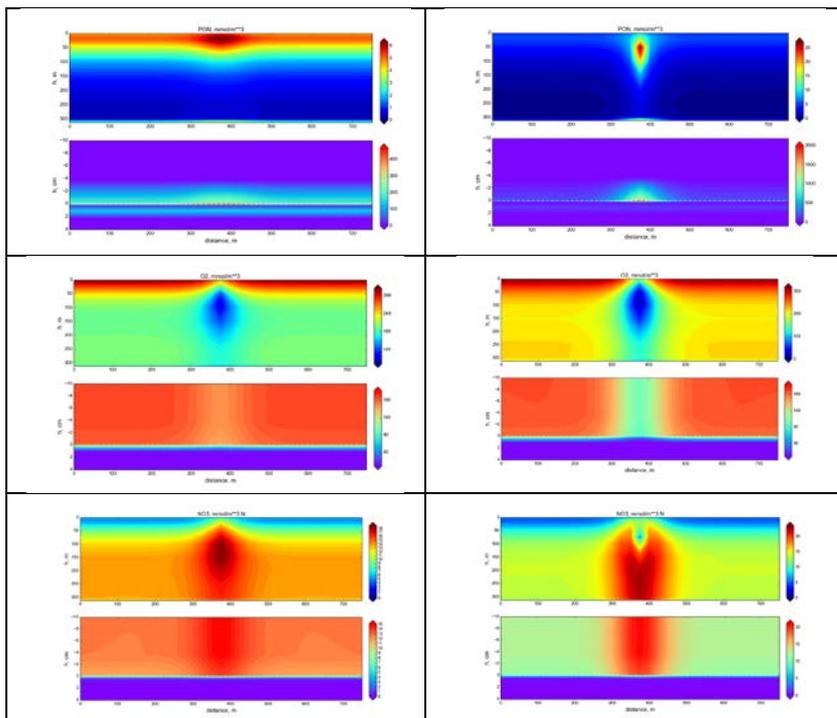


Figure 3. Distribution of particulate organic nitrogen (top), dissolved oxygen (middle) and nitrate (bottom) at a transect across the fishfarm in case of present waste deposition (left) and in case of 3 times increased waste deposition (right).

*Aknowledgements:* This work was supported by Norwegian Research Council project 535640 (JELLYFARM)

## REFERENCES

1. Bannister R.J., Johnsen I.A., Hansen P.K. et al. Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems // ICES Journal of Marine Science. 2016. V. 73(9). P. 2408–2419.
2. Corner R.A., Brooker A.J., Telfer T.C. et al. A fully integrated GIS-based model of particulate waste distribution from marine fish-cage sites // Aquaculture. 2006. V. 258(1). P. 299–311.
3. Yakushev E.V., Protsenko E.A., Bruggeman J. et al. Bottom RedOx Model (BROM v.1.1): a coupled benthic-pelagic model for simulation of water and sediment biogeochemistry // Geoscientific Model Development. 2017. V. 10(1). P. 453–482.
4. Bruggeman J., Bolding, K. A general framework for aquatic biogeochemical models // Environmental Modelling & Software. 2014. V. 61. P. 249–265.

**Yakushev E.<sup>1,2</sup>, Nøst O.A.<sup>3</sup>, Bruggeman J.<sup>4</sup>, Ghaffari P.<sup>3</sup>, Protsenko E.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>Norwegian Institute for Water Research; Norway, <sup>2</sup>P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Russia, <sup>3</sup>Akvaplan-NIVA, Norway, <sup>4</sup>Plymouth Marine Laboratory, United Kingdom)

**Modeling lake Urmia biogeochemical regime changes in the period of the lake drying**

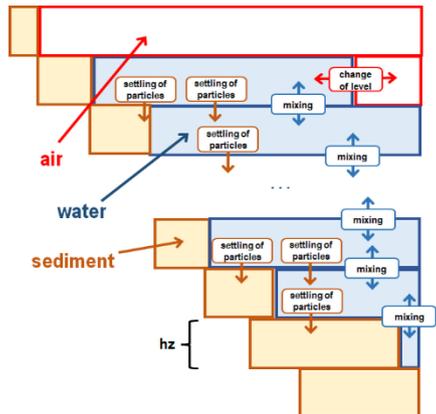
Key words: Lake Urmia, hypersaline, drying, modeling, observations

Lake Urmia is a shallow enclosed hyper-saline lake located in north-western region of Iran. The primary water sources are precipitation and freshwater discharge from rivers and springs and the principal water loss in Lake Urmia is evaporation. Recently, an increase in evaporation and anthropogenic consumption of water for irrigation from the one side and decrease in rainfall and fluvial inflow from the other side have led to salinization and water level decline. Diverse observations show that Lake Urmia is drying rapidly, and it may completely vanish in few years [1].

The goal of this work was to develop and configure a model to simulate Urmia lake biogeochemical and physicochemical regime changes. The biogeochemical Bottom RedOx Model (BROM) [2] was chosen to simulate biogeochemical/chemical transformation of matter and a specially designed vertical box model was constructed to describe the Lake’s processes of evaporation, salt formation and transport of matter inside the water and sediments (Fig. 1).

Figure 1. Box model for Lake Urmia

The model considers 100 horizontally homogeneous layers with thickness  $h_z = 10$  cm, that could be filled by air, water or sediments. The volumes of the layers corresponded to those from the Lake Urmia basin. Volume of water in the surface layer increases or decreases depending on the changes in the Lake level, prescribed as an external parameter. In case of a decrease of the surface water layer thickness to less than 5 cm this layer is merged with the next deeper. In case of an increase of the water layer thickness to more than 15 cm, the layer is split between a deeper layer of the standard 10 cm thickness and a new surface layer of the remaining thickness. The flux of particles sinking out from every layer is divided between flux to the next, deeper layer of water and to settling onto the



next layer of sediment (Fig. 1). The particles flux to the bottom layer is non-zero when the porosity (ratio between liquid and solid phases) is greater than the threshold value of 30 %. The vertical exchange can be due to turbulent diffusion in the water column and molecular diffusion in the pore water. This box model is coupled with BROM biogeochemical modules using FABM [3].

The model was forced by hydrophysical data and lake level changes calculated with hydrodynamical model FVCOM [4, 5].

Analysis of data of observations on the main salt content led to modification of the BROM with improved description of chemical processes important for the Lake Urmia, such as the formation and dissolution of calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), quartz ( $\text{SiO}_2$ ), gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ), glauberite ( $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ ), halite ( $\text{NaCl}$ ), sylvite ( $\text{KCl}$ ).

The BROM description of biogeochemical processes was also modified on the base of the available data on the biogeochemical regime, i.e. sediment mineralogy, concentrations and seasonal variability of nutrients in the water column, river/rain chemical discharges etc. The model was validated against the available data. The model was used to simulate seasonal and interannual changes in the biogeochemical and physicochemical regime of the Lake Urmia in the period 1993–2012.

### *Results.*

The results of simulations are shown in figures 2–4.

Long-term changes in the lake's level generally lead to decrease of the water volume and an increase of concentrations of all biogeochemical parameters including the main ions, i.e. Cl (Fig. 2). Seasonal changes connected with net evaporation during summer and net precipitation and river discharge in winter cause corresponding seasonal fluctuations in concentration.

After reaching halite saturation level, the process of the halite precipitation starts and results in formation of a thick layer of salt at the bottom of the lake (Fig. 3).

This precipitation creates a positive feedback by further decreasing water layer thickness and increasing pelagic concentrations of biogeochemical constituents. In the pore water the processes of halite precipitation or dissolution could continue, depending on the loss or accumulation of dissolved ions during exchange with the pelagic.

Salinization had dramatic consequences for the lake's ecosystem that initially consisted from a dominating species of phytoplankton (*Dunaliella*) and zooplankton (*Artemia urmiana*), that are tolerant to the high salinity, i.e. about 120 g/l in the Lake Urmia in 1990s. However, mortality of *Artemia* increases in case of salinity close to the halite precipitation values (300–400 g/l). Parameterization of this effect in the model allowed to demonstrate disappearance of modeled Heterotrophs (*Artemia*) and increasing of biomass of Phytoplankton (*Dunaliella*) biomass in 2000s (Fig. 4, 5), that correspond to the observations.

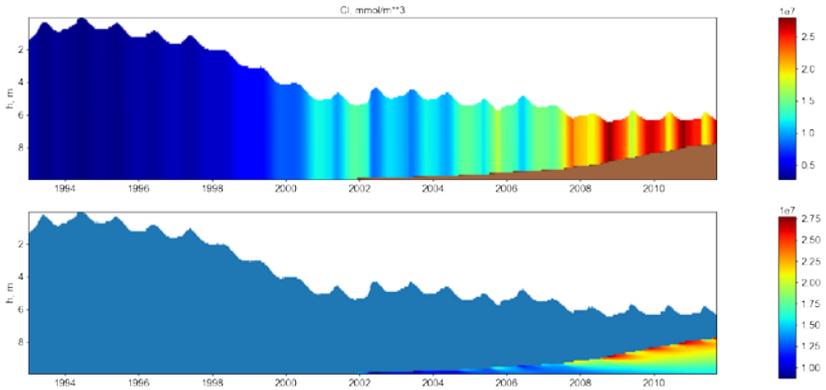


Figure 2. Calculated variability of Cl ( $\text{mmol/m}^3$ ) in the Lake Urmia in 1993–2012 in the water column (top) and in the sediments (bottom). Vertical axis is in meters, horizontal axis is in years. In the top figure volume occupied by air is shown in white, volume occupied by sediments is shown in brown.

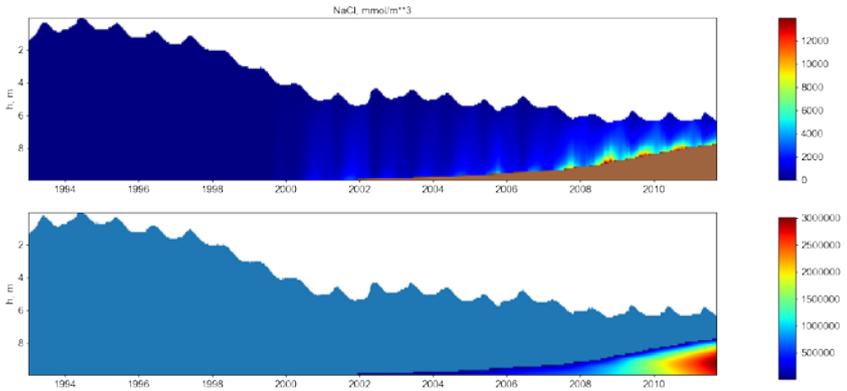


Figure 3. Calculated variability of particulate NaCl ( $\text{mmol/m}^3$ ) in the Lake Urmia in 1993–2012 in the water column (top) and in the sediments (bottom). Vertical axis is in meters, horizontal axis is in years. In the top figure volume occupied by air is shown in white, volume occupied by sediments is shown in brown.

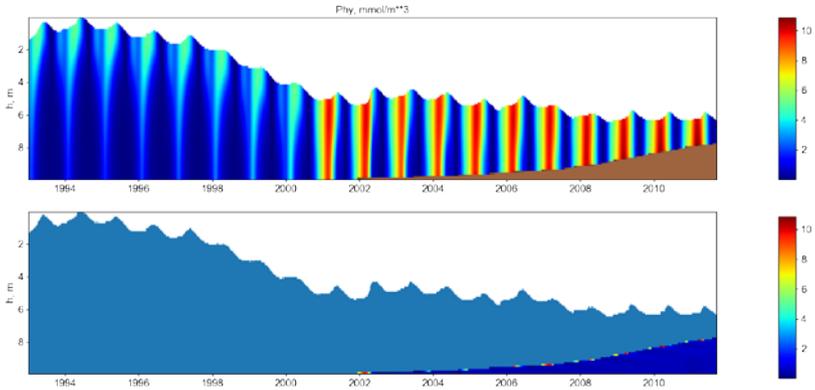


Figure 4. Calculated variability of Phytoplankton (*Dunaliella*) ( $\text{mmol N/m}^3$ ) in the Lake Urmia in 1993–2012 in the water column (top) and in the sediments (bottom). Vertical axis is in meters, horizontal axis is in years. In the top figure volume occupied by air is shown in white, volume occupied by sediments is shown in brown.

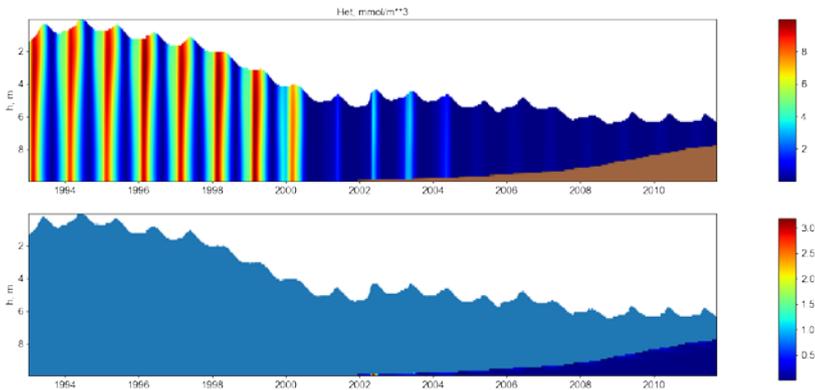


Figure 5. Calculated variability of Heterotrophs (*Artemia*) ( $\text{mmol N/m}^3$ ) in the Lake Urmia in 1993–2012 in the water column (top) and in the sediments (bottom). Vertical axis is in meters, horizontal axis is in years. In the top figure volume occupied by air is shown in white, volume occupied by sediments is shown in brown.

Summarizing, the model satisfactory reproduces mechanism of the wide range

of changes in the Lake Urmia chemical and biogeochemical regime occurred in the recent decades. It encourages further use of this model to evaluate the potential consequences of different management scenarios aimed at Urmia Lake restoration (i.e. conveyance of the water from the Caspian Sea).

### REFERENCES

1. Chander A. The drying of Iran's Lake Urmia and its environmental consequences. *Environ. Dev.* 2012. V. 2(2). P. 128–137.
2. Yakushev E. V., Protsenko E. A., J Bruggeman et al. Bottom RedOx Model (BROM v.1.1): a coupled benthic–pelagic model for simulation of water and sediment biogeochemistry // *Geoscientific Model Development*. 2017. V. 10(1). P. 453–482.
3. Bruggeman J., Bolding, K. A general framework for aquatic biogeochemical models // *Environmental Modelling & Software*. 2014. V. 61. P. 249–265.
4. Chen, C., Beardsley, R. C., and Cowles, G. 2006. An unstructured grid, finite-volume coastal ocean model FVCOM system. *Oceanogr.*, V. 19(1). P. 78–89.
5. Nøst O.A, Yakushev E., Bruggeman J., Ghaffari P., Torres R., Polimene L., Saille S., Staalstrøm A. Lake Urmia interim report. *Akvaplan–niva AS Rapport: 7161*. 2017. P. 191 (in press)

**СИМПОЗИУМ  
ИМ. Н.А. АЙБУЛАТОВА  
«ГЕОЭКОЛОГИЯ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ  
МИРОВОГО ОКЕАНА, НОВЫЕ  
МЕТОДЫ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО  
МОНИТОРИНГА»**

**N.A. AIBULATOV MEMORIAL  
SYMPOSIUM “GEOECOLOGY,  
POLLUTION OF THE WORLD  
OCEAN, NEW METHODS OF FOUR-  
DIMENSIONAL MONITORING”**

**Аракелян Ф.О.<sup>1</sup>, Зубко Ю.Н.<sup>1</sup>, Левченко Д.Г.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>ООО «Атомсейсмоизыскания», Москва; <sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: [levch35@mail.ru](mailto:levch35@mail.ru))

## **Особенности создания и эксплуатации систем сейсмической защиты для АЭС**

**Arakelyan F.O.<sup>1</sup>, Zubko U.N.<sup>1</sup>, Levchenko D.G.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>«Atomseismicsearch» LTD, Moscow; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

## **Creation and operation experience Systems of seismic protection for the Atomic power stations**

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, аппаратурное обеспечение АЭС, алгоритмы срабатывания, пороги защиты, интерфейсы связи

Требования к сейсмостойкости атомных электростанций (АЭС) отличается существенной спецификой по сравнению с подобными требованиями для других промышленных объектов. Согласно технологическим условиям АЭС обычно располагаются на берегу крупных водоемов, что создает добавочный источник опасности. Местные и удаленные землетрясения могут вызвать волны цунами, сейшевые колебания на поверхности акваторий, возможны ветровые нагоны, разрушение берега волнами и др. явления. Известна катастрофа на АЭС «Фукусима» (Япония) в 2011 г., как следствие сильного землетрясения в Тихом океане. В 2014-15 годах в ООО «Атомсейсмоизыскания» была разработана и пущена в опытную эксплуатацию система сейсмической защиты (ССЗ-1М) энергоблоков Смоленской АЭС. В архитектуру системы была заложена схема трёх независимых трехкомпонентных трактов измерения сейсмических сигналов с алгоритмом срабатывания два из трех. Такая схема исключает возникновение ложного сигнала тревоги при локальном воздействии на один из трактов. Система имеет возможности автоматической диагностики неисправностей. Для проверки работоспособности системы были разработаны специальные имитаторы сигналов.

Требования к сейсмостойкости атомных электростанций (АЭС) отличается существенной спецификой по сравнению с подобными требованиями для других промышленных объектов. Если для последних под сейсмостойкостью подразумевается, прежде всего, отсутствие недопустимых повреждений строительных конструкций, то для АЭС это дополнительно означает сохранение ядерной и радиационной безопасности для окружающей среды. Согласно технологическим условиям АЭС обычно располагаются на берегу крупных водоемов, что создает добавочный источник опасности. Местные и удаленные землетрясения могут вызвать волны цунами, сейшевые колебания на поверхности акваторий, возможны ветровые нагоны, разрушение берега волнами и др. явления. Известна катастрофа на АЭС «Фукусима» (Япония) в 2011 г., как следствие сильного землетрясения в Тихом океане [1–5].

Необходимо отметить, что принципы построения и функционирования систем сейсмической защиты АЭС коренным образом отличаются от систем, используемых для текущего мониторинга землетрясений. Основным требованием к системам защиты является выделение с высокой надежностью сейсмических событий опасных для работы АЭС и соответственно для окружающей среды. При этом другие сейсмические явления не интересны. Поэтому такие системы могут успешно работать в старт-стопном режиме с регистрацией только критических событий. Основное внимание при этом должно уделяться различным аспектам надежности: технической, методической, организационной и т.д.

В 2014–15 гг. в ООО «Атомсейсмоизыскания» была разработана и пущена в опытную эксплуатацию система сейсмической защиты (ССЗ-1М) энергоблоков Смоленской АЭС. При её проектировании был учтён опыт создания и эксплуатации отечественных и зарубежных подобных систем. При этом основное внимание было направлено на надёжность, отсутствие ложных срабатываний, стабильность параметров во времени, защиту от внешних несанкционированных воздействий, оперативную ремонтпригодность [6–15]. Систему сейсмической защиты ССЗ-1М отличает применение современного технического и программного обеспечения, привязка к реальному времени по навигационной системе GLONAS, оперативная доступность для контроля всех параметров, автоматическая диагностика возможных неисправностей, архивирование действий оператора и долговременное хранение накопленной информации, подача световой и звуковой сигнализации. Для исключения несанкционированного воздействия на аппаратуру ССЗ-1М извне, внутренняя коммуникационная сеть системы не выходит в Интернет.

В архитектуру системы была заложена схема трёх независимых трехкомпонентных трактов измерения сейсмических сигналов с алгоритмом срабатывания два из трех. Такая схема исключает возникновение ложного сигнала тревоги при локальном воздействии на один из трактов. Для проверки работоспособности системы были разработаны специальные имитаторы сигналов.

Система сейсмической защиты ССЗ-1М развернута вокруг каждого из трех энергоблоков Смоленской АЭС и дублирована для основного и запасного постов управления блоками. Система содержит в общей сложности восемнадцать сейсмографов, объединенных в шесть групп. Каждая группа состоит из 3-х независимых постов наблюдения, разнесенных на расстояние до 500 м от охраняемого блока. Такое расстояние выбрано на основании анализа геологического строения района расположения Смоленской АЭС и определяется временем распространения сейсмических сигналов между постами. С учётом этого расположения был выбран интервал времени, в котором происходит операция конъюнкции сигналов от измерительных линий, превышающих заданную величину

порога. В условиях грунтов промышленной площадки АЭС это время составляет 100 миллисекунд [14–17]. Сигнал опасности формируется только в том случае, если на двух или трёх постах одновременно происходит регистрация суммарного вектора ускорения, превышающего заданный порог, при этом записи события и его предыстория архивируются.

Посты содержат модули предварительной обработки сигналов (МПОС), включающие трёхкомпонентные акселерометры, аналого-цифровые преобразователи и детекторы превышения уровня. При этом вычисляется среднеквадратическое значение сигнала от трёх компонентов каждого из акселерометров и сравнивается с установленными порогами. Следует отметить, что детекторы превышения уровня в системе работают с постоянным порогом срабатывания. Этот порог определялся путем анализа уровней сейсмических сигналов допустимых для оборудования АЭС и характерных для данного региона. Применение детекторов со скользящим порогом срабатывания типа STD/LTD в данном случае недопустимо. Модули МПОС собраны на базе микроконтроллеров повышенной надежности типа OCTAGON-6040. Для большей надёжности работы всей системы она дублирована, т.е. на каждом из трёх постаментов расположено по два сейсмографа, соединенных кабельными линиями с двумя постами управления (основным и запасным) на соответствующих энергоблоках АЭС.

Одними из основных элементов системы сейсмической защиты являются датчики сейсмических сигналов – акселерометры. Основными критериями выбора в данном случае служат стабильность параметров во времени и устойчивость их при внешних воздействиях. Акселерометры магнитоэлектрической конструкции (например, АС-63 и др.) имеют большую чувствительность и более широкий динамический диапазон, чем примененный в данной системе ms2002, однако вследствие старения магнита и системы подвеса, чувствительность приборов такой конструкции меняется со временем, что требует их периодического демонтажа и аттестации. Акселерометры пьезоэлектрического типа также меняют свои параметры со временем и при изменении температуры.

В результате анализа был выбран акселерометр типа ms2002 (производство фирмы SYSCOM, Швейцария), изготовленный по МЭМС технологии дифференциальных ёмкостных датчиков травлением в монокристалле кремния, что обеспечивает высокую стабильность параметров. Датчики ms2002 калибруются на заводе. Все калибровки записываются в постоянную память и не изменяются за весь срок эксплуатации более 30 лет.

Программы функционирования системы сейсмической защиты ССЗ-1М разделяются на два уровня. Программа нижнего уровня записана в микроконтроллере предварительной обработки данных типа OCTAGON-6040, находящемся в МПОС непосредственно вблизи входа измерительного

тракта. Главной функцией программы является оцифровка аналоговых сигналов акселерометра, вычисление среднеквадратичного значения по трем компонентам, сравнение его с установленными порогами и выдача соответствующих сигналов в блок совпадений.

Программа верхнего уровня написана и работает в среде WINDOWS в компьютере Intel i7, находящимся в блоке окончательной обработки сигналов (БООС), и выполняет все сервисные работы системы защиты: постоянный контроль исправности, архивирование данных, отображение текущего состояния, задание параметров, фиксация действий оператора и другие. Программа верхнего уровня не участвует непосредственно в выработке сигналов опасности.

*Основные технические характеристики системы сейсмической защиты  
ССЗ-1М*

- |   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. Уровень порога защиты                            | 0.5 м/с <sup>2</sup>  |
| 2. Уровень порога предупреждения                    | 0.25 м/с <sup>2</sup> |
| 3. Максимальная длина соединительных кабелей        | 600 м                 |
| 4. Сохранение функций при пропадании электропитания | 15 мин                |
| 5. Потребляемая мощность (одной группы)             | 300 Вт                |

Система сейсмической защиты ССЗ-1М при внедрении ее в работу на Смоленской АЭС показала надёжность, информативность и простоту обслуживания. С начала эксплуатации в 2015 г. не было зафиксировано ложных срабатываний аварийной сигнализации. В опытном режиме эта система будет эксплуатироваться до следующего планово-предупредительного ремонта энергоблока, ориентировочно в 2020 г. За это время будут выявлены ее недочеты и выработаны рекомендации по дальнейшему применению.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций: НП-031-01. Госатомнадзор России. 2001.
2. IAEA No. SSG-9 – Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide No. SSG-9. ISBN 978–92–0– 102910–2, IAEA, Vienna 2010. 62 p.
3. Антоновская Г.Н., Капустян Н.К., Рогожин Е.А. Сейсмический мониторинг промышленных объектов: проблемы и пути решения // Сейсмические приборы. 2015. Т. 51. № 1. С. 5–15.
4. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии / Отв. ред. Уломов В.И. Т. 1–3. ИФЗ РАН, 1993. 490 с.
5. Карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Москва. 2000.
6. Bolleter W., Wollerau, Zeck K. Seismic Monitoring in Nuclear Power Plants – Yesterday and Today // Atw. 2013. V. 58 (6). P. 346–347.
7. Andrews A., Folger P. Nuclear Power Plant Design and Seismic Safety

- Considerations. Energy and Natural Resources Policy. 2012. January 12. P. 20–23.
8. Forni M. et al. Seismic Isolation of the Iris Nuclear Plant // Proc. of the 2009 ASME pressure Vessel and Piping Conference. Prague. Czech Republic. July 26–30.
  9. Forni M., De Grandis S. Seismic-Initiated events risk mitigation in LEad-cooled Reactors: the SILER Project // Proc. of the 15WCEE. 2012. Lisbon, September 24–28.
  10. Medel-Vera C., Tianjian Ji. Seismic protection technology for nuclear power plants: a systematic review // Jour. Nucl. Sc. Techn. 2015. V. 52. Is.5. P. 607–632.
  11. Radeva S. Multiple-model structural control for seismic protection of nuclear power plant //Nucl. Engineer. and Design. 2010. V. 240. P. 891–898.
  12. Devaux M., Lestuzzi P. Seismic vulnerability of monumental buildings in Switzerland // Proc. 9th Intern. Conf. Struct. Stud. Repair. Maint.Heri. Archit. IX. 2005. V. 1(83). P. 215–225.
  13. Moon F.I., Yi T., Leon R.T., Kahn L.F. Recommendations for the seismic evaluation and retrofit of low-rise URM structures // Journ. Struct. Engin. (ASCE). 2006. V. 132(5). P. 663–672.
  14. Аракелян Ф.О., Мнацаканян В.Л., Акопян Г.А. Экспериментальные исследования по сейсмозащите сооружений АЭС // Экспресс-информация «Энергетика электрификация». Сер. Сооружения атомных электростанций. 1988. Вып. 9. С. 11–74.
  15. Аракелян Ф.О. Методика и результаты исследований сейсмической опасности площадок АЭС. Ереван: Егегя, 2009. 108 с.
  16. Руководство оператора ССЗ-1М.000.000 2015 М. С. 5–14.
  17. Руководство по эксплуатации ССЗ-1М.000.000 РЭ. С. 3–20.

Requirements to seismic safety of atomic power stations (APS) essential specificity differs in comparison with similar requirements for other industrial objects. According to technological conditions of the atomic power station usually settle down on the bank of large reservoirs that creates an additional source of danger. The basic requirement to these systems is allocation with high reliability of seismic events of the atomic power stations dangerous to work and accordingly for environment. In 2014-15 in Open Company «*Atomseismicsearch*» LTD the system of seismic protection (ССЗ-1М) power units of the Smolensk atomic power station has been developed and started up in pre-production operation. In architecture of system the scheme of three independent three-componential paths of measurement of seismic signals with algorithm of operation two of three has been put. Such scheme excludes occurrence of a false alarm signal at local influence on one of paths. The system has possibilities of automatic diagnostics of malfunctions. Special simulators of signals have been developed for check of working capacity of system.

**Белов Н.С.<sup>1</sup>, Данченков А.Р.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград; <sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва)

## **Возможности совместного использования БПЛА и наземного лазерного сканирования для мониторинга береговой зоны**

**Belov N.<sup>1</sup>, Danchenkov A.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic federal university, Kaliningrad; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

## **The possibilities of using UAV and terrestrial laser scanning for coastal monitoring**

Keywords: terrestrial laser scanning; UAV; point cloud; high-resolution monitoring; coastline; Curonian Spit; the Baltic Sea

Наблюдения за состоянием береговой зоны с применением наземного лазерного сканирования (НЛС) ведутся нами уже с 2011 г. БПЛА впервые использовался нами с 2016 г. и с марта 2017 г. был включен как инструмент в программу наблюдений. С целью сравнения точности получаемых данных нами был проведен эксперимент на 2 участках российской части Куршской косы в период июль-август 2017 г. Результаты эксперимента показали широкую практическую применимость БПЛА, но с существенными оговорками. Использование БПЛА не заменяет наземное лазерное сканирование, однако, предоставляет широкие возможности для расширения географии мониторинговых наблюдений.

В целях оптимизации мониторинговых наблюдений был проведен эксперимент с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и системы наземного лазерного сканирования. Использование БПЛА при мониторинге приобретает все большую популярность. Если в период 2010–2015 гг. основными пользователями были энтузиасты и узкие специалисты, а сами системы стоили достаточно дорого, то после 2015 г. наблюдается валлообразное увеличение использование БПЛА при различных исследованиях. Связано это в первую очередь, с удешевлением самих БПЛА и выросшими вычислительными мощностями для обработки данных фотограмметрии.

Наблюдения за состоянием береговой зоны с применением наземного лазерного сканирования (НЛС) ведутся нами уже с 2011 г. БПЛА впервые использовался нами с 2016 г. и с марта 2017 г. был включен как инструмент в программу наблюдений. С целью сравнения точности получаемых данных нами был проведен эксперимент на 2 участках российской части Куршской косы в период июль-август 2017 г. Результаты эксперимента показали широкую практическую применимость БПЛА, но с существенными оговорками. Использование БПЛА не заменяет наземное лазерное

сканирование, однако, предоставляет широкие возможности для расширения географии мониторинговых наблюдений.

Полученные результаты продемонстрировали совпадение в плане съемки с БПЛА и НЛС в пределах первых 15 см. Однако наблюдались более чем большие расхождения по объемам песчаного материала и, в отдельных случаях, по высотным характеристикам. Съемка и 3Д моделирование с использованием БПЛА не заменяет НЛС, вместе с тем является прекрасным дополнением и дает отличные возможности для оперативного мониторинга с соблюдением определенных технических условий.

При мониторинге использовались: наземный лазерный сканер Topcon GLS-1500, геодезический гпс приёмник Topcon GR5 с контролером Topcon FC250, БПЛА DJI Phantom 4. Координирования съемок проводилось методом точка стояния-точка ориентирования для НЛС, методом наземных опорных точек – БПЛА (рис. 1). Точность привязки для сканера – 3–7 мм, для БПЛА – 10–19 мм.

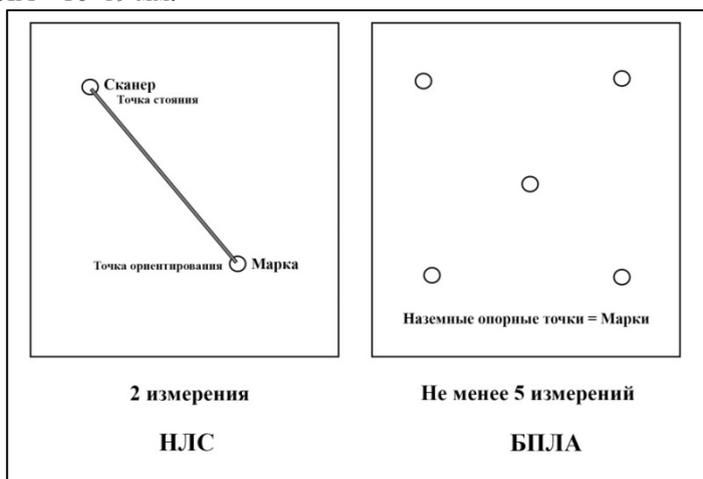


Рисунок 1. Способы координирования.

Куршская коса является классическим примером песчаной пересыпи, основное питание которой получается за счет размыва берегов Самбийского полуострова (рис. 2). Особенности формирования берегов косы зависит не только от интенсивности процессов переноса песка вдольбереговыми и придонными течениями, но и от гидрометеорологических условий, приводящих к переносу материала как вдоль береговой зоны, так и вглубь нее [1]. Вместе с тем, процессы разрушения морского побережья наблюдаются не только на территории Калининградской области, но и в соседней Литве [2]. Вследствие интенсификации негативных процессов происходит изменения и в типизации берегов. Для удобства работы

типизация берегов Куршской косы была взята у Болдырева В.Л. [3] и Жуковской И.П. [4]. Так, участки побережья, относящиеся к условному типу «аккумулятивные песчаные стабильные морские», переходят в тип «аккумулятивные песчаные размываемые морские», а участки, относящиеся к типу «переходный морской», в «размываемый морской» соответственно. В целом наблюдается проявления абразионных явлений на участках берегов, где это было не характерно. Все это обуславливает необходимость увеличения мониторинговых наблюдений за состоянием береговой зоны. Исследования береговой зоны с применением TLS и UAV занимают во многих странах. Области применения UAV не ограничиваются только мониторингом.

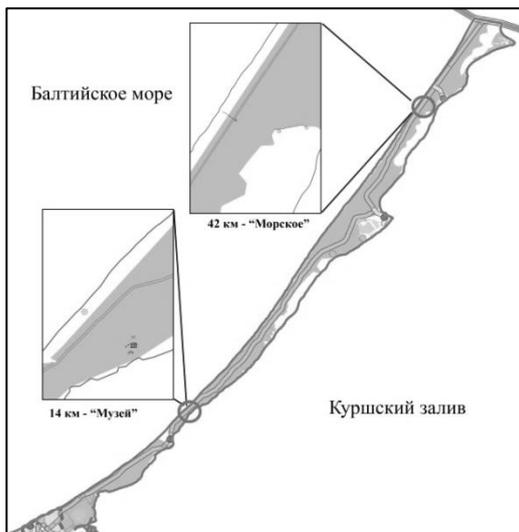


Рисунок 2. Районы исследований

Есть послештормовые обследования береговой зоны [5], реконструкция рельефа [6], подсчеты объемов песчаного материала [7] и многие другие. Однако в работах не указывается, какие сложности ждут исследователей при использовании UAV. В первую очередь, технологии, как съемки, так и обработки полученных данных сильно разнятся. В этом плане особенно интересна работа [8], где подробно указаны недостатки в работе с фотограмметрией (начиная от наличия/отсутствия света и заканчивая координированием данных). В исследовании [9] отмечается, что, не смотря на большой объем данных с UAV при сравнении с данными TLS наблюдается генерализация, приводящая зачастую к ошибкам в обработке. В исследовании [10] указано, что для построения топокарт побережья данные UAV подходят, однако присутствуют проблемы с высотными отметками. В целом во многих работах указывается на положительный

опыт использования данных UAV, однако, как правило, не указывается о тех сложностях, которые возникают в процессе обработки этих данных. Проведенный эксперимент показал как плюсы, так и минусы использования БПЛА. Так скорость работы непосредственно в «поле», полностью нивелируются временем обработки соответственно (11 и 12 минут полета – 240 минут обработки для БПЛА, 72 минуты сканирования на обоих участках и 32 минуты обработки для НЛС). Объем сырого материала различается значительно, но, не смотря на это, происходит сглаживание при обработке данных БПЛА (рис. 3), что приводит как к потерям в расчетах объемов, так и к проблемам при построении профилей (потеря микро форм).

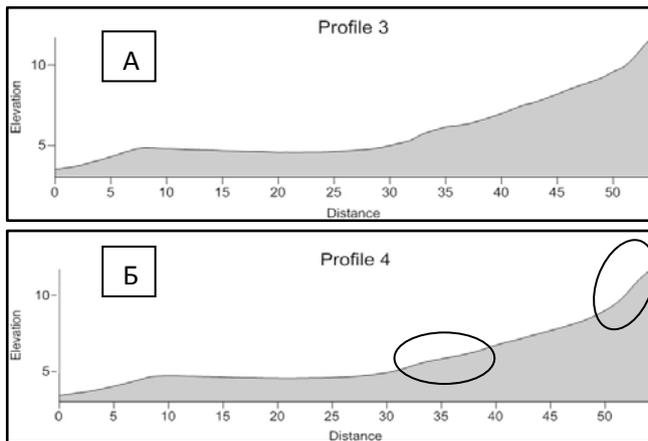


Рисунок 3. А – профиль по данным НЛС, Б – профиль по данным БПЛА (выделены – сглаживание рельефа и собой высотной отметки).

Результаты совмещения НЛС и БПЛА дали возможность говорить о совпадении в плане до 10–15 см, а вот с высотными отметками наблюдаются расхождения от 10 см до 2 м. Однако при соблюдении технических условий использования данных фотограмметрии и при координировании данных в местную систему координат, совместное использование НЛС и БПЛА открывает поистине огромные возможности в области оперативного мониторинга и 3д моделирования береговой зоны. Исследование выполнено при поддержке Программы повышения конкурентоспособности БФУ им. И. Канта "5-100".

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kelpšaitė L., Dailidienė I. Influence of wind wave climate change to the coastal processes in the eastern part of the Baltic Proper // Journal of Coastal Research. 2011. SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium, Szczecin, Poland), P. 220–224.

2. Dailidienė I., Gelumauskaitė L.Ž., Grigelis A. et al. Baltijos jūros krantų erozijos problemų analizė ir sprendimo būdai / sudarytojas Algimantas Grigelis. Lietuvos mokslų akademija, Vilnius, 2015. 156 p.
3. Болдырев В.Л., Бобыкина В.П., Бурнашов Е.М. Результаты и дальнейшие перспективы мониторинга берегов Куршской косы // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». 2007. Вып. 5. Калининград: РГУ им. И. Канта. С. 76–93.
4. Жуковская И.П., Харин Г.С. Типы осадков и разрезов верхнечетвертичного чехла и геологическая устойчивость Куршской косы (Балтийское море) // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 3. С. 215–233
5. Turner I.L., Harley M.D., Drummond Ch.D. UAVs for coastal surveying // Coastal Engineering. August 2016. V. 114. P. 19–24.
6. Mancini F., Dubbini M., Gattelli M. et al. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for High-Resolution Reconstruction of Topography: The Structure from Motion Approach on Coastal Environments // Remote Sens. 2013. V. 5. P. 6880–6898.
7. Yooa C.I., Ohb T.S. Beach volume change using uav photogrammetry Songjung beach, Korea // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. 2016. V. XLI-B8.
8. Barnes A., Simon K., Wiewel A. From Photos to Models - Strategies for using digital photogrammetry in your project. 2014 ([http://sparc.cast.uark.edu/assets/webinar/SPARC\\_Phogrammetry\\_Draft.pdf](http://sparc.cast.uark.edu/assets/webinar/SPARC_Phogrammetry_Draft.pdf))
9. Ouédraogo M.M., Degré A., Debouche C., Lisein J. The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds // Geomorphology. 2014. V. 214. P. 339–355.
10. Gonçalves J.A., Henriques R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. ISPRS // J. Photogramm. Remote Sens. 2015. V. 104. P. 101–111.

Monitoring of the coastal zone using TLS have been carried out by us since 2011. The UAV was first used by us from 2016 and since March 2017 it was included as an instrument in the monitoring program. In order to compare the accuracy of the data obtained, we conducted an experiment in two parts of the Russian part of the Curonian Spit in the period July-August 2017. The experimental results showed the wide practical applicability of the UAV, but with significant reservations. The use of UAV does not replace TLS, however, it provides ample opportunities for expanding the geography of monitoring. Study was supported by the IKBFU «5-100» Russian academic excellence Project.

**Бубнова Е.С.<sup>1,2</sup>, Крек А.В.<sup>1</sup>, Данченков А.Р.<sup>1,2</sup>, Романь Н.М.<sup>1</sup>**  
**Геоэкологические условия вод северного побережья**  
**Калининградской области**

<sup>1</sup>Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Калининград, e-mail:

[bubnova.kat@gmail.com](mailto:bubnova.kat@gmail.com); <sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва)

**Bubnova E.S.<sup>1,2</sup>, Krek A.V.<sup>1</sup>, Danchenkov A.R.<sup>1,2</sup>, Roman N.M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Geocological conditions of the water near the northern coast of the Kaliningrad region**

Ключевые слова: Балтийское море, Куршская коса, береговая зона, геоэкологические условия, взвешенное вещество, биогенные элементы

Северное побережье Калининградской области характеризуется вдольбереговым перемещением взвешенного вещества и биогенных элементов в сторону куршской косы. Этот тренд в сочетании с достаточным количеством кислорода в воде может создать благоприятную среду для повышения трофности вод вблизи берегов национального парка.

*Введение*

Абиотические и биотические характеристики Балтийского моря делают его исключительным и сильно отличающимся от других европейских морских водоемов по степени протекания экологических процессов. Специфические особенности Балтийского моря (солонатовая вода, стратификация по солёности, частичный ледяной покров зимой и большая площадь дренажа) делают экосистему Балтийского моря особенно чувствительной к природным и антропогенным воздействиям [1–4].

Предполагается, что обновление общей массы Балтийского моря занимает около 25–35 лет [5, 6]. Кроме того, доминирующая циркуляция воды – это циркуляционные циклонические ячейки, образованные силой Кориолиса из-за вращения Земли. Следовательно, при впадении реки в Балтику, вода поворачивается вправо и следует вдоль берега. Это приводит к более длительному времени пребывания сильно загрязненной речной воды, богатой питательными и загрязняющими веществами в акватории [6].

Поэтому работа будет направлена на изучение распределения загрязнения в береговой зоне моря, на примере удаленного от сколь угодно значимых береговых природно-антропогенных источников поступления твердого вещества и загрязнения – Куршской косе. Актуальность работы обусловлена тем, что Куршская коса представляет собой уникальное природное образование, являющееся объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО.

*Материалы и методы*

Исследования на побережье включали в себя оценку экологического состояния морских вод и реках Самбийского полуострова, в том числе определение: концентрации биогенных элементов, взвешенного осадочного вещества и потенциально опасных тяжелых металлов. Отбор проб выполнялся с маломерного судна «РЖД 08-10» батометром емкостью 5 л с горизонта 0,5–1,0 м с 19 по 31 мая 2014 г. В точках пробоотбора проводилось CTD зондирование зондом YSI 600 XLM.

*Результаты исследований*

Гидрологические условия являются важнейшими абиотическими показателями функционирования морских экосистем [7]. В достаточно однородном вдольбереговом поле распределения солёности около мыса Таран было зафиксировано поступление распресненной воды, предположительно поступившей со стоком Вислинской лагуны, что обуславливает особенный гидрохимический режим [8] около мыса (рис. 1). Концентрация взвешенного вещества в этой линзе была минимальной для всего побережья Самбийского полуострова, а за пределами фронта, наоборот, максимальной для всего побережья (рис. 2).

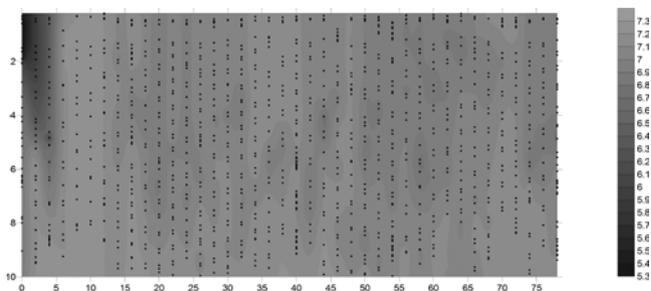


Рисунок 1. Фоновая гидрологическая обстановка на северном побережье Калининградской области. Цветом показана солёность морской воды

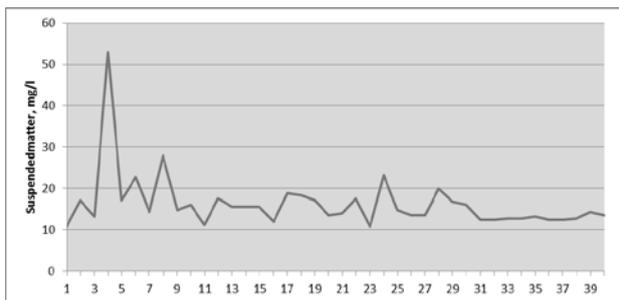


Рисунок 2. Распределение взвешенного вещества вдоль северного побережья Калининградской области

В общем, прибрежные воды Самбийского полуострова были наиболее насыщены взвешенным материалом ( $20.7 \pm 12.4$  мг/л), чем воды Куршской косы ( $14.8 \pm 2.8$  мг/л). Высокое стандартное отклонение в распределении взвеси вероятно вызвано особенностями прибрежной циркуляции. Изрезанность береговой линии и неоднородность подводного рельефа приводит к возникновению циркуляционных ячеек с различными направлениями течений [9, 10]. Хотя, общая картина распространения взвеси согласуется с концепцией уменьшения ее концентрации при удалении от источника [11–13], тем не менее, в районе распространения линзы пресной воды наблюдался противоположный эффект. В точке 1 была отмечена наименьшая концентрация взвеси для всего побережья (10.8 мг/л). Максимальная концентрация была зафиксирована на другой стороне гидрологического фронта в точке возле м. Таран (53.0 мг/л).

Аналогично для распресненного участка были отмечены минимальные концентрации нитритов и нитратов, аммоний-иона, а концентрации фосфатов, наоборот были на наивысшем уровне.

В общем, средние концентрации биогенных элементов (табл. 1) превышали ПДК в единичных случаях ( $\text{NO}_2^-$  в точках возле м. Таран и пос. Рыбачий, 0.025 и 0.024 мг/л соответственно;  $\text{NH}_4^+$  в точке у корня Куршской косы – 0.43 мг/л). Причем, если  $\text{NH}_4^+$  в сезонной динамике имеет летний максимум, как результат минерализации органических веществ, то  $\text{NO}_2^-$  летний минимум за счет интенсивного потребления фитопланктоном. Таким образом, появление нитритов в несоответствующий период свидетельствует о загрязнении водоема [14]. Следует отметить, что максимум минерального азота, поступающего в море с речным стоком, приходится на весну [15].

Таблица 1. Средние содержания биогенных элементов в поверхностной морской воде

Показатель	Концентрация, мг/л			
	мин	макс	среднее	$\sigma$
$\text{NO}_2^-$	<0.02	0.025	0.02	0
$\text{NH}_4^+$	0.059	0.43	0.21	0.08
$\text{NO}_3^-$	<0.01	1.3	0.25	0.34
$\text{PO}_4^{3-}$	<0.01	0.09	0.02	0.02

Средние концентрации основных загрязнителей в большинстве случаев были близки к порогу чувствительности метода определения (табл. 2). Нг и  $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$  обнаружены не были. Превышение ПДК были выявлены в единичных случаях: Си – точки у корня Куршской косы, у п. Рыбачий и п. Морской, со значениями 0.0021, 0.014 и 0.0036, Рв – точки у корня Куршской косы и у п. Рыбачий, со значениями 0.031, 0.014 и 0.014 мг/л, Zn – точки у п. Рыбачий и п. Морской, со значениями 0.062 и 0.015 мг/л, соответственно. Концентрации НП и СПАВ не превышали допустимых пределов.

## Выводы

Химический анализ морской воды на наличие и распределение загрязнения является прямым способом оценки состояния загрязнения окружающей среды. При отсутствии прямых источников поступления загрязнения прибрежная акватория Куршской косы не является свободной от загрязнений. Ее уязвимость может проявляться с особенностями прибрежной циркуляции и трансграничным переносом вещества от потенциальных источников (Самбийский полуостров, вынос с Куршского залива).

Таблица 2. Концентрации загрязнителей в поверхностной морской воде

Загрязнители	Концентрация, мг/л			
	мин	макс	среднее	$\sigma$
НП	<0.005	0.025	0.009	0.006
СПАВ	0.047	0.23	0.14	0.05
Cu	<0.0001	0.0002	0.0001	0
Pb	<0.001	0.031	0.003	0.007
Zn	<0.005	0.062	0.005	0.01
Ni	<0.001	0.0023	0.001	0

Обобщение и обработка архивных данных выполнена в рамках проекта «Экологические риски в период повышения трофности водоема, связанного с сезонным развитием токсичных видов водорослей у берегов Куршской косы» проекта повышения конкурентоспособности "5-100" в БФУ им. И. Канта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dybern B. I., Fonselius S. H. Pollution // The Baltic Sea / A. Voipio (ed.). Elsevier Oceanography Series. 1981. V. 30. P. 351–381.
2. HELCOM. The Baltic Marine Environment 1999–2002. Baltic Sea Environment Proceedings. 2003. V. 87. 48 p.
3. HELCOM. Hazardous substances in the Baltic Sea - An integrated thematic assessment of hazardous substances in the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings. 2010. V. 120B. 116 p.
4. Lehtonen K.K., Schiedek D., Kohler A. et al. The BEEP project in the Baltic Sea: Overview of results and outline for a regional biological effects monitoring strategy // Marine Pollution Bulletin. 2006. V. 53. P. 523–537.
5. Matthaus W., Schinke H. The influence of river runoff on deep water conditions of the Baltic Sea // Biological, Physical and Geochemical Features of Enclosed and Semi-enclosed Marine Systems / E. M. Blomqvist, E. Bonsdorff & K. Essink (eds.). Hydrobiologia. 1999. V. 393. P. 1–10.
6. Kautsky L., Kautsky N. The Baltic Sea, including Bothnian Sea and Bothnian Bay // Seas at the Millennium; An Environmental Evaluation / C.R.C. Sheppard (ed.) Elsevier Science Ltd., Amsterdam, 2000. P. 121–133.
7. Жиндарев Л.А., Рябкова О.И., Сивков В.В. Геология и геоморфология

морских берегов // Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. II: Море / под ред. В.В. Сивкова, Ю.С. Каджояна, О.Е. Пичужкиной, В.Н. Фельдмана. Калининград: Терра Балтика, 2012. С. 19–36.

8. Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В., Соловьев Д.М. и др. Влияние ветрового воздействия и гидродинамических процессов на распространение вод Калининградского залива в акватории Балтийского моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 76–99.

9. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов, М.: ГЕОС, 2001. 272 с.

10. Bubnova E., Krechik V., Sivkov V. Suspended matter concentration alongside the northern coastline of Kaliningrad region (South-Eastern part of the Baltic Sea) // Proceedings of International Conference "Managing risks to coastal regions and communities in a changing world" (EMECs'11 – SeaCoasts XXVI, St. Petersburg, 22-27.08.2016). Moscow, RIOR Publ., 2016. DOI: 10.21610/conferencearticle\_58b4315649948

11. Бабаков А.Н. Динамика осадочного вещества в береговой зоне моря // Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. II: Море / под ред. В.В. Сивкова, Ю.С. Каджояна, О.Е. Пичужкиной, В.Н. Фельдмана. Калининград: Терра Балтика, 2012. С. 37–59.

12. Емельянов Е. М. Седиментогенез в бассейне Атлантического океана. М.: Наука, 1982. 190 с.

13. Дубравин В.Ф., Дорохова Е.В., Сивков В.В., Смыслов В.А. Гидрохимические показатели и взвешенное вещество // Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. II: Море / под ред. В.В. Сивкова, Ю.С. Каджояна, О.Е. Пичужкиной, В.Н. Фельдмана. Калининград: Терра Балтика, 2012. С. 276–291.

14. Берникова Т. А. Гидрология и промысловая океанология. М.: Пищевая промышленность, 1980. 240 с.

15. Дубравин В. Ф. Гидрохимический режим // Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. II: Море / под ред. В.В. Сивкова, Ю.С. Каджояна, О.Е. Пичужкиной, В.Н. Фельдмана. Калининград: Терра Балтика, 2012. С. 106–120.

Northern coast of the Kaliningrad region is characterized by alongshore transport of both suspended matter and nutrients from Kaliningrad peninsula area to the Curonian spit area. This trend in joint with sufficient amount of oxygen in water can create a supportive environment for excessive production near shores of the national park.

**Гладыш В.А.<sup>1,2</sup>, Логвина Е.А.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»), Санкт-Петербург e-mail: info@lenark.ru; <sup>2</sup>ООО «Ленарк», Санкт-Петербург)

## **Литодинамические процессы в морском судоходном канале (Обская губа)**

**Gladyshev V.A.<sup>1,2</sup>, Logvina E.A.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>Gramberg All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean (VNIIOkeangeologia), St. Petersburg; <sup>2</sup>LLC “Lenark”, St. Petersburg)

## **Lithodynamic processes in the marine navigable channel (the Gulf of Ob)**

Ключевые слова: заносимость, литодинамика, экзарация, метод искусственных каналов, порт Сабетта, полуостров Ямал, Обская губа

На основе данных комплексных инженерных изысканий, проводившихся в течение трех лет, проведена оценка интенсивности литодинамических процессов и представлены результаты расчетов заносимости для морского судоходного канала в северной части Обской губы (порт Сабетта). Заносимость канала оценена методами: сейсмостратиграфии, седиментационных ловушек и «искусственных каналов». Проведен расчет объема наносов, вносимых в канал в результате экзарации. Интенсивность литодинамических процессов оценена для различных частей канала и изменяется от высокой или очень высокой на севере до средней или высокой в центральной и южной его частях.

Летом 2012 г. началось строительство нового морского арктического порта в районе поселка Сабетта на полуострове Ямал – в перспективе многофункционального узла Северного морского пути. Субаквальная часть порта Сабетта строится в составе объектов обустройства Южно-Тамбейского газоконденсатного месторождения и включает акваторию порта, подходной и морской судоходные каналы.

Строительство каналов и их эксплуатация неразрывно связаны с процессами заносимости. Дноуглубительные работы в районах с высокой литодинамической активностью являются обязательными как на этапе строительства, так и в процессе эксплуатации каналов. Поддержание объявленных глубин определяется объемами ремонтных дноуглубительных работ, стоимость которых напрямую зависит от объемов наносов. Расчеты заносимости требуют высокой инженерно-гидрографической, инженерно-гидрометеорологической и инженерно-геологической изученности региона. Актуальность этих исследований предполагает применение разнообразных методов.

Морской канал находится в северной (мористой) части Обской губы и пересекает Северообский бар, ограниченный параллелями 71.9 и 72.6° с.ш.

и характеризующийся глубиной менее 15 м. Южнее и севернее бара глубина моря возрастает до 20 м. Поверхностные отложения береговой зоны до глубины 5–7 м представлены мелкими и пылеватými песками, в глубоководной части – илами. Берега различны – от низменных аккумулятивных до обрывистых абразионных [1].

Формирование Северообского бара, где расположен рассматриваемый морской канал, обусловлено положением зоны смешения морских и пресных вод – депоцентра седиментосистемы, областью действия маргинального фильтра. В пределах маргинального фильтра Оби значения потоков осадочного вещества достигают  $1321 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  [2]. Действие маргинального фильтра в районе Северообского бара неоднократно визуально наблюдалось в спокойную ясную погоду. Темные прозрачные соленые воды Карского моря во время прилива проникают в толщу мутной пресной обской воды, оттесняя ее к берегам. Фронт взаимодействия этих вод сопровождается бурным пенообразованием.

Величина заносимости морского канала характеризуется тремя основными факторами – (1) фоновым заилением за счет осаждения взвеси, (2) перемещениями влекомых наносов за счет ветрового волнения и под влиянием течений и (3) перемещением/переносом донного материала вследствие ледовой экзарации.

Для оценки заносимости канала влекомыми наносами авторами статьи [3] ранее был произведен расчет по методике Л.А. Логачева [4]. Исходными данными для расчета являлись: состав и свойства грунтов; глубины моря в районе строительства канала; глубина прорези канала; высоты волнения 1%-ной обеспеченности; величины приливов и отливов; степень проявления сгонно-нагонных явлений; продолжительность безледного периода. Параметры волнового режима рассчитывались для ветров северных направлений, доминирующих в безледный период времени. Расчетные экстремальные высоты волн соответствуют экстремальным ветрам и, соответственно, максимальным нагонным значениям уровня. В результате расчетов были получены помесечные и годовые значения мощности слоя влекомых наносов Н. Расчет производился для 11 точек (с юга на север), расположенных по оси канала с интервалом 5 км, для безледного периода (рис.). В качестве исходной использовалась отметка дноуглубления минус 16 м в Балтийской системе высот 1977 года (БСВ-77).

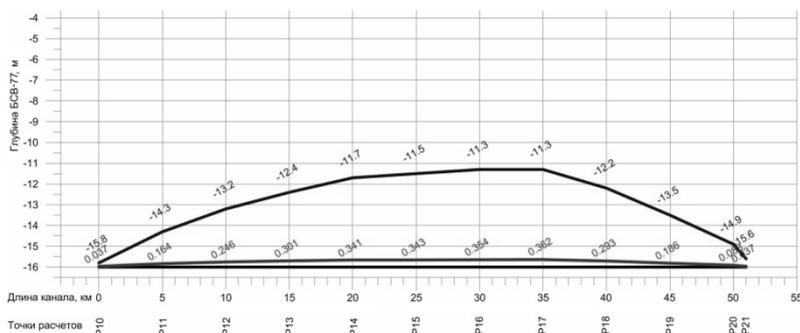


Рисунок. Суммарные значения годового слоя наносов в морском судоходном канале (средняя кривая). Верхняя кривая – естественная глубина. Нижняя кривая – отметка дноуглубления минус 16 м в БСВ-77.

Расчитанные значения заносимости варьируют в пределах 37–362 мм/год с минимальными на севере и юге канала и максимальными в его центральной части.

Для оценки скоростей осадконакопления *методом сейсмостратиграфии* были изучены профили ГЛБО, совмещенные с НСП, отработанные по системе из 20 галсов, в сопоставлении с данными инженерно-геологического бурения [5, 6]. Практически на всех временных разрезах НСП прослеживаются оси синфазности, положения которых соответствуют границам стратиграфо-генетического комплекса, выделенного по данным бурения [6]. Поданным грунтового пробоотбора поверхностный слой грунтов повсеместно представлен глинистыми илами с плотностью влажного грунта  $1.5\text{--}1.6 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Распределение мощности верхнеплейстоцен-голоценовых отложений по площади канала не является равномерным: на севере канала она варьирует в пределах 13–16 м, а в его центральной и южной частях граница стратиграфо-генетического комплекса расположена на поддонной глубине 22 м. Таким образом, скорости осадконакопления составляют 1.0–1.3 мм/год в северной части канала и до 1.9 мм/год в его центральной и южной частях.

*Метод «искусственных каналов»* обычно заключается в проведении тестовых дноуглубительных работ с последующим наблюдением за их заносимостью с помощью промера глубин. В нашем случае этот метод был реализован без проведения тестового дноуглубления благодаря широко распространенной в районе исследований ледовой экзарации [7]. Поскольку размеры борозд сопоставимы с размерами проектируемого канала, величины их заносимости должны быть с определенной долей вероятности близки между собой.

Анализ площадных обследований рельефа дна многолучевыми эхолотами в 2011–13 гг. позволил проанализировать динамику рельефа дна

в исследованном районе. В северной части рассматриваемого канала была выделена самая большая борозда ледовой эскарации и использована в качестве уменьшенной модели канала (табл.).

Таблица. Статистические данные крупной борозды ледовой эскарации.

Параметр	Год		
	2011	2012	2013
Средняя глубина моря, м	15.8	15.8	15.8
Ширина борозды, м	80	80	80
Высота бортика обваловки, м	1.60	1.55	1.52
Размах борозды, м	4.80	4.37	4.02
Средняя глубина борозды, м	3.20	2.82	2.50
<i>Средняя заносимость, мм/год</i>	-	380	280

Глубина борозды за два года сократилась на 60–70 см (в 2011–12 гг. она составляла 35–40 см, в 2012–13 гг. – 25–30 см). Заилиение мелких борозд в 2011–12 гг. происходило со скоростью 25–30 см/год, а в 2012–13 гг. – 15–20 см/год. Бортики обваловки более крупной борозды были размывы в 2011–13 гг. на 5–10 см.

Таким образом, величины заносимости для морского судоходного канала порта Сабетта, полученные нами ранее в результате теоретического расчета (37–362 мм/год [3]), подтверждены методом «искусственных каналов» (250–380 мм/год (2012 г.) и 200–280 мм/год (2013 г.)). Фоновое осадконакопление, обусловленное в первую очередь действием маргинального фильтра и составляющее не более 1.8 мм/год, оценено методом сейсмостратиграфии.

Полученные значения для годового слоя наносов в морском канале порта Сабетта несколько ниже усредненных величин заносимостей существующих гидротехнических сооружений в акваториях Российской Федерации. Основной причиной этого является небольшая продолжительность летнего (безледного) периода и, соответственно, периода штормов, в течение которого происходит передвижение основной массы влекомых наносов. Тем не менее, интенсивность литодинамических процессов в рассмотренном канале оценивается как высокая/очень высокая в его северной части и как средняя/высокая в его центральной и южной частях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спирин А.М., Чачин Д.А., Смирнов А.А. Круглогодичная навигация на порт Сабетта // Арктика: экология и экономика. 2015. № 3 (19). С. 88–95.
2. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
3. Логвина Е.А., Гладыш В.А., Кубышкин Н.В. и др. Оценка заносимости

подходного и морского каналов к порту в поселке Сабетта полуострова Ямал // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 4. С. 105–120.

4. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях / под ред. М.Н. Костяницына, Л.А. Логачева, Г.А. Зенковича. М.: Гидрометеиздат, 1975. 239 с.

5. Летние экспедиционные работы в районе северо-восточной части п-ва Ямал: пояснительная записка по результатам дополнительных работ по объекту. Мурманск: Изд-во АМИГЭ, 2010. 161 с.

6. Строительство объектов морского порта в районе пос. Сабетта на полуострове Ямал, включая создание судоходного подходного канала в Обской губе (морской канал): технический отчет по объекту: в 2 т. Мурманск: Изд-во АМИГЭ, 2011.

7. Гладыш В.А., Логвина Е.А., Нестеров А.В., Кубышкин Н.В. Оценка интенсивности литодинамических процессов в морском судоходном канале порта Сабетта // Инженерные изыскания. № 4. 2017. С. 36–45.

An estimation of the intensity of lithodynamic processes, and calculation results of sediment accumulation for the seaway navigation canal of the Sabetta port (the Yamal Peninsula), on the basis of data of complex engineering surveys carried out in the field seasons in 2011-13 are presented. The sediment accumulation in the canal is assessed using data of the methods of seismic stratigraphy, newly proposed method of artificial canals. The authors calculate the volume of sediments carried into the canal due to exaration. The intensity of lithodynamic processes is estimated as high or very high in the north of the canal, and as medium or high in its central and southern parts.

**Глянцецова Ю.С., Зуева И.Н., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х.**

(Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, e-mail: [gchlab@ipng.vsn.ru](mailto:gchlab@ipng.vsn.ru))

**Содержание и состав углеводородов в донных осадках  
прибрежной зоны Восточно-Сибирского моря**

**Glyaznetsova Yu.S., Zueva I.N., Chalaya O.N., Lifshits S.H.**

(Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk)

**The content and composition of hydrocarbons in bottom  
sediments of the coastal zone of the East Siberian Sea**

Ключевые слова: углеводороды, донные осадки, геохимический фон, биодegradация.

Изучен состав углеводородов из верхнего слоя донных осадков морского порта Зеленый Мыс (р. Колыма) и прибрежной зоны Восточно-Сибирского моря. Показано, что состав и особенности химической структуры углеводородов морских донных осадков определяются поступлением ОВ терригенного генезиса. В речных осадках морского порта установлено присутствие нефтяных углеводородов.

Восточно-Сибирское море (ВСМ) является одной из слабоизученной акватории Российской Федерации. Самая крупная река, впадающая в ВСМ – р. Колыма, речной сток которой является одним из определяющих факторов осадконакопления в прибрежной зоне Восточно-Сибирского моря. Нефть и нефтепродукты (НП) являются наиболее опасными источниками загрязнения и представляют собой экологическую угрозу для арктической природной среды. На р. Колыма только на территории Якутии располагается три крупных нефтебазы и морской порт Зеленый мыс. В результате разливов при транспортировке и в процессе эксплуатации нефтебаз происходит загрязнение вод и береговой части суши. Нефтезагрязнение становится источником поступления нефтяных углеводородов (УВ) по речному стоку в море и его прибрежную часть.

Данные по изучению специфики геохимического фона УВ в донных осадках представлены в ряде работ, выполненных различными исследователями [1–3]. В основном исследования были направлены на выяснение происхождения и закономерностей распределения УВ в донных осадках в связи с решением вопросов выявления техногенного загрязнения и оценки его уровня. При анализе содержания УВ в донных осадках возникает задача дифференцированной оценки антропогенной составляющей от природного геохимического фона, поскольку часто обнаруженные геохимические аномалии в содержании УВ связывают исключительно с нефтяными УВ. Вместе с тем известно, что распространение антропогенных УВ происходит на устойчивом углеводородном геохимическом фоне, что нельзя не учитывать [3].

Целью исследований являлось определение содержания и состава УВ в верхнем слое донных осадков морского порта Зеленый Мыс и в прибрежной

зоне ВСМ, на границе р. Колыма – ВСМ.

Материалом исследования послужили поверхностные (0–5 см) речные донные осадки морского порта Зеленый Мыс (68°47'32"N 161°22'13"E), а также морские осадки, отобранные в районе 69°40'120"N 162°20'38"E.

Комплекс аналитических исследований включал экстракцию хлороформом с получением хлороформенных битумоидов (ХБ), определение структурно-группового состава экстрактов, хроматографическое фракционирование с выделением суммы углеводородных компонентов, смол и асфальтенов, хромато-масс-спектрометрический (ГХ/МС) анализ насыщенных УВ.

Методом ИК-Фурье спектроскопии изучали структурно-групповой состав ХБ. Спектры получены на ИК-Фурье спектрометре “Protege 460” фирмы “Nicolet” в диапазоне волновых чисел 500–4000 см<sup>-1</sup>.

Из ХБ после осаждения асфальтенов избытком петролейного эфира выделяли мальтеновую часть, которую методом колоночной жидкостно-адсорбционной хроматографии на силикагеле АСК разделяли на углеводородные фракции, бензольные и спиртобензольные смолы [4].

ГХ/МС исследования проводились на системе, включающей газовый хроматограф Agilent 6890, имеющий интерфейс с высокоэффективным масс-селективным детектором Agilent 5973N. Хроматограф снабжен кварцевой капиллярной колонкой длиной 30 м, диаметром 0.25 мм, импрегнированной фазой HP-5MS. Газ-носитель – гелий; скорость потока 1 мл/мин. Температура испарителя – 320 °С. Анализ выполняли в режиме программирования температуры от 100°С до 300°С со скоростью 6°С в мин. Ионизирующее напряжение источника – 70 eV. Хроматограммы УВ были получены по общему ионному току. Идентификация соединений осуществлялась по временам удерживания путем сравнения полученных хроматограмм с уже имеющимися спектрами в библиотеке системы.

Известно, что концентрации нефтяных УВ в донных осадках портов и нефтеналивных причалов могут достигать высоких значений [3].

Проведенные исследования показали, что в пробах донных осадков, отобранных в морском порту Зеленый Мыс (р. Колыма), выход ХБ достигает 25500 мкг/г. Проба с максимальным содержанием ХБ характеризуется как нефтезагрязненная. На это указывают данные группового состава, в котором УВ резко преобладают над суммой смолистых компонентов (табл.). По данным ИК-Фурье спектроскопии в структурно-групповом составе ХБ также установлено преобладание углеводородных структур над кислородсодержащими группами и связями. Характер спектра типичен для нефтезагрязненных проб, на что указывает появление набора полос поглощения ароматических структур 750, 810, 880 и 1600 см<sup>-1</sup>.

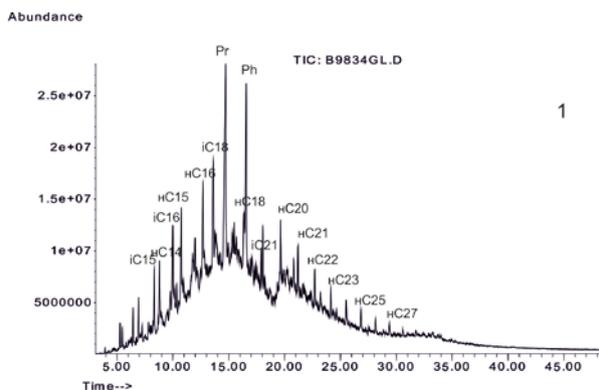
Таблица . Геохимическая характеристика донных осадков.

Параметры	Значения параметров			
	Н-5	К-1	К-2	К-3
№ станции				
Характеристика пробы	речные осадки	морские осадки ВСМ		
Выход ХБ, мкг/г	25500	1577	318	193
Групповой компонентный состав ХБ, %:				
УВ	75.6	14.7	22.2	21.9
Бензолные смолы	6.4	40.3	18.3	17.5
Спиртобензолные смолы	16.1	28.5	45.4	46.4
∑смол	22.5	68.8	63.7	63.9
асфальтены	1.9	16.5	14.1	14.2
Индивидуальный состав насыщенных УВ: $\sum_{\text{н.к.}} \text{н-С}_{20} / \sum_{\text{н.к.}} \text{н-С}_{21}$	2.58	0.04	0.06	0.08
Максимум н-алканов	нС <sub>15,16</sub>	нС <sub>27,29</sub>	нС <sub>27,29</sub>	нС <sub>27,29</sub>
Изопреноиды/н-алканы	1.67	0.01	0.03	0.04
СРІ	0.70	4.77	4.59	4.47
Pr/Ph*	1.64	0.46	0.70	0.91
Pr/нС <sub>17</sub>	61.00	0.67	1.12	0.83
Ph/нС <sub>18</sub>	3.41	1.25	1.37	1.18
Pr+Ph/нС <sub>17</sub> +нС <sub>18</sub>	8.25	0.86	1.25	0.92

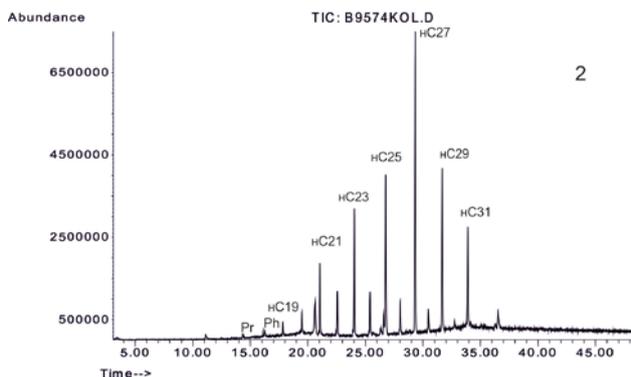
\* - соотношение пристана к фитану

О присутствии нефтяных УВ свидетельствуют особенности состава и характера распределения насыщенных УВ (рис.). Н-алканы составляют 28% от суммы идентифицированных УВ и характеризуются преобладанием относительно низкомолекулярных н-алканов ( $\sum_{\text{н.к.}} \text{н-С}_{20} / \sum_{\text{н.к.}} \text{н-С}_{21}$ -к.к. = 2.58) с максимумом распределения в области нС<sub>15,16</sub>. СРІ (отношение суммы нечетных к сумме четных алканов) – 0.70, что типично для нефти и НП. Характерным для алкановых УВ этих проб является высокое содержание изопреноидов, преобладающих над н-алканами (изопреноиды/н-алканы = 1.67). В составе изопреноидов основной процент (30.43%) приходится на сумму Pr и Ph при преобладающей роли Pr. Pr и Ph преобладают над рядом элюирующимися н-гептадеканом и н-октадеканом, что является характерной особенностью распределения насыщенных УВ, подвергшихся влиянию процессов биodeградации.

Таким образом, согласно полученным результатам, процессы биodeградации, вызывающие трансформацию антропогенных УВ, протекают и в арктических условиях при низких температурах.



1



2

Рисунок. Масс-хроматограммы насыщенных УВ донных осадков порта Зеленый Мыс (1) и ВСМ (2).

Изучение морских осадков, отобранных в прибрежной зоне ВСМ, показало, что выход ХБ изменяется в больших пределах от следовых количеств до значений 193–1577 мкг/г (табл.). В групповом составе ХБ трёх проанализированных проб преобладают смолистые компоненты (63.6–68.7%) при содержании УВ 14.7–22.9% (табл.). Характер ИК-спектров ХБ типичен для континентального ОВ, в котором доминируют соединения с длинными метиленовыми цепями как в углеводородной, так и асфальтово-смолистой части ХБ. На это указывает присутствие дублета в области 720–730  $\text{см}^{-1}$  и отсутствие поглощения ароматических структур. Появление поглощения высокой интенсивности в области 1700–1740  $\text{см}^{-1}$  характерно для ХБ, в составе которых смолистые компоненты преобладают над УВ.

Насыщенные УВ представлены в основном алканами нормального строения, в составе которых преобладают высокомолекулярные гомологи ( $\sum \text{н.к.-nC}_{20} / \sum \text{н.к.-nC}_{21-\text{к.к.}} = 0.04\text{--}0.08$ ) с максимумом распределения на  $\text{nC}_{27,29}$  (рис., табл.). Н-алканы характеризуются преобладанием гомологов с

нечетным числом атомов углерода в молекуле. На это указывают высокие значения CPI (4.47–4.94). Содержание изопреноидов очень низкое, отношение изопреноиды/н-алканы составляет 0.01–0.04. В составе изопреноидов основной процент приходится на Pг и Ph при преобладающей роли Ph (Pг/Ph = 0.46–0.91).

Однотипный состав и особенности распределения индивидуальных насыщенных УВ для всех изученных проб обнаруживают большое сходство с терригенным ОВ, генетически связанным с наземной растительностью. Для липидов этого типа ОВ характерно преобладание нечетных УВ в диапазоне  $nC_{23}$ – $nC_{35}$  и высокие концентрации  $nC_{27}$ ,  $nC_{29}$ ,  $nC_{31}$  [2, 3, 5, 6].

Таким образом, по комплексу геохимических показателей установлено, что в изученных морских донных осадках присутствуют природные углеводородные соединения. Состав и особенности химической структуры ХБ, а также набор реликтовых УВ и характер их распределения типичны для континентального ОВ, что указывает на привнос с суши ОВ терригенного генезиса.

В речных осадках морского порта установлено присутствие нефтяных УВ, на это указывают очень высокие выходы ХБ в пробах и химический состав, типичный для нефтезагрязненных осадков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В. и др. Геохимия полициклических ароматических углеводородов донных осадков Восточно-Арктического шельфа // *Океанология*. 2008. № 2. С. 215–223.
2. Ветров А.А., Семилетов И.П., Дударев О.В. и др. Исследование состава и генезиса органического вещества донных осадков Восточно-Сибирского моря // *Геохимия*. 2008. № 2. С. 183–195.
3. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег-лед-взвесь-донные осадки). М.: Научный Мир, 2004. 328 с.
4. Успенский В.А., Радченко О.А., Горская А.И., Шишкова А.П. Методы битуминологических исследований. Л., Недра, 1975. 123 с.
5. Каширцев В.А. Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. Якутск, ЯФ. Изд-во СО РАН, 2003. 160 с.
6. Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В. и др. Органическое вещество донных осадков Обской губы: распределение, природа, источники. // *Геохимия*. №2. 2010. С. 151–163.

Composition of hydrocarbons has been studied for the samples from upper layer of bottom sediments of the sea port the Green Cape (the Kolyma river) and the coastal part the East-Siberian sea. The results showed that the features of composition and chemical structure of hydrocarbons determined drift of organic matter of terrigenous genesis. At the same time petroleum hydrocarbons had been detected in the samples from the river bottom sediments.

**Гурский Ю.Н.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: yurgur@list.ru)

**Исследование антропогенных загрязнений системы придонная – иловая вода – осадок в прибрежных и приустьевых зонах**

**Gursky Yu.N.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Study of anthropogenic pollution of system near-bottom and interstitial water – sediment in coastal and estuarine areas**

Ключевые слова: донные отложения, иловые воды, внутренние моря, приустьевые зоны, диагенез, маргинальный фильтр, вторичные загрязнения, факторный анализ

Изучено загрязнение прибрежной зоны внутренних морей. В эстуарии Днепровско-Бугского лимана главную роль играет фактор антропогенного загрязнения, отодвигая фактор смешения соленых и пресных вод на второй план. Возможно и вторичное загрязнение водоемов при смешении равновесия системы.

При изучении проблемы охраны природной среды в урбанизированных регионах большую актуальность приобретают данные о количественном составе, формах нахождения и миграции элементов-загрязнителей в воде и донных отложениях прибрежных и, в особенности, устьевых зон. На нескольких конкретных примерах мы хотим показать высокую информативность данных по химическому составу иловых вод, как весьма важного объекта исследований, имеющего ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционным изучением загрязнений в водной толще бассейнов и твердой фазе осадков.

Исследованиями установлено, что наибольшее количество загрязняющих веществ и высокая активность биохимических, геохимических и физико-химических процессов приурочено к граничным поверхностям, или пограничным зонам водного бассейна, таким как океан–суша, река–море, вода–осадок, вода–живое вещество, вода–взвесь, вода–лед. Особенно активны и сложны биогеохимические процессы в эстуариях, вблизи устьев рек, в зонах апвеллингов и других местах прибрежной зоны [1]. Зону смешения речных и морских вод А.П. Лисицын назвал маргинальным фильтром [2]. Основное внимание в этих работах было обращено на условия извлечения и осаждения на дно осадочного материала из речной воды по мере её смешения с морской водой. Система придонная – иловая вода – осадок и процессы в них изучались нами в качестве объектов маргинального фильтра на барьере река – море [3].

За минувшие десятилетия, с начала 1970-х гг. был изучен химический состав макро- и микроэлементов иловых вод на барьере река–море и в приустьевых зонах 18 рек внутренних морей: Черного (Дунай, Днепр,

Риони, Мзымта, Бзыбь, Сочи, Супса, Чорох), Азовского (Кубань, Дон), Каспийского (Волга, Урал, Кура), Балтийского (Нева, Неман, Даугава), Средиземного (Рона, Нил). В [3–5] приведены данные по составу иловых, придонных вод и осадков из этих приустьевых зон. При обработке большого объема данных (сотни станций и тысячи проб) использован статистический метод факторного анализа [4, 5]. Установлено, что в системе придонная вода – иловая вода – осадок в эстуариях открытого и закрытого типов главным, как и в водной толще, часто является солевой фактор, который отражает процессы смешения речной и морской воды, связанные с изменением солености ( $\Sigma M$ ), концентраций  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$  и других ионов. По данным факторного анализа, он может определять 1/4 до 1/3 суммарной изменчивости химического состава иловых вод в зоне смешения [4]. Однако в сильно загрязненных регионах, как, например, в Днепровско-Бугском лимане, фактор загрязнения выходит на первое место, отодвигая солевой фактор на второй план (табл. 1). Наиболее активной, а при антропогенных загрязнениях, возможно, и токсичной, является самая верхняя, окисленная пленка осадков, в которой бывает наибольшее количество загрязнений и растворенных металлов. Часто повышены в ней концентрации растворенного марганца, которые наблюдались в приповерхностных слоях иловой воды вблизи устьев Риони, Ю. Буга, Невы и других рек [3]. Процесс растворения загрязняющих продуктов, в том числе биогенных соединений и металлов, протекает, прежде всего, в донных осадках, особенно на ранних стадиях диагенеза. Этому способствует развитие сульфатредукции, формирование восстановительной обстановки, сильное понижение величин рН и Eh. На границе с придонной водой, ниже уровня дна, обычно происходит резкое повышение концентраций всех биогенных компонентов и большинства тяжелых металлов, причем градиенты для отдельных элементов на этой границе могут достигать 2–3 и даже 4 порядков [6].

Донные отложения приустьевых зон обычно содержат большое количество тонкодисперсного пелитового материала, способного аккумулировать многие тяжелые металлы, биогенные продукты и различные соединения, связанные с антропогенной поставкой в водоем. Относительная подвижность их весьма изменчива. При определенных условиях равновесие в системе может быть нарушено, и вынос загрязнений из донных отложений в воду активизируется, что может привести к *вторичному загрязнению* водоема. Эта проблема ещё слабо изучена и остается ряд нерешенных вопросов, как, например, влияние рельефа дна, гранулометрии донных осадков, придонных и глубинных течений, наличие, или отсутствие речного стока, расположение на берегу или в море потенциальных источников техногенных загрязнений.

При смешении вод с разной соленостью и температурой важную роль приобретают нисходящие потоки воды повышенной плотности, связанные с

конвекционными процессами в водной толще. Это своеобразные плюмы, «подводные водопады», диаметром от 600 до 1500 м, которые происходят, по данным гидрологов [7], со скоростями от 6 до 10 см/сек. Они отмечены в Лабрадорском, Гренландском и на СЗ Средиземного моря. Воздействие их на донные отложения, придонные и иловые воды, несомненно, значительно, но еще весьма слабо изучено. Для этого необходимо объединить усилия гидрологов и геологов-геохимиков. Возможно, что такие нисходящие потоки как раз и могут быть одной из причин *вторичных загрязнений* водоемов, в том числе и в районах, сравнительно далеко удаленных от берега, где воздействие речных вод уже не прослеживается.

Конкретные задачи были связаны с изучением процессов загрязнения в трех полузакрытых бухтах со слабым влиянием речного стока и данных по закрытому эстуарию Днепровско-Бугского лимана, который находится под сильным влиянием речного стока. В нем в разные годы мы провели 6 сезонных съемок, выполнен анализ 40 проб придонной и более 200 проб иловой воды. Изучены солянокислые вытяжки из илов. В закрытом эстуарии загрязнения более опасны, поскольку при малой гидродинамической активности в илах возникает восстановительная обстановка, которая часто нарушается. В депрессиях донного рельефа задерживается морская вода с большим удельным весом, значительным содержанием сульфатов, которые подвергаются редукции. В иловой воде накапливаются огромные количества органических соединений, биогенных компонентов и металлов, особенно в осенне-зимний период. Иловая вода становится «насыщенным бульоном», который накапливает загрязнения, поступающие как с поверхности дна, так и из осадков. Усиление речного стока и более активное перемешивание воды во время весенних паводков способствуют вымыванию накопившихся загрязнений из осадков и иловой воды, а затем и выносу их в прибрежные районы моря, где они переносятся морскими течениями и вступают в различные биогеохимические реакции при участии живых организмов.

Было установлено, что в Днепровско-Бугском лимане (табл., рис.), как, впрочем, и в других зонах эстуариев, наибольшие загрязнения приурочены к портовым городам, центральным частям зоны смешения речной и морской воды и к депрессиям донного рельефа. В различные годы и сезоны в Днепровско-Бугском лимане повышенные количества биогенных компонентов (аммонийный азот, нитриты, нитраты, фосфаты) и металлов (Fe, Mn, Zn, Cu и др.) наблюдались в районе г. Николаева и, чуть в меньшей степени, у портовых городов Херсона и Очакова. Отмечено периодическое развитие загрязнений и в центральных частях зоны смешения. Наши исследования показали, что основным источником многих металлов в водах и осадках лимана являются промышленные предприятия г. Николаева.

Изучен состав загрязнений в трех полузамкнутых бухтах, в которых речной сток не имеет существенного значения. Это Геленджикская бухта

Черного моря, Рижский залив Балтики и Восточная бухта у г. Александрии в Средиземном море. В них характер загрязнений определяется качественным и количественным составом техногенных, бытовых и сельскохозяйственных стоков, поступающих с суши. В Восточной бухте сброс стоков вызвал замор рыбы и другой фауны. Совместно с египетскими учеными нами были даны рекомендации городским властям, принятые ими во внимание. После устранения причин загрязнения экологическая ситуация в регионе значительно улучшилась.

Таблица. Факторный анализ данных по химическому составу иловых вод и солянокислых вытяжек из осадков Днепровско-Бугского лимана

Признак	№	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6	Фактор 7	Фактор 8
Pb <sub>НС1</sub>	24	0.917	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Zn <sub>НС1</sub>	23	0.904	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cu <sub>НС1</sub>	22	0.903	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cr <sub>НС1</sub>	26	0.902	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ni <sub>НС1</sub>	25	0.863	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cd <sub>НС1</sub>	27	0.825	0.0	0.0	0.0	0.0	?0.290	?0.265	0.0
Co <sub>НС1</sub>	30	0.756	0.0	0.0	0.0	0.0	0.406	0.0	0.0
Mn <sub>НС1</sub>	29	0.608	0.267	0.0	0.0	0.0	0.339	0.0	0.0
ΣM	1	0.0	0.971	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Na	7	0.0	0.965	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl	4	0.0	0.963	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mg	6	0.0	0.934	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
глубина	21	0.0	0.696	0.0	?0.281	0.0	?0.436	0.0	?0.265
Ca	5	0.0	0.509	0.428	?0.366	0.0	0.0	0.0	0.0
SO <sub>4</sub>	3	0.0	0.0	0.898	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PO <sub>4</sub>	13	0.0	0.0	?0.857	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*SO <sub>4</sub>	15	0.0	0.386	0.826	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Si	14	0.0	0.0	?0.758	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO <sub>3</sub>	2	0.0	0.429	?0.688	0.398	0.0	0.0	0.0	0.0
NH <sub>4</sub>	12	0.0	0.303	0.0	0.794	0.0	0.0	0.0	0.314
pH	9	0.0	0.0	0.0	0.775	0.0	0.0	0.0	0.0
горизонт	8	0.0	0.0	0.352	0.524	0.0	0.0	0.454	0.334
NO <sub>3</sub>	11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.846	0.0	0.0	0.0
Co	19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.715	0.0	0.0	0.0
NO <sub>2</sub>	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.704	0.0	0.0	0.0
Fe <sub>НС1</sub>	28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.892	0.0	0.0
Fe	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.640	0.0
Cu	17	?0.328	0.0	0.273	0.0	0.0	?0.338	0.538	0.0
Zn	16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.856
Pb	18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.448	0.417	0.0
Знач.факторов		6.027	5.288	3.863	2.150	2.092	1.883	1.487	1.376
вклад в % от ?		24.94	21.88	15.98	8.90	8.66	7.79	6.15	5.69

Признаки № 22–30 относятся к солянокислым вытяжкам ППФ, остальные, кроме № 8 и 21, – к иловой воде; \*SO<sub>4</sub> – дублирующие определения сульфатов, Σ – сумма.

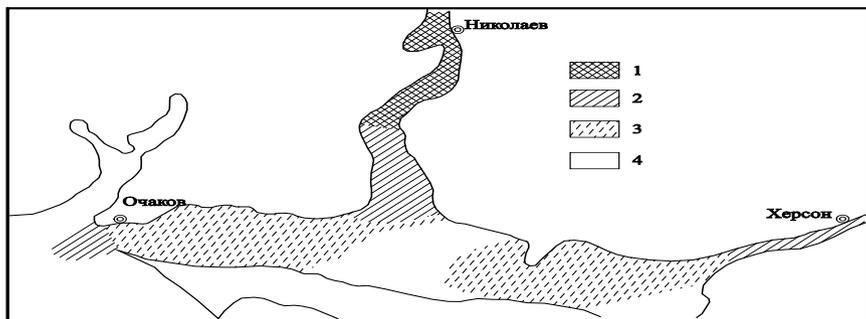


Рисунок 1. Схематическая карта загрязнений Днепровско-Бугского лимана Черного моря (картографирование загрязнений осадков и иловых вод по значениям величины расстояния Махалонобиса,  $\rho^2$ ). Значения  $\rho^2$ : 1 – >2, 2 – 1–2, 3 – 1–0.4, 4 – <0.4 (фон)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монин А.С., Романкевич Е.А. Проблемы биогеохимии Мирового океана. Труды биогеохимической лаборатории. Т. 17. М.: Наука, 1979. С. 74–83.
2. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–743.
3. Гурский Ю.Н., Лисицын А.П. Геохимические особенности процессов на нижнем этапе маргинального фильтра в системе река – море // Доклады Академии наук. 2011. Т. 436. № 3. С. 368–376.
4. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Том 1. Методы изучения и процессы формирования химического состава иловых вод в отложениях Черного, Азовского, Каспийского, Белого, Балтийского морей. М.: ГЕОС, 2003. 332 с.
5. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Том 2. Иловые воды Красного и Средиземного морей. Зоны эстуариев. Закономерности формирования и классификация вод литогидросферы. М.: ГЕОС, 2007. 450 с. + 4 с. цв. вклейки.
6. Вершинин А.В., Розанов А.Г. Химический анализ на границе вода – дно в океанах и морях. М.: ГЕОС, 2002. 164 с.
7. Marshall J., Schott F.: 'OPEN-OCEAN CONVECTION' OBSERVATIONS, Theory and models // Reviews of Geophysics. 1999. V. 37(1). P. 1–64.

The pollution of the coastal zone of inland seas was studied. In the estuary of the Dnieper-Bug pollution plays the first role moving the mixing of river and sea water into the background. The main role is played by the process of secondary pollution of water bodies and interstitial water.

**Доманов М.М.<sup>1</sup>, Амбросимов А.К.<sup>1</sup>, Доманова Е.Г.<sup>2</sup>,  
Новичкова Е.А.<sup>1</sup>, Парфенова Л.М.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail:  
domanov@ocean.ru; <sup>2</sup>Институт проблем нефти и газа РАН, Москва)

**Структура углеводородного состава битумоидов и  
распределение естественных радионуклидов в донных  
осадках на широтном разрезе в Северной Атлантике**  
**Domanov M.M.<sup>1</sup>, Ambrosimov A.K.<sup>1</sup>, Domanova E.G.<sup>2</sup>,  
Novichkova E.A.<sup>1</sup>, Parfenova L.M.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>Institute of Oil and Gas Problems  
RAS, Moscow)

**Structure of hydrocarbonic composition of bitumoid and  
distribution of natural radionuclides in the bottom sediments on  
the latitudinal section in the Northern Atlantic**

Ключевые слова: осадочное вещество, углеводороды, радионуклиды

Исследована структура углеводородного состава битумоидов и содержание радионуклидов <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и техногенного <sup>137</sup>Cs в поверхностном слое планктоногенных осадков в Северной Атлантике с целью оценки возможной связи между этими параметрами. В целом можно отметить положительную корреляционную связь концентрации <sup>226</sup>Ra с содержанием битумоидов, полученных хлороформенной экстракцией (ХБА), положительную связь <sup>232</sup>Th с содержанием длинно-цепочечных структур и связь <sup>137</sup>Cs с количеством спирто-бензольных смол.

Материал для исследования отобран дночерпателем «Океан-50» из поверхностного слоя 0–5 см донных осадков Северной Атлантике на широтном разрезе по 60°с.ш. в 49-ом рейсе НИС «Академик Иоффе». Положение станций показано на рисунке. Поверхностный слой осадков в основном представлен известковым кокколито-фораминиферовым песком различной размерности. Доминирующими видами фораминифер являются *Globorotalia menardu*, *Globorotalia tumida* (личное сообщение Оськиной Н.С.). Для исследования качественного и количественного состава углеводородов использованы стандартизированные методы селективной экстракции, хроматографии и инфракрасной спектроскопии. Измерения концентрации <sup>226</sup>Ra и <sup>232</sup>Th в осадке выполнялись в лаборатории Дозиметрии и радиоактивности окружающей среды Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова с помощью гамма-спектрометра с детектором из сверхчистого германия GC-3020.

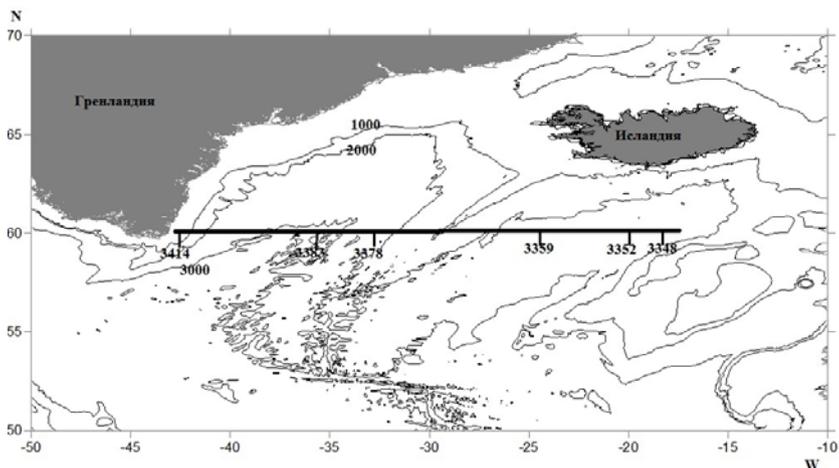


Рисунок. Схема расположения станций

Содержание битумоидов, полученных хлороформной экстракцией (ХБА), и их групповой состав на разрезе существенно изменяется (табл. 1)

Таблица 1. Состав органического вещества в донных осадках, мас.%

Станции	ХБА	УВ	Бенз. см.	Сп-бенз. см.	Асфальт ены	ХБА/СП Б
3348	0.016	18.6	6.9	58.1	16.2	1.72
3352	0.013	17.95	7.6	61.5	12.8	1.62
3359	0.019	20	7.5	60	12.5	1.67
3378	0.01	21.2	6.0	60.6	12.1	1.65
3383	0.01	17.1	8.5	60	14.2	1.67
3414	0.01	17.8	7.1	57.1	17.8	1.75
Среднее	0.013± 0.003	18.7± 1.5	7.3±0.8	59.5±1.6	14.3±2.3	1.68± 0.04

Степень восстановленности органического вещества (ХБА/СПБ) в среднем равна 1.68. Содержание углеводов (УВ) в осадках от станции к станции возрастает с увеличением глубины, а количество бензольной фракции (БС) близкой по элементарному составу к наиболее восстановленным компонентам битума наоборот снижается. Хорошо выражена взаимосвязь более окисленной спирто-бензольной фракции (СПБ) с повышенным содержанием гетероэлементов и асфальтенов. Содержание асфальтенов в осадках снижается с увеличением спирто-бензольной фракции.

Углеводородный состав битумоидов на всех станциях представлен

парафиновыми, нафтеновыми и ароматическими структурами (35, 44 и 21% в среднем соответственно) (табл. 2). При этом максимальная доля нафтеновых и изопарафиновых структур отмечена на станции 3359 в окисленных пелитовых осадках.

Таблица 2. Углеводородный состав битумоидов

Станции	Углеводородные структуры %			
	Парафиновые	Нафтеновые	Ароматические	Доля изопарафиновых структур
3348	26.92	35.22	37.87	
3352	32.78	44.82	22.40	0.492
3359	26.08	61.62	12.30	0.858
3378	51.90	30.77	17.33	0.708
3383	38.78	45.01	16.21	0.603
3414	31.90	44.89	23.21	0.58

Результаты определения концентрации  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое осадков (табл. 3) показали, что в рассмотренной группе радионуклидов, повышающих радиоактивный фон среды,  $^{226}\text{Ra}$  является главным радионуклидом, поступающим в осадки.

Таблица 3. Концентрация (Бк/кг)  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое осадков

Станции	$^{232}\text{Th}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$ %	$^{226}\text{Ra}/^{232}\text{Th}$
3348	5.4±12.2%	75.1±3.8%	2.7±7.3%	90.2	13.9
3352	3.5±13.0%	43.1±5.3%	10.7±7.2%	75.2	12.3
3359	8.3±7.3%	67.3±4.4%	11.5±7.5%	77.1	8.1
3378	10.4±9.4%	28.5±5.5%	9.4±4.1%	59.0	2.7
3383	8.4±9.7%	19.1±7.3%	7.8±6.9%	54.1	2.2
3414	9.6±10.6%	26.5±5.1%	5.8±7.5	63.2	2.7

Относительное содержание  $^{226}\text{Ra}$  в донных осадках изменялось от 54.1% на станции 3383 в западной части разреза в бассейне Ирмингера до 90.2% в восточной части в Исландском бассейне на станции 3348.

Содержание  $^{232}\text{Th}$  и антропогенного  $^{137}\text{Cs}$  минимально на восточной станции разреза (3348), а концентрация  $^{226}\text{Ra}$  максимальная. Максимальные концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках обнаружены на станциях 3359 и 3352

в районе, где преобладали мелкодисперсные пелитовые осадки. Концентрация  $^{226}\text{Ra}$  здесь также была высокой (67.3 Бк/кг). Высокое содержание  $^{137}\text{Cs}$  может быть связано с загрязнением вод антропогенным  $^{137}\text{Cs}$  с последующей абсорбцией его из воды мелкодисперсной взвесью.

Повышенное содержание  $^{232}\text{Th}$  характерно для западной части разреза, где в осадках преобладает алевритовая и песчаная фракция с примесью гравийно-галечного материала. Содержание  $^{232}\text{Th}$  в осадках определяется поступлением в них терригенного материала [1], где он присутствует в кристаллической решетке минералов. Отношение радиоактивности  $^{226}\text{Ra}/^{232}\text{Th}$  в осадках западной части разреза соответствовало величине  $^{226}\text{Ra}/^{232}\text{Th}$  обычно наблюдаемой в фораминиферовых осадках (2.13) [2, 3].

В восточной части разреза величина этого соотношения – 8.10 была более характерна для диатомовых осадков (7.20). Далее на восток отношение становилось равным 12.31, 13.90, что типично для глубоководных глин (12.31).

Результаты определения концентрации  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностном слое осадков были сопоставлены с содержанием в осадке органического вещества и с групповым составом битумоидов (табл. 4).

Таблица 4. Корреляционная матрица

	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{137}\text{Cs}$
ХБА	0.93	–	–
Спирто-бензольные смолы	–	–	0.80
Длинно-цепочечные структуры	–	0.83	
Асфальтены			–0.83

В целом можно отметить положительную корреляционную связь концентрации  $^{226}\text{Ra}$  с содержанием ХБА, положительную связь  $^{232}\text{Th}$  с содержанием длинно-цепочечных структур и связь  $^{137}\text{Cs}$  с количеством спирто-бензольных смол. Связь концентрации  $^{226}\text{Ra}$  с содержанием в осадке органического вещества хорошо выражена, что указывает на существенный вклад биологического сообщества в накоплении  $^{226}\text{Ra}$  в донных осадках.

Аналогичные связи в распределения радионуклидов с органикой и свойством осадка были получены в других регионах и морях [4–6].

Основные причины, приводящие к образованию связи в распределении радионуклидов и органического вещества в осадках, обусловлены:

1. абсорбцией радионуклидов биотой в процессе функционирования биологических сообществ с последующей седиментацией органической и минеральной взвеси;

2. общими закономерностями сорбционных и диагенетических процессов, приводящих к преимущественному накоплению органического

вещества и радионуклидов в мелкодисперсных осадках;

3. непосредственным химическим взаимодействием радионуклидов с органическим веществом при преобразовании органического вещества и форм радионуклидов в процессе диагенеза.

Экспедиционные работы выполнены при финансовой поддержке РФФ (грант 14-50-00095, направление А.П. Лисицына), аналитические работы – при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 13П.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Ю.В., Симоняк З.В., Лисицин А.П., Френклих М.С. Изотопы тория  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в поверхностном слое донных осадков из Индийского океана // Геохимия. 1968а. № 2. С. 218–227.
2. Кузнецов Ю.В., Симоняк З.В., Лисицин А.П., Френклих М.С. Уран и радий в поверхностном слое океанических осадков// Геохимия. 1968б. № 3. С. 323–333.
3. Кузнецов Ю.В. О формах нахождения иония и тория в океане// Геохимия. 1969. № 2 С. 177–184.
4. Лисицын А.П. Поток терригенного материала, алюминия, титана, малых элементов и радиоактивных изотопов // Биогеохимия океана / Под ред. А.С. Моница, А.П. Лисицына. М.: Наука, 1983. С. 268–270.
5. Доманов М.М., Верховская З.И., Доманова Е.Г. О Связи содержания углеводородных структур битумоидов и концентрации микроэлементов в планктоногенных морских осадках Охотского и Японского морей // Нефтехимия. 2011. Т. 51. № 4. С. 1–7.
6. Доманов М.М., Верховская З.И., Амбросимов А.К., Доманова Е.Г. Углеводородные структуры битумоидов и концентрации  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в осадках Каспийского моря // Нефтехимия. 2014. Т. 54. № 4. С. 275–282.

The structure of bituminoid hydrocarbon composition and the content of radionuclides  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and technogenic  $^{137}\text{Cs}$  in the surface layer of the planktonic bottom sediments in the North Atlantic have been studied with the aim of assessing the possible relationship between these parameters. In general, we can note a positive correlation between the  $^{226}\text{Ra}$  concentration and the content of bitumoids produced by chloroform extraction (CBA), the positive  $^{232}\text{Th}$  relationships with the content of long chain structures, and the  $^{137}\text{Cs}$  relationships with the amount of alcohol-benzene resins.

**Ермакова Л.А., Черкашёв Г.А.**

(ФГБУ “ВНИИОкеангеология”, Санкт-Петербург, e-mail: livia77@inbox.ru)

**Охрана окружающей среды в ходе разведки и будущей добычи глубоководных полезных ископаемых: правовое регулирование, текущее состояние и проблемы.**

**Ermakova L.A., Cherkashov G.A.**

(VNIIOkeangeologia, St. Petersburg)

**Environmental protection during exploration and future exploitation of deep-sea minerals: legal regulation, current state and problems**

Ключевые слова: охрана окружающей среды, разведка и добыча глубоководных полезных ископаемых

Правовое регулирование охраны морской среды в ходе разведки глубоководных полезных ископаемых и при последующем переходе к их добыче осуществляется, преимущественно, на международном уровне и находится в стадии становления. Реализация установленных требований на практике поднимает целый ряд проблем, связанных с недостатком данных и экологической информации, необходимостью проведения фоновых и мониторинговых экологических исследований, определением участков воздействия деятельности на окружающую среду, оценкой такого воздействия, созданием заповедных зон, испытаниями добычного оборудования, определением ущерба морской среде в ходе разведочных и добычных работ и ответственности за его причинение, требующих дальнейшего обсуждения в профессиональном сообществе.

Охрана морской среды на стадии разведки глубоководных полезных ископаемых и при последующем переходе к их добыче регулируется документами, в большинстве своем принимаемыми на международном уровне.

Наряду с основополагающими актами общего характера (такими как Конвенция ООН по морскому праву 1982 г., Декларация по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 1992 г. и др.), центральная роль принадлежит документам, принимаемым Международным Органом по Морскому Дну (МОМД) при ООН (далее – МОМД, Орган).

Среди таких документов можно назвать Правила поиска и разведки полиметаллических сульфидов (2010 г.), железомарганцевых корок (2012 г.) и полиметаллических конкреций (редакция 2013 г.), а также Руководящие рекомендации контакторам по оценке возможного экологического воздействия разведки морских полезных ископаемых в Районе, изданные в 2013 г.

В настоящее время органами МОМД ведется работа по созданию Правил добычи минеральных ресурсов в Районе («Добычного кодекса»), который

будет включать в себя нормы, регламентирующие добычу глубоководных полезных ископаемых, стандартные условия контрактов, режим соответствующих платежей, а также базовые положения о защите окружающей среды и режиме инспекций.

При этом следует отметить, что в целом в дискуссии о содержании экологических аспектов правил разведки и добычи, организованной Международным Органом по Морскому Дну при ООН, российские эксперты принимают недостаточное участие.

Реализация на практике установленных документами МОМД требований поднимает целый ряд проблем, связанных с недостатком данных и экологической информации, необходимостью проведения фоновых и мониторинговых экологических исследований, нормативным установлением пороговых значений и критериев потенциального воздействия деятельности на морскую среду, определением участков такого воздействия, оценкой воздействия и критериями оценки, созданием заповедных зон, испытаниями добычного оборудования, определением возможного ущерба морской среде в ходе разведочных и добычных работ и ответственности за его причинение.

Названные проблемы, требующие обсуждения в профессиональном сообществе, будут рассмотрены в докладе.

Legal regulation of the protection of the marine environment during the exploration of deep-sea minerals and the subsequent transition to their exploitation is carried out, primarily, at the international level and is in its nascent stage. The implementation of established requirements in practice raises a number of problems (including those related to the lack of data and information, the need for baseline environmental studies, the determination of the impact areas, the assessment of such impacts, the creation of protected areas, the tests of mining equipment, the determination of serious harm to the marine environment and responsibility for its causing, etc.), that need further discussion in the professional community.

**Ермолов А.А.<sup>1,2</sup>, Кизяков А.И.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; <sup>2</sup>АО Институт экологического проектирования и изысканий, Москва, e-mail:

[alexandr.ermolov@gmail.com](mailto:alexandr.ermolov@gmail.com))

## **Геоморфологический подход при оценке экологической чувствительности арктических берегов к разливам нефти (на примере морей Карского и Лаптевых)**

**Ermolov A.A.<sup>1,2</sup>, Kizyakov A.I.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University; <sup>2</sup>Institute for environmental design and research, Moscow)

## **Geomorphological approach for assessing the environmental sensitivity of Arctic coasts to oil spills (on the example of the Kara and Laptev Seas)**

Ключевые слова: арктические берега; геоморфологическое районирование; индекс экологической чувствительности; ликвидация разливов нефти

Предложен эколого-геоморфологический подход для оценки экологической чувствительности берегов к разливам нефти на основе международной системы индексов ESI (Environmental Sensitivity Index). Районирование показало, что свыше 30% береговой линии морей Карского и Лаптевых имеют высокую чувствительность и относятся к районам приоритетной защиты в случае нефтяных разливов.

Среди современных источников загрязнения арктических морей разливы углеводородного сырья являются одними из наиболее опасных, оказывая существенное воздействие на физико-химические и биологические характеристики морской среды и прибрежной зоны. Мировой опыт ликвидации аварий свидетельствует, что наиболее тяжелые экологические последствия наблюдаются именно в прибрежной зоне. В условиях низких температур воздуха, продолжительного отсутствия солнечной радиации и длительной (до 9–11 месяцев) консервации акватории морскими льдами процессы естественного самоочищения на берегах существенно замедлены и могут протекать десятилетиями. Значительно увеличивается и период сохранности нефти, чему способствует низкая гидродинамическая активность среды на обширных мелководьях шельфовых морей.

В настоящей работе анализируются методические аспекты оценки экологической чувствительности арктических берегов к нефтяным разливам с использованием геоморфологического подхода. В качестве примера рассматриваются берега морей Карского и Лаптевых, шельфовые районы которых оцениваются как одни из наиболее перспективных в нефтегазовом отношении. Общая протяженность береговой линии морей превышает 35 тыс.км, ее значимая часть располагается в пределах особо охраняемых природных территорий – заповедников, заказников и национальных парков.

Все это определяет приоритетность защиты прибрежных районов при планировании и проведении мероприятий по ликвидации потенциально возможных аварийных разливов нефти и необходимость определения как наиболее ценных в экологическом отношении, так и наиболее чувствительных к загрязнению береговых участков. Для этих целей разрабатываются специальные карты экологической чувствительности берегов, отражающие комплексную экспертную оценку. Планирование действий по ликвидации разливов нефти, включая разработку таких карт, служит основой оперативного принятия решений в чрезвычайной ситуации и является необходимым при освоении недр шельфа.

Оценка экологической чувствительности берегов морей Карского и Лаптевых к разливам нефти и нефтепродуктов выполнена на основе геоморфологического районирования и адаптированной к арктическим берегам международной системы индексов экологической чувствительности ESI (Environmental Sensitivity Index). В развитие международной методики предлагаемый подход решает задачу оценки экологической чувствительности берегов труднодоступных районов Арктики на основании комплексного геоморфологического анализа и районирования береговой зоны по дистанционным спутниковым, картографическим и фондовым данным. Важным аспектом является разработка универсальной типизации арктических берегов, сопоставимой с типами берегов международной системы индексов чувствительности.

Предлагаемый эколого-геоморфологический подход основан на базовых принципах ранжирования берегов в соответствии с международной системой индексов ESI [1] и дополнительно учитывает геолого-геоморфологические и гидродинамические условия функционирования береговых систем, геокриологические и гидрометеорологические факторы, которые определяют развитие берега не в меньшей степени, чем волнение. Принимаются во внимание особенности перемещения и аккумуляции наносов, необходимые для понимания характера распространения нефтепродуктов в береговой зоне, определяются зоны возможного накопления нефти и оценивается длительность удержания ее на берегу.

Основанный на представлениях о геоморфологии береговой зоны [2], такой подход не противоречит принципам международной методики, а представляет собой ее расширенный аналог, дополняющий упрощенную типизацию по отдельным критериям ранжирования. Важным аргументом в его пользу является возможность применения эколого-геоморфологического подхода для удаленных участков арктических берегов по которым отсутствуют материалы детальных полевых исследований. Геоморфологический анализ способен в значительной степени нивелировать недостаток информации о берегах труднодоступных районов.

Важным аспектом функционирования арктических берегов является наличие специфического субстрата – многолетнемерзлых отложений и

связанного с ними комплекса мерзлотных процессов. Так, широко распространенные процессы термоабразии и термоденудации никак не учитываются международной системой индексов. Отдельные участки береговой линии характеризуются чрезвычайно высокими темпами разрушения береговых уступов, сложенных льдистыми многолетнемерзлыми отложениями. Отступление берегов может достигать десятков метров в течение одного штормового сезона. Соответственно меняется профиль береговой зоны, смещается линия заплеска, интенсивно перерабатываются и замещаются пляжевые отложения, а вместе с ними и возможное загрязнение – нефть и нефтепродукты. Добавим, что в условиях техногенного воздействия подобные береговые экосистемы отличаются крайне низкой устойчивостью [3] и требуют всесторонней оценки рисков при разработке планов ликвидации разливов нефти.

С учетом разработанных подходов [4] для оценки экологической чувствительности к разливам нефти берегов морей Карского и Лаптевых на начальном этапе были выполнены морфодинамическая типизация и районирование берегов, представляющее обобщенную геолого-геоморфологическую характеристику береговой зоны. Разработка типизации и картографирование осуществлялись с учетом имеющихся представлений о морфолитодинимике береговой зоны арктических морей. Исползовался большой объем картографических, спутниковых и литературных данных, материалы экспедиционных исследований различных лет, имеющиеся фото- и видеоматериалы [5, 6]. В основу морфодинамической типизации были положены известные классификации берегов внутренних и окраинных морей, учитывающие особенности широтной зональности и природной специфики региона.

Дальнейший анализ производился в рамках отдельных литодинамических систем или отрезков берега, обладающих схожими морфологическими и литологическими характеристиками. На основе экспертной оценки каждому участку присваивался индекс чувствительности к нефтяному загрязнению в соответствии с системой индексов ESI. Типы аварийных ситуаций, модели распространения (дрейфа, растекания и пр.), возможные способы ликвидации загрязнения и варианты физико-химического и механического взаимодействия нефтепродуктов с осадками на арктических побережьях были приняты в соответствии с руководством [7] и монографией [8]. Учитывались особенности взаимодействия нефти с различным субстратом, возможность естественного захоронения нефти и перемещения грунта, предполагаемые способы устранения загрязнения [7]. При этом в соответствии с [1] в расчет не принимались природоохранный статус того или иного берега, биологическое разнообразие и удаленность от основных объектов инфраструктуры.

Всего для Карского моря и моря Лаптевых было выделено 13 типов берегов с различными индексами экологической чувствительности (табл.).

При типизации берегов и разработке легенды разработанных карт в оригинальные названия отдельных экологических типов берегов [1] были внесены минимальные дополнения и уточнения, также использовалась предложенная зарубежными коллегами градация крупности пляжевых отложений, соответствующая системе индексов ESI. В будущем подобная стандартизация методических подходов позволит разработать единую типизацию берегов морей Северного Ледовитого океана, отвечающую российским и международным стандартам.

Таблица. Берега морей Лаптевых и Карского с различными индексами экологической чувствительности

ESI	Тип берега
1A	Открытый скалистый (ледяной) берег
1C	Открытые скалистые обрывистые с валунно-глыбовой отмосткой
2A	Открытые волноприбойные платформы (бенчи), выработанные в коренных породах, глинистых и илистых отложениях
2B	Открытые уступы и крутые склоны в глинистых отложениях
3A	Пляжи, сложенные мелко- и среднезернистым песком
3B	Уступы и крутые склоны в песчаных отложениях
5	Пляжи, сложенные смешанными песчано-гравийными отложениями
6A	Галечные пляжи (гравий и галька)
7	Открытые приливные отмели (большие песчаные площади, часто затопляемые при высоких приливах)
8A	Защищенные уступы в коренных породах, глинистых и илистых отложениях, и защищенные скалистые берега
8D	Защищенные скалистые крупнообломочные берега
9A	Защищенные приливные отмели
10A	Соленые и опресненные марши (лайды)*
10E	Пойменные (затапливаемые) низинные тундры

\* - выделяются только в Карском море;

Для оценки актуальности и применимости разработанной типизации следует еще раз подчеркнуть специфику функционирования арктических берегов, обусловленную суровыми климатическими условиями региона. Ежегодно образующиеся морские льды контактируют с дном на больших пространствах и весной ширина подошвы припая, смерзшаяся с грунтом, может достигать десятков километров. Льды блокируют деятельность большинства рельефообразующих процессов, практически полностью исключая вероятность контакта и проницаемость отложений для нефти и

нефтепродуктов. Таким образом, представленная оценка экологической чувствительности и типизация арктических берегов актуальны исключительно для короткого безледного периода года (2–5 месяцев), когда возможно распространение нефти в береговой зоне, ее непосредственный контакт с берегом и способность к проникновению нефтепродуктов в отложения пляжей. Это следует учитывать при освоении шельфовых месторождений и разработке планов ликвидации разливов нефти, вероятность которых не ограничивается отдельными сезонами года.

Проведенные исследования [4, 5] показали, что около 30% протяженности береговой линии морей Карского и Лаптевых соответствует высокому индексу экологической чувствительности. Такие берега требуют первоочередной защиты в случае возникновения разлива нефти и должны учитываться при освоении шельфовых месторождений и разработке природоохранных мероприятий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sensitivity mapping for oil spill response. London: IMO IPIECA OGP, 2012. 39 p.
2. Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во МГУ, 1996. 400 с.
3. Исследование устойчивости геосистем Севера / Под ред. В.И. Соломатина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 213 с.
4. Ермолов А.А., Илюшин Д.Г., Исаченко А.И. и др. Методические подходы к оценке экологической чувствительности берегов арктических морей к разливам нефти (на примере Карского моря) // Инженерные изыскания, 2016. № 5–6. С. 28–39.
5. Карское море. Экологический атлас. М.: ООО «Арктический Научный Центр», 2016. 271 с.
6. Каплин П.А., Леонтьев О.К., Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. Берега. М.: Мысль, 1991. 479 с.
7. Руководство по ликвидации разливов нефти на морях, озерах и реках. СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2002. 344 с.
8. Сочнев О.Я., Сочнева И.О. Экологическая безопасность систем вывоза нефти с месторождений арктического шельфа. М.: ЦЕИИТЭнефтехим, 2003. 272 с.

The proposed ecological-geomorphological approach to assess the environmental sensitivity of the coast to oil spills based on international system of indices of ESI (Environmental Sensitivity Index). The zoning showed that over 30% of the coastline of the Kara and Laptev seas have high sensitivity and belong to the areas of priority protection in the event of oil spills.

**Захаренко В.С.**

(Мурманский государственный технический университет, Мурманск)

## **Экологические риски при нефтегазовом освоении арктических шельфов**

**Zakharenko V.S.**

(Murmansk State Technological University)

## **Environmental risks in the oil-gas emergency development of Arctic shelf**

Ключевые слова: газогидраты, диапиры, покмарки, Арктический шельф

В статье рассмотрены некоторые экологические риски природного характера, которые необходимо учитывать в связи с освоением углеводородных ресурсов в Арктике.

Снижение запасов на известных месторождениях по всему миру, растущий спрос на нефть и таяние ледников привело к значительному росту объема геологоразведочных работ в Арктике. Регион Российского Арктического шельфа имеет значение не только для России, но и для всего мира ввиду сосредоточенности здесь огромных запасов углеводородов. В настоящее время планируется освоение месторождений Баренцева и Печорского морей. Залежи углеводородов обнаружены также в Карском море. Учитывая перспективность направления, международные нефтегазовые компании и правительства стран мира предпринимают новые попытки освоения Арктики, которые, однако, сопряжены с решением сложных технических и экологических задач.

*Сейсмичность.* По эмпирическим данным наблюдается приуроченность зон нефтегазонакопления к разломам земной коры, тектоническая активность которых сохраняется и в настоящее время. Геоэкологическая безопасность при освоении нефтегазовых ресурсов обеспечивается в ходе контроля сейсмической обстановки, которая в Арктике характеризуется неравномерным, очаговым распределением эпицентров сейсмических событий. В последние годы наблюдается увеличение сейсмической активности в районах, находящихся в непосредственной близости от Шпицбергена. На сайте норвежской сейсмической службы NORSAR (Norwegian Seismic Array) размещена информация о значительном количестве слабых землетрясений в Арктическом регионе, включая акватории Баренцева и Карского морей, произошедших в последние годы и зарегистрированных прибрежными сейсмологическими станциями Норвегии на севере Скандинавского полуострова и Шпицбергене [1]. Таким образом, вся краевая зона Баренцевоморского шельфа и континентальный склон являются областью развития широкого спектра опасных геологических процессов, которые могут быть спровоцированы прямой и

наведенной сейсмичностью. При проектировании и возведении сооружений нефтегазовой отрасли в Арктике необходимо учитывать сейсмичность отдельных районов, так как даже землетрясения небольшой магнитуды способны: спровоцировать разрушение ледников и движение ледовых масс; вызвать высвобождение газа из придонных областей; вызвать дестабилизацию газогидратов, находящихся на дне океана и в придонном слое. Особенно опасны оползни. Масштабы подводных оползней на континентальных склонах намного превышают дельтовые, а также те, с которыми имеют дело геологи при изучении оползней на суше. Вертикальное смещение оползневых масс, переходящих далее в суспензионный поток, достигает нескольких тысяч метров.

*Дегазация шельфа как масштабное явление.* Выходы газа на поверхности морского дна широко распространены на шельфе Баренцева моря. Морфологическими проявлениями данного процесса являются воронки просачивания, а также газовые факелы и фонтаны. Многие слабые землетрясения на шельфе Арктики могут быть обусловлены подводными выхлопами газа, разрушающими целостность донных отложений, следствием чего является образование покмарок (округлых углублений в рельефе дна). По-видимому, наиболее крупные покмарки приурочены к зонам разломов, что подтверждается исследованиями в районе ШГКМ [2]. Диаметры покмарок достигают нескольких десятков и даже сотен метров, а глубины – до нескольких десятков метров. Известны случаи обнаружения затонувших судов, лежащих на дне покмарок. В частности BGS (Британская геологическая служба) обнаружила в Северном море на площади South Fladen в одной из крупных покмарок, названной Witch's Hole (Отверстие ведьмы), затонувший траулер начала XX века. Одним из основных объяснений гибели судна является то, что оно затонуло в результате газирования воды (изменения ее плотности) при дегазации или разовом выходе (выхлопе) газа [1, 3, 4]. Очевидно, что выхлопы газов с образованием покмарки может привести к серьезным повреждениям нефтегазовых промыслов и подводных трубопроводов. В настоящее время многими авторами подтверждается, что жизнь на Земле находится под полным контролем процессов глубинной дегазации, масштабы которой огромны и на несколько порядков выше, чем «дыхание» залежей нефти и газа, открытых в осадочном чехле. С глубинной дегазацией связаны планетарные катастрофы в биосфере. Корни глобальных геодинамических процессов сместились с уровня верхней мантии до ядра Земли. В мантии важнейшими структурами разгрузки глубинной энергии являются, по-видимому, плюмы, и суперплюмы. Нами показано, что пассивное просачивание термогенного газа является особенно сильным на крупных тектонических линейных элементах к западу от Шпицбергена [5] а выявленные месторождения соотносятся с мантийными плюмами. Кроме того, учеными Леоновым, Хуторским и их коллегами по результатам 3D-моделирования

геотермического поля обнаружены структуры геотемпературного поля типа «термических куполов». По их мнению, на шельфе Западно-Арктических морей выявляется единая тенденция приуроченности крупных месторождений углеводородов к зонам повышенного термического потенциала – к термическим куполам [6]. Изучение проблемы подпитки углеводородов из глубин через нефтепроводящие каналы и уточнение механизма данного процесса, скорее всего в скором будущем приведет к коррекции методики геолого-поисковых работ и процессу разработки месторождений.

*Газогидраты.* Среди потенциальных источников опасности в Арктике можно выделить газогидраты - кристаллические соединения, образующиеся при определенных термобарических условиях (низких температурах и высоких давлениях) посредством соединения газа, прежде всего метана, с водой. Происхождение метана в гидратах может быть либо термогенным или биогенным. Термобарические условия, при которых образуются газогидраты, наблюдаются на большей части акватории Северного Ледовитого океана и российского шельфа Арктики. По мнению ученых Дмитриевского, Валяева и др, пространственные неравномерности распространения газогидратов во многом контролируются локализованными потоками углеводородных и углеводородно-водных флюидов [7]. Во всем мире растет интерес к газогидратам, как к альтернативному источнику энергоресурсов. Один объем газогидрата дает до 200 объемов чистого газа, что позволяет говорить о газогидратах, как о «топливе будущего». Однако, на данном этапе, параллельно их следует рассматривать как фактор экологического риска, так как смена термобарических условий может вызвать неконтролируемый взрыв, что представляют высокую опасность при проведении буровых работ. Особенно опасно вскрытие газогидратного пласта. В Канаде при вскрытии пласта произошел взрыв, погибли два человека. Поэтому освоение морских месторождений должно сопровождаться детальными комплексными исследованиями [2, 8, 9]. Кроме того, по мнению зарубежных ученых в настоящее время наблюдается растущее признание важной роли газогидратов в изменении климата в плейстоцене. На это указывают сходство атмосферного метана ( $CH_4$ ) и вариаций температуры, записанные в ледяных ядрах [10]. Дискуссионным является вопрос о роли газогидратов в отношении глобального изменения климата современности, потому что для того, чтобы метан стал эффективным парниковым газом, он должен достичь атмосферы. Однако здесь есть ограничивающие факторы: во-первых, большая часть гидратов растворяется в толще воды, во-вторых, происходит анаэробное окисление метана, где значительное количество метана превращается в  $CO_2$  в морских отложениях. Несмотря на некоторые разногласия относительно газовых гидратов, связанных с изменением климата, многие ученые сходятся во мнении, что газогидратные системы в

полярных широтах имеют особое значение в связи с тем, что экологические изменения будут ощущаться здесь в первую очередь. Они являются здесь более экстремальными, чем в других местах [3, 4].

*Грязевулканические процессы и диапиры.* В результате исследований последнего десятилетия был получен большой объем новых данных о проявлении грязевулканических процессов в Мировом океане. Грязевые вулканы в море (как и на суше) оказались специфическими структурами, контролирующими наиболее интенсивные разгрузки (потоки) углеводородов. [11]. Как правило, возникновению грязевого вулкана предшествует образование диапира. Это означает, что еще одним фактором экологического риска при усилении сейсмической активности становятся диапиры и диапироподобные структуры. Образование диапиров обусловлено наличием аномально высоких пластовых давлений (АВПД) в глубинах недр. Дополнительным механизмом образования диапиров служит инверсия плотностей в осадочном разрезе. В районе Штокмана нами выявлен крупный диапир, не выраженный в рельефе дна. В случае усиления тектонической активности он может превратиться в грязевой вулкан с выбросом газа [8, 9]. В Арктическом секторе диапировые структуры проявляются довольно часто, однако их внешний облик, как и генезис различен под влиянием многочисленных косвенных факторов, что требует отдельного изучения. Особый интерес представляют соляные диапиры, как сопутствующие месторождениям нефти. В последнее время показано, что на формирование соляных диапиров оказывают влияние термические градиенты. Диапиризм является одним из проявлений соляной тектоники. [12, 13]. Соляные формации представляют особую сложность для бурения, поскольку по мере прохождения соляных тел приходится преодолевать зоны дробления и включения осадочных пород, находящихся под высоким давлением. Причиной аварии при бурении в Мексиканском заливе, по мнению специалистов, стало АВПД (аномально высокое пластовое давление) намного превышающее расчетное. Теорий о происхождении АВПД много, в этом состоит трудность изучения этой проблемы. Всего выдвигается более 20 возможных механизмов образования АВПД. Многие авторы признают полигенность АВПД в зависимости от конкретных геологических условий района. Для прогноза проявления АВПД в каждом конкретном районе требуется комплексный анализ всей имеющейся геологической и геофизической информации.

*Выводы.* В данном обзоре представлены лишь некоторые природные факторы, не зависящие от человека и представляющие опасность при нефтегазовом освоении шельфа. Характерно, что многие из них являются не только факторами риска, но и дополнительными поисковыми признаками на нефть и газ, залегающих на глубине: диапиры, в том числе соляные, грязевые вулканы, газогидраты. По-видимому, это связано с единой ветвью водородной дегазации Земли. Сложность в их изучении заключается в

различных точках зрения на фундаментальные вопросы в науках о Земле, на природу нефти и газа на формирование соляных диапиров, на причины аномально высоких пластовых давлений. Однако поиски новых перспективных месторождений и экологическая безопасность шельфов требует рассмотрения всех факторов с разных точек зрения. Земля – открытая самоорганизующаяся сложная система, и в точках бифуркации любой случайный фактор приобретает весомое значение, приводящее к режиму лавинообразного роста и способное в корне изменить направленность дальнейшего развития.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богоявленский В.И. Углеводородные богатства Арктики и Российский геофизический флот: состояние и перспективы // Морской сборник. 2010. № 9. С. 53–62.
2. Дмитриевский А.Н., Баланюк И.Е. Газогидраты морей и океанов – источник углеводородов будущего. М.: ООО "ИРЦ Газпром", 2009. 146 с.
3. Chazallon B., Focsa C., Charlou J.-L. A comparative Raman spectroscopic study of natural gas hydrates collected at different geological sites // Chemical Geology. 2007. V. 244. N 1/2. P. 175–185.
4. Mastalerz V., Lange G.J. de, Dahlmann A., Feseker T. Active venting at the Isis mud volcano, offshore Egypt: origin and migration of hydrocarbons // Chemical Geology. 2007. V. 246. N 1/2. P. 87–106.
5. Захаренко В.С., Радченко М.С., Шлыкова В.А. Роль эндогенной составляющей в формировании углеводородов в переходной зоне континент-океан Шпицбергенско-Баренцевоморской континентальной окраины // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 1–2. С. 176–183.
6. Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Грамберг И.С., Леонов Ю.Г. Термотомография Западно-Арктического бассейна // Геотектоника. 2003. № 3. С. 79–96.
7. Дмитриевский А.Н., Валяев Б.М. Распространение и ресурсы метана газовых гидратов // Наука и техника в газовой пром-сти. 2004. № 1/2. С. 5–13.
8. Захаренко В.С., Казанин Г.С., Павлов С.П. Предпосылки и условия формирования газогидратов на Штокмановской площади Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2014. № 2. С. 394–402.
9. Захаренко В.С. Потенциальный экологический риск, связанный с газогидратами на Западно-Арктической континентальной окраине // Охрана окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 4. С. 21–26.
10. Коллет Т.С., Льюис Р., Такаши У. Растущий интерес к газовым гидратам // Schlumberger // Нефтегазовое обозрение. 2001. Т. 6. № 2. С. 38–53.
11. Шнюков Е. Ф. Грязевые вулканы Черного моря как поисковый признак газогидратов метана // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 2. С. 119–127.
12. Беленицкая Г.А. Мексиканский соляно-нефтяной реактор // Природа. 2011. № 3. С. 18–31.
13. Маракушев А.А., Маракушев С.А. Образование нефтяных и газовых месторождений // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 5. С. 505–521.

The article discusses some of the environmental risks of natural, which must be considered in connection with the development of hydrocarbon resources in the Arctic.

**Зыкова Е.Н., Зыков С.Б.**

(Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail:elenazy@yandex.ru)

## **Четные изотопы урана в поверхностных водах озера Кудмьозеро**

**Zykova E.N., Zikov S.B.**

(Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov RAS, Archangelsk)

## **The even-numbered uranium isotopes in surface waters of Lake Kudmozero**

Ключевые слова: изотопы урана, геоэкология, экологический мониторинг, озеро Кудмьозеро

В статье произведена оценка четных изотопов урана в поверхностных водах озера Кудмьозеро. Показано распределение активности изотопов урана  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  в поверхностных водах. Рассчитан коэффициент активности изотопа  $^{234}\text{U}$  к  $^{238}\text{U}$ . Измерена концентрация урана и пути его поступления в поверхностные воды.

Большинство исследователей уделяют внимание крупным озерам, оказывающих значительное влияние на окружающую среду. Такие крупные озера как Байкал, Ладожское, Иссык-Куль, являются центром большой экосистемы, источником воды для огромной территории тщательно изучаются и контролируются по многим показателям. Однако небольшие озера не менее интересны с точки зрения гидрологии, радиологии и геоэкологии. В связи с тем, что озера активно участвуют в геологических процессах, механизмы формирования концентрации урана и его изотопного состава в озерной воде должны учитываться при прогнозе возможного изменения геологической среды, в том числе и под действием антропогенных факторов, тем более что данное озеро находится в непосредственной близости от центра атомного судостроения в г. Северодвинске. Небольшие озера в меньшей степени изучены на предмет наличия четных изотопов урана и в особенности равновесия между  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ . Поскольку изотопные исследования такого рода никогда не проводились на Кудмьозере, оно и было выбрано в качестве объекта для изучения.

Географически озеро Кудмьозеро расположено на северо-западе Архангельской области, в 11 километрах от Двинского залива Белого моря и входит в водосбор беломорского бассейна. Длина озера составляет 4.5 км, а ширина 3 км, максимальная глубина 12 м. Основанием оз. Кудмьозеро служит север Русской плиты. Мощность осадочного чехла в районе озера варьирует от 20 до 100 м [1]. Климат в районе озера умеренный морской с продолжительной, умеренно холодной зимой и коротким прохладным

летом. Он формируется под воздействием воздушных масс Баренцева и Белого морей. Средняя температура января  $-12^{\circ}\text{C}$ , июля  $+16^{\circ}\text{C}$ . За год выпадает 600–680 мм осадков. Среднегодовая температура  $+1.3^{\circ}\text{C}$ . Для этой территории характерны частые перемены погоды, высокая влажность воздуха и большое количество дней с осадками. При вторжении холодного воздуха со стороны Сибири зимой возможны морозы до  $-30^{\circ}\text{C}$ , в то же время иногда бывают и оттепели. Летом при вторжении горячей воздушной массы со стороны степей возможна жара до  $+30\dots35^{\circ}\text{C}$ , в то же время летом в ночное время возможны заморозки.

В ходе работы летом 2016 г. было отобрано 17 проб поверхностных вод (рис. 1). Были замерены активности четных изотопов урана, показано соотношение активностей изотопов и рассчитана суммарная концентрация урана в водах по его активности.

Пробы воды отбирались с поверхности озера в полиэтиленовые емкости объемом 20 л. Пробы консервировались и поступали на радиохимическую обработку. Радиохимическая обработка проб включала в себя стандартную аттестованную методику для определения объемной активности изотопов урана в водах разработанную ВИМС им. Н.М. Федоровского [2]. Она включает в себя осаждение изотопов на гидроокисях железа, очистку от мешающих изотопов с энергиями излучения близкими к исследуемым, экстракцию изотопов урана на трибутилфосфате (ТБФ) с последующей рекстракцией и осаждение выделенных изотопов урана на мишень из нержавеющей стали. Измерение полученных изотопов осуществлялось на альфа спектрометрическом комплексе «Прогресс-альфа».

Установлено, что распределение объемной альфа-активности изотопов урана 234 и 238 по поверхности озера имеет существенные различия. Так, изотоп  $^{234}\text{U}$ , имеет максимальные активности 0.00235–0.00245 Бк/л в западной и северо-восточной частях озера, что связано с впадением в этих местах рек, имеющих повышенные значения этого изотопа (рис. 2а). Что касается тяжелого изотопа урана 238, его активность, напротив, в данных районах минимальная от 0.00120 до 0.00135 Бк/л. Максимальные значения в 0.00175 Бк/л  $^{238}\text{U}$  отмечаются в южной части озера, что связано с источниками разгрузки подземных вод на дне и характеристиками втекающих в этом месте речных вод (рис. 2б).

Районы озера с относительно высокими значениями соотношения объемных активностей  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  (рис. 2в) указывают на то, что формирование поверхностных вод здесь происходит под влиянием втекающих рек с замедленной циркуляцией, приводящей к захвату выведенного из кристаллических решеток и подготовленного для растворения урана (эффект Чердынцева-Чалова) [4]. Кроме того эти реки несут небольшой объем воды, но имеют большую контактную поверхность с вмещающими русло породами. Максимальные обнаруженные значения для этого показателя составляют 1.65–1.70 единиц, минимальные 1.10.

На карте распределения концентрации урана (рис. 2з) видно, что максимальные значения находятся на юге озера и достигают  $1.4 \cdot 10^{-7}$  г/л. Минимальные значения зафиксированы на северо-западе и на востоке озера, где они составляют  $1.00-1.05 \cdot 10^{-7}$  г/л. Это обусловлено несколькими факторами: 1 – втекающей в него рекой с более высокой скоростью течения, когда вода не успевает обогатиться легким изотопом (эффект Чердынцева-Чалова); 2 – подтоком подземных источников имеющих высокую концентрацию урана и как следствие низкий коэффициент соотношения  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ; 3 – небольшой протяженностью втекающей в данном месте реки; 4 – влияние валунно-галечных пород слагающих речное русло обогащающих воду ураном.

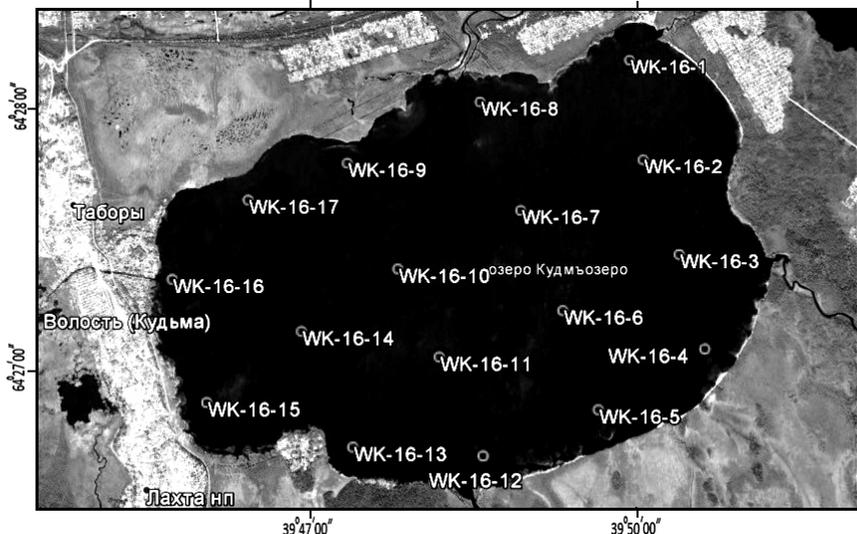


Рисунок 1. Схема отбора проб воды на оз. Кудмьозере [3].

В целом гумидный климат района исследований оказывает влияние на понижение концентрации урана из-за сильного разбавления речных и поверхностных озерных вод атмосферными осадками, которые имеют на порядок более низкие концентрации изотопов урана. Как правило, для озер с характерными гумидными условиями, где испарение подчинено атмосферным осадкам концентрация урана не превышает  $1.0-3.0 \cdot 10^{-7}$  г/л по сравнению с высокими значениями в аридных районах Земли. Это подтверждают и наши исследования оз. Кудмьозера. Помимо четных изотопов урана в природную смесь входит и  $^{235}\text{U}$ , используемый в атомной энергетике, измерения которого не выявили каких либо значений отличных от естественного природного соотношения. Общая картина исследования оз. Кудмьозера говорит о том, что в поверхностных водах отсутствуют

какие-либо уран-изотопные аномалии, а измеренные значения соответствуют нормам безопасности [5]. Распределение изотопов урана подчинено естественным потокам его поступления и распределения. Аномально высоких или низких значений объемной активности также не зафиксировано. Соотношение активностей изотопов больше единицы и находится в пределах для озер данного климатического пояса. Однако, в южной части озера могут быть точечные источники разгрузки подземных вод, что требует отдельного исследования с отбором придонных вод. Значения концентрации урана типичны для озерных вод данной территории.

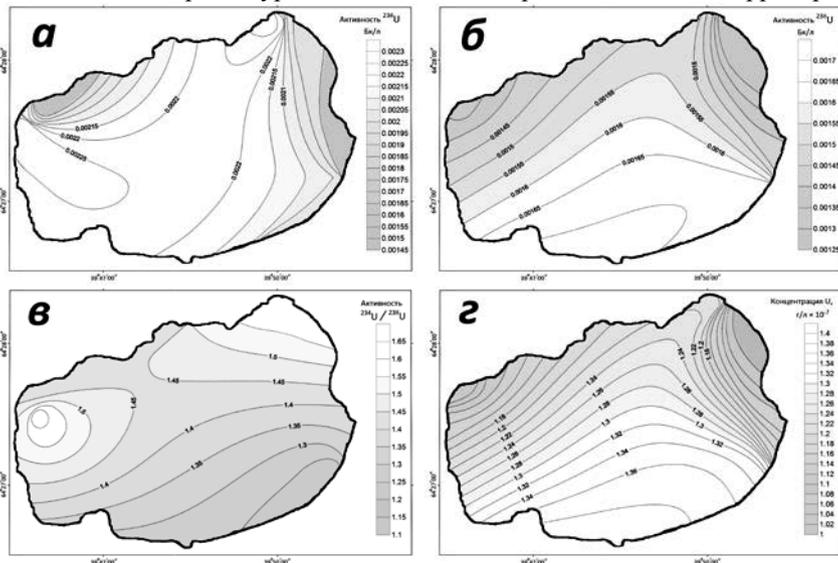


Рисунок 2. а – объемная активность  $^{234}\text{U}$  Бк/л; б – объемная активность  $^{238}\text{U}$  Бк/л; в – соотношение объемных активностей  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ; г – концентрация изотопов урана, г/л.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малов А.И., Киселев Г.П. Уран в подземных водах Мезенской синеклизы. Екатеринбург: УрО РАН, 2008.
2. Методика выполнения объемной активности изотопов урана ( $^{234}$ ,  $^{238}$ ) в пробах природных вод альфа-спектрометрическим методом с радиохимическим выделением. Ядерно-физические методы / Научный совет по аналитическим методам (НСАМ). Инструкция №381-ЯФ. М., 1999. 15 с.
3. US Dept. of State Geografer 2017 Google Image Landsat / Copernicus Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
4. Чалов П. И., Тузова Т.В., Тихонов А.И. и др. Неравновесный уран как индикатор при изучении процессов формирования и циркуляции подземных вод // Геохимия. 1979. № 10.

5. Санитарно-эпидемиологические и правила и нормы СанПиН 2.1.4.1116-02 / НИИ Экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина. М., 2002. 40 с.

In the article the assessment of even-numbered uranium isotopes in surface waters of the lake Kudmozero. The distribution of activity of uranium isotopes 234 and 238 in surface water. The calculated ratio of the activity of the isotope  $^{234}\text{U}$  to  $^{238}\text{U}$ . The concentration of uranium and the way it enters into surface waters.

**Иванов М.В.**

(Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,  
Владивосток, e-mail: [kirov-max@mail.ru](mailto:kirov-max@mail.ru))

## **РтутOMETрические исследования о. Русский залива Петра Великого Японского моря**

**Ivanov M.V.**

(V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch, Vladivostok)

## **Mercury in the air, water and bottom sediments of the Russian Island Japan Sea**

Ключевые слова: ртуть, донные осадки, геоэкология, залив Петра Великого Японского моря.

РтутOMETрическая съемка и мониторинг окружающей среды сейчас является наиболее удобным и информативным методом для выявления антропогенных и природных источников поступления ртути и других элементов спутников (тяжелых металлов). В связи со слабой изученностью природной эмиссии ртути в дальневосточных морях полученные данные важны для понимания как природных, так и антропогенных факторов. Новизна исследований заключается в проведении комплексных работ с изучением особенностей распределения ртути в воздухе, воде, почвах, горных породах и донных осадках о. Русский залива Петра Великого Японского моря. Ранее такие исследования на данной территории не проводились.

Ртуть и ее соединения, которые, как общепризнано, являются одними из наиболее опасных экотоксикантов, их трансформация и миграция в окружающей среде в связи с различными техногенными процессами являются едва ли не центральными в проблеме химии и экогеохимии тяжелых металлов.

Остров Русский расположен в заливе Петра Великого в Японском море, южнее Владивостока (наименьшее расстояние между континентальной частью города и островом равно 800 метрам). От полуострова Муравьёва-Амурского, где расположена основная часть Владивостока, Русский отделён проливом Босфор Восточный. С запада остров омывается водами Амурского залива, а с юга и востока – Уссурийского. На юго-западе проливом Старка отделён от следующего острова архипелага – острова Попова. Территория острова – 97.6 кв. км, длина – около 18 км, ширина – около 13 км. Население – 5 360 жителей.

В работе использованы пробы воздуха, почв и донных осадков, отобранные в экспедициях 2015 г. Пробы отбирались дночерпателем Ван Вина. В августе 2015 г. на маломерном судне ТОИ ДВО РАН было отобрано около 35 поверхностных донных осадков с глубин от 8 до 44 м. Было отобрано около 20 проб поверхностных почв о. Русского. Было пройдено автомобильной съемкой на скорости 20–40 км/ч около 550 км по грунтовым

дорогам о. Русского. Опробованы основные горные породы острова (рис.).

Для определения ртути в почвах и поверхностных донных осадках использовался отечественный анализатор ртути РА-915+ с пиролитической приставкой ПИРО-915. Для определения Hg в воздухе был использован РА915М+. На этом приборе можно с высокой селективностью определять ртуть в различных объектах природной среды. Его приставка ПИРО-915 позволила определять содержание ртути в твердой фазе, методом пиролиза. Нижний предел обнаружения – 0.5 нг/г. Стандартными образцами на ртуть служили ГСО 7183-95, СПДС-1,2,3. Внешний контроль ежегодно выполняется в лаборатории фирмы-производителя (ООО Люмэкс, г. Санкт-Петербург). Статистические параметры распределения были определены с помощью программы GeoStat (версия 7.06).

Типичный уровень содержания химического элемента, в данном случае Hg, считается среднефоновым содержанием –  $C_{\text{ф}}$ . Его еще называют фоновым содержанием или фоном. Нами этим показателем принято медианное содержание т.е.  $C_{\text{ф}}=C_{\text{ме}}$ . При его оценке аномальные и ураганные содержания не принимались во внимание.

ПДК (предельно допустимая концентрация) для почв составляет 2100 нг/г [1]. ПДК для воздуха населенных мест – 300 нг/м<sup>3</sup> [2]. Для горных пород ПДК не существует, и мы используем кларк Hg для осадочных пород по Виноградову А.П. (1962), который составляет 40 нг/г. Для поверхностных донных осадков так же нет ПДК. За фоновые значения для поверхностных донных осадков акватории о. Русского прилегающей части г. Владивостока принято значения медианы для совокупности проб (около 40 проб). Фон равен 35 нг/г.

*Почвы* о. Русского в основном представлены буроземами. Содержание ртути варьируют от 90 до 147 нг/г. За фоновые для почв содержания приняты значения медианы для совокупности проб (выборка около 20 проб). Фон равен 112 нг/г. Все содержания Hg не превышают ПДК. Нельзя исключать, что аномальные содержания могут быть в местах военных и промышленных объектов, куда доступ закрыт. Ранее такие содержания были обнаружены в районе б. Житкова, где сейчас расположен океанариум ДВФУ [3]. В районе м. Вятлина, где расположена свалка ТБО, которая использовалась при строительстве ДВФУ содержания Hg в почвах 1000-1100 нг/г.

При исследовании *поверхностных донных осадков* мы установили, что содержания ртути в поверхностных донных осадках варьируют от 11 до 369 нг/г. Максимальные ее содержания получены для осадков прилегающей к южной части г. Владивостока, где располагается городской порт и крупные промышленные объекты. Аномально-высокое содержание (2050 нг/г) зафиксировано в районе океанариума ДВФУ (рис.). Содержания Hg на этих станциях превышают фоновые в 40–60 раз. В 2008 г. в районе океанариума ДВФУ зафиксированы повышенные содержания ртути в поверхностных

донных осадках [3]. Так же повышенные содержания в придонной морской воде около (100 нг/л) были определены в 2005–2006 гг. [4]. Здесь можно говорить о локальном антропогенном источнике на дне Уссурийского залива на глубине около 20–40 м. Повышенные содержания Hg (около 500 нг/г) отмечены в бухтах Новик и Труда о. Русского, где расположена крупная свалка старых судов.

В поверхностных донных осадках Амурского залива содержания варьируют от 10 до 550 нг/г. Максимальные ее содержания получены для осадков в районах выхода неочищенных сточных вод г. Владивостока (р. Вторая речка, р. Первая речка). Содержания Hg в этих местах превышают фоновые в 10–20 раз. Максимальные содержания данного металла нами установлены в радиусе 300–500 м от места сброса сточных вод р. Вторая речка. Сравнение содержаний ртути в донных осадках, опробованных в 1987 г., и проб, отобранных в 2004 г., показало, что содержания ртути в пробах 2004 г. в 1.5 раза ниже, чем в пробах 1987 г. Это связано с уменьшением интенсивности хозяйственной деятельности после 1988 г. В период 1988–2000 гг. сброс сточных вод за счет перепрофилирования и сокращения общего числа предприятий-загрязнителей снизился в 6 раз.

Скорей всего это связано с наличием крупной ТЭЦ г. Владивостока в районе Первой речки, которая использует уголь, мазут и другие нефтепродукты с 1960 годов. Она использует местный уголь, в котором содержание ртути составляет около 700 нг/г. После сжигания Hg попадает в атмосферу, далее в морскую воду и донные осадки Амурского залива. Во Владивостоке преобладают ветра северо-западного направления. Разнос ртути и других тяжелых металлов от ТЭЦ составляет около 5–7 км. Большую роль в поставке ртути в залив играют сточные воды г. Владивостока. В районах сброса (ст. Чайка, р. Вторая речка, р. Первая речка) содержания ртути в морской воде определялись различными авторами. Содержание Hg в морской воде в этих районах 21 нг/л. В водотоках (ст. Чайка, Вторая речка) установлено содержание Hg более 20 нг/л. При среднем содержании для залива около 2 нг/л.

На содержание ртути в донных осадках этого района влияет тип осадка. Повышенные содержания ртути характерны для пелитовой фракции. Здесь преимущественно распространен псаммит алеврита, алеврит псаммитовый. Распределение ртути по типам донных осадков показывает обычное для всех тяжелых металлов увеличение содержаний в самых тонкозернистых осадках.

В районе поселка Экипажный о. Русский были получены повышенные содержания Hg в *приповерхностном воздухе* около 5 нг/м<sup>3</sup>. Эти аномалии приурочены к району местной ТЭЦ, которая работает на угле. Содержания в угле небольшие около 50 нг/г. Так же здесь зафиксированы повышенные содержания в воздухе в подвалах 5 этажных жилых домов. Фоновые содержания для острова по результатам ртутOMETрической съемки

составили  $1.5\text{--}1.7 \text{ нг/м}^3$ . Превышение надо фоном фиксировались редко в районах свалок ТБО (Твердых бытовых отходов) и в районах местных ТЭЦ. Все эти содержания не превышают ПДК в воздухе и находятся в районе природных содержаний Hg в воздухе данного региона.

Основные *горные породы*, представленные на о. Русском, содержат около  $10 \text{ нг/г}$  ртути. Обнажения горных пород выходят в районе кампуса ДВФУ и представлены песчаники и гранитами. Граниты в основном крупнозернистые, песчаники среднезернистые. Так же было определение Hg в кирпиче дореволюционных построек острова, где содержания около  $5 \text{ нг/г}$ .

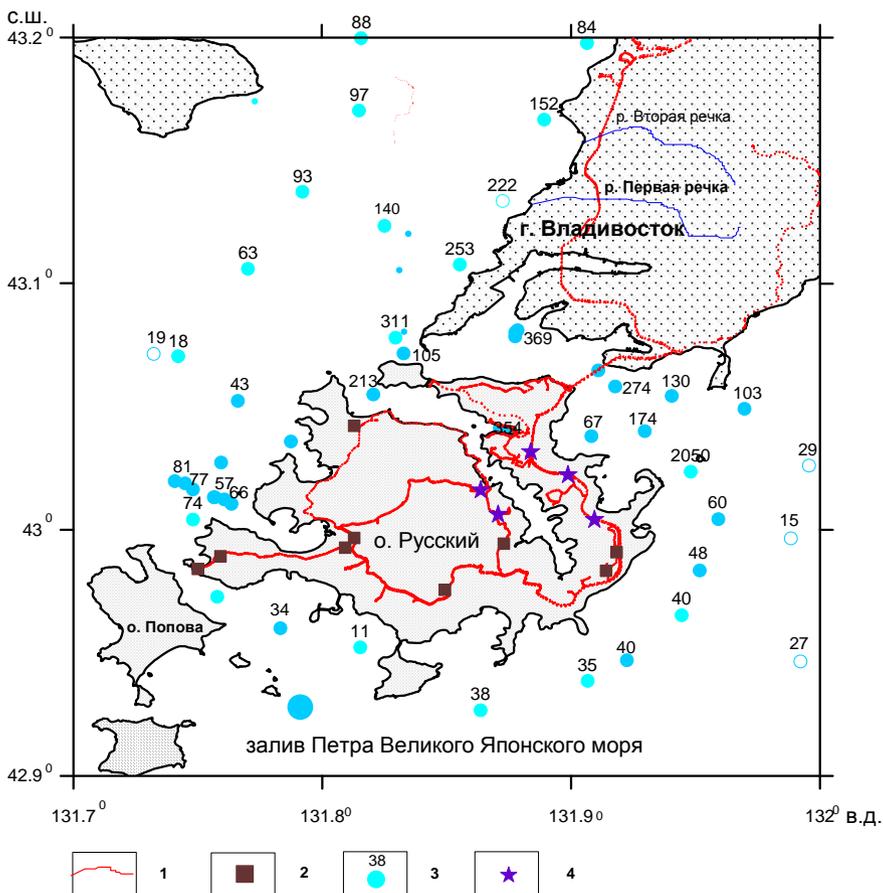


Рисунок. Районы работ. 1 – маршруты ртутнометрической съемки (воздух), 2 – пробы почв, 3 – станции отбора поверхностных донных осадков и содержания Hg (нг/г), 4 – пробы горных пород.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РГО «Ртутьметрические исследования о. Русский залива Петра Великого Японского моря».

Автор благодарит Аксентова К.И. за предоставления дополнительных проб донных осадков для изучения. Автор признателен К.И. Аксентову, Е.А. Лопатникову за помощь в экспедиционных работах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. ГН 2.1.7.2014-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
2. ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест»).
3. Калинин В.В., Мишуков В.Ф., Елисафенко Т.Н., Аксентов К.И. Комплексные химико-экологические исследования прибрежной зоны северо-восточной части о. Русский // Вестник ДВО РАН. № 5. С. 96–106.
4. Аксентов К.И. Ртуть в морской воде Амурского залива Японского моря: современные уровни содержания и геохимические процессы // Метеорология и гидрология. 2015. № 9. С. 59–66.

In bottom sediments of Amur Bay near Vladivostok were revealed the increase content of mercury. It in general coincides with already known area of accumulation of mercury and other polluting substance. By comparison of contents in the top polluted layers of cores and bottom – not polluted has come to light, that sediments of all the of Amur Bay are polluted with mercury. The contents of "excess" mercury - exceeding an average regional background (21 ppb) received for not polluted parts of cores have been designed. On a map of distribution of this mercury besides a northwest part of Amur Bay, with anomal contents, the contents are characteristic for the central part of a gulf and some sites at coast. Within the limits of the investigated area almost not polluted the area can be considered only southern.

**Котова Е.И.<sup>1</sup>, Виноградова А.А.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail: esopp@yandex.ru; <sup>2</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, e-mail: anvinograd@yandex.ru)

## **Роль стран Европы в загрязнении свинцом и кадмием севера европейской России**

**Kotova E.I.<sup>1</sup>, Vinogradova A.A.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk; <sup>2</sup>A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow)

## **The role of European countries in lead and cadmium pollution of the Northern European Russia**

Ключевые слова: дальний атмосферный перенос, тяжелые металлы, антропогенное загрязнение, трансграничный перенос, север европейской России

С помощью метода статистики траекторий движения воздушных масс оценены концентрации антропогенных Pb и Cd в воздухе и в осадках, а также их потоки на поверхность в нескольких районах севера европейской России. Используются данные ЕМЕР за 2010-2014 гг. об эмиссиях Pb и Cd в атмосферу с территории Европы. Анализируются пространственные, сезонные (январь/июль) и межгодовые различия вкладов источников этих металлов в загрязнение севера ЕТР.

Северо-запад России – регион, находящийся под воздействием морского воздуха Атлантики, приносящего осадки и загрязнения из зарубежной Европы, а также под влиянием российских промышленных районов, расположенных на европейской территории России (ЕТР) и, в частности, на Кольском полуострове.

Целью работы является оценка влияния атмосферных эмиссий свинца и кадмия на окружающую среду севера ЕТР при дальнем атмосферном переносе от антропогенных источников ЕТР и остальных стран Европы.

Метод статистики траекторий переноса воздушных масс, развитый для оценки влияния антропогенных источников тяжелых металлов (ТМ) на состав приземной атмосферы удаленных и труднодоступных территорий [1, 2], был применен для четырех непромышленных районов, расположенных на Кольском п-ове (Кол), в Архангельской обл. (Арх), в Ненецком заповеднике (НЗ) и на арх. Земля Франца-Иосифа (ЗФИ).

Расчеты производились на сетке 1×1 градус по данным ЕМЕП об эмиссиях свинца и кадмия в 2010–2014 гг. из базы, открытой для интерактивного использования через Интернет [3]. База содержит все данные об антропогенных выбросах, официально представленные секретариатом Конвенции о Трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния и участниками Конвенции. Для сравнения использовались данные [4] об антропогенных эмиссиях этих двух металлов

с территории европейской России в 2010 г.

Рассматриваются источники на территории в пределах 52–71°с.ш. и 0–60°в.д., поскольку вклад более южных районов в загрязнение севера России незначителен [1]. Предполагается, что антропогенные ТМ химически пассивны в приземном воздухе и их перенос происходит на аэрозольных частицах субмикронного размера. Средние скорости осаждения для разных сезонов приведены в [1].

В качестве показателей загрязнения окружающей среды рассчитывались средние (за месяц) значения концентраций в приземном воздухе антропогенных свинца и кадмия, их потоки на поверхность и концентрации в осадках и снеге вблизи рассматриваемых пунктов.

Результаты сравнения исходных данных ЕМЕР и России об эмиссиях свинца и кадмия в атмосферу с территории Европы приведены в таблице. Видно, что годовые эмиссии свинца с территории ЕТР севернее 52°с.ш. по данным двух источников информации близки, и в 2010 году эти выбросы составляли примерно пятую-шестую часть от средней суммарной эмиссии Европы. Для кадмия используемые данные об эмиссиях с территории ЕТР в 2010 г. заметно расходятся (от 1/5 до 1/2 от эмиссии с территории всей Европы).

Таблица. Суммарные годовые эмиссии свинца и кадмия с разных территорий (вся Европа или ЕТР) севернее 52°с.ш. по данным ЕМЕР [3] и России [4], т/год.

Территория, данные	Европа, ЕМЕР [3]	ЕТР, ЕМЕР [3]	ЕТР, Россия[4]
Годы	2010-2014	2010	2010
Pb	547	90	102
Cd	50	26	11

Для рассматриваемых районов севера ЕТР характерно более высокое содержание антропогенных свинца и кадмия в воздухе в зимний период по сравнению с летом [5], что связано с большим временем жизни ТМ в атмосфере в холодное время и, соответственно, с более эффективным переносом загрязнений из южных районов. Лишь в 2013 г. специфические условия циркуляции атмосферы создали условия, когда в районе Ненецкого заповедника концентрации обоих металлов в июле были выше, чем в январе.

В пространственном отношении наименьшее содержание металлов в воздухе удаленного архипелага Земля Франца-Иосифа, где даже максимальные значения концентраций свинца и кадмия составили лишь 0.047 нг/м<sup>3</sup> и 0.006 нг/м<sup>3</sup>, соответственно, зимой 2012 г. В целом по рассматриваемым пунктам максимальные концентрации ТМ в воздухе в рассматриваемые годы зимой – 20 нг/м<sup>3</sup> свинца на Кольском п-ве (2014 г.) и

9 нг/м<sup>3</sup> кадмия в Архангельской области (2013 г.).

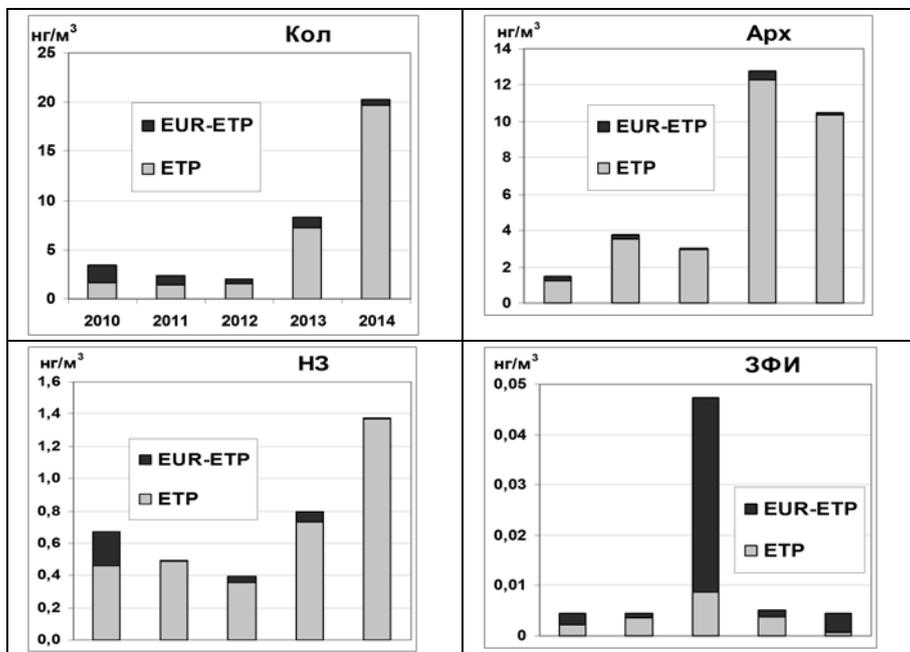


Рисунок 1. Концентрации свинца в воздухе рассматриваемых пунктов в январе, формируемые антропогенными эмиссиями на ЕТР и в остальной Европе (по ЕМЕР).

Рис. 1 показывает, как соотносятся в зимнее время абсолютные значения концентраций свинца в воздухе рассматриваемых пунктов, их значительные межгодовые вариации, а также соотношения вкладов ЕТР и остальной Европы в загрязнение свинцом в разные годы.

Согласно выполненным расчетам, в трех пунктах, расположенных на материке, относительный вклад антропогенных источников зарубежной Европы в содержание Pb и Cd монотонно убывал от года к году и зимой, и летом. Зимой от 30% в пунктах Арх и НЗ и от 50% на Кольском п-ве, становясь везде менее 5% к 2014 г. Летом в этих пунктах ЕТР вносит основной вклад в загрязнение окружающей среды антропогенными Pb и Cd, вклад зарубежной Европы (значительно более удаленных источников) менее 1%. И только на Кольском п-ове в 2010 г. он составил 60%, что связано с аномально устойчивым антициклоном над ЕТР летом 2010 г., в результате чего в центре ЕТР наблюдались мощные пожары, а загрязнения с этой территории в Арктику почти не поступали [2, 6].

В районе ЗФИ (как наиболее удаленном) соотношение вкладов ЕТР и

зарубежной Европы не меняется монотонно, а резкие изменения от года к году связаны с вариациями циркуляции атмосферы. Относительный вклад европейских стран в концентрацию свинца в воздухе ЗФИ в рассматриваемые годы составлял от 20% (2011) до 85% (2014) зимой и от 1% (2010, 2014) до 50% (2011) летом. 2012 год выделяется аномально высоким поступлением на ЗФИ загрязнений из Европы в целом.

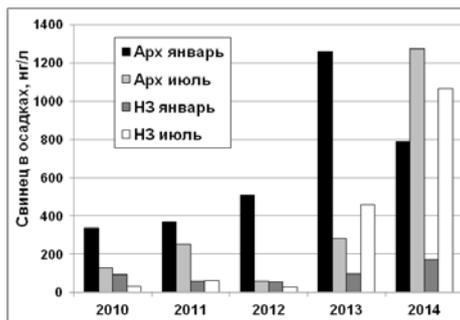


Рисунок 2. Концентрация свинца в осадках (растворенная фаза + взвесь) в пунктах Арх и НЗ в разные годы в январе и в июле, нг/л.

Соотношения вкладов ЕТР и зарубежной Европы в загрязнение рассматриваемых районов антропогенным кадмием не столь определены, как для свинца, поскольку эмиссии кадмия с территории ЕТР по данным Ежегодника [4] и ЕМЕР [3] заметно различаются (таблица). Но при всех оценках доля ЕТР в загрязнении кадмием северных районов превышает 90% от полного загрязнения из Европы.

Потоки антропогенных Рb и Сd на поверхность также сильно меняются как в пространстве, так и в течение года. Кроме циркуляции атмосферы, определяющей концентрацию металлов в воздухе, сказываются различия в количестве осадков год от года. Поскольку летом количество осадков и скорость осаждения примеси на поверхность больше, чем зимой, концентрация примеси в осадках теплого сезона может превышать зимнюю (рис. 2). Однако необходимо иметь в виду, что снег лежит в северных районах многие месяцы (4–9 месяцев для рассматриваемых пунктов), и при весеннем таянии все накопленные за это время примеси вбрасываются из него в почву или водоемы. Средние оценки концентрации свинца в снеговой воде перед таянием: 2125, 604, 71, 2 нг/л, соответственно, вблизи пунктов Кол, Арх, НЗ, ЗФИ. Размах колебаний ежегодных значений в 3 раза превышает среднее на Кольском п-ове и ЗФИ, в 1.5 раза – вблизи пунктов Арх и НЗ.

Таким образом, вклад зарубежной Европы в загрязнение свинцом и кадмием окружающей среды северо-запада России сильно меняется год от года за счет вариаций атмосферной циркуляции, а также количества

осадков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 4. С. 5–20.
2. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Тяжелые металлы в атмосфере над северным побережьем Евразии: межгодовые вариации зимой и летом // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15. № 4. С. 5–17.
3. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP) [Электронный ресурс]. [http://webdab1.umweltbundesamt.at/scaled\\_country\\_year.html?cgiproxy\\_skip=1](http://webdab1.umweltbundesamt.at/scaled_country_year.html?cgiproxy_skip=1) (Дата обращения 25.08.2017).
4. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / Под ред. А.Ю. Недре. СПб: ОАО «НИИ Атмосфера», 2011. 560 с.
5. Виноградова А.А., Котова Е.И., Топчая В.Ю. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов в районы севера европейской территории России // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 108–116.
6. Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н. Аномальные пожары 2010 и 2012 годов на территории России и поступление черного углерода в Арктику // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 6. С. 482–487.

The statistics of air mass transport trajectories was used to estimate air concentrations of anthropogenic Pb and Cd, as well as their fluxes onto the surface and concentrations in precipitations in some points of the Russian European North. Calculations were based on EMEP anthropogenic emission data for Pb and Cd from Europe in 2010–2014. We analyzed spatial, seasonal, and year to year variations in both Russian and other countries' contributions to pollution the European Russian North.

**Кропинова Е.Г.**

(ФГБУК «Музей Мирового океана», БФУ им. И.Канта, Калининград, e-mail: [svsivkova@rambler.ru](mailto:svsivkova@rambler.ru), [e.kropinova@world-ocean.ru](mailto:e.kropinova@world-ocean.ru))

**Вопросы экологии как одна из ведущих тем  
экспозиционного комплекса «Планета Океан» в Музее  
Мирового океана**

**Kropinova E.G.**

(Museum of the World Ocean, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad)

**Ecology issues as one of the main topics of the exposition  
complex "Planet Ocean" in the Museum of the World Ocean**

Ключевые слова: экология, музей, экспозиция, Мировой океан, устойчивое развитие

В статье рассказывается об экологических проблемах, затронутых во всех выставочных залах музейного комплекса Планета Океан в Музее Мирового океана. Цель этих экспозиций – показать, что в каждом разделе изучения океана возникают проблемы взаимодействия в системе «океан-человек». Вопрос Иммануила Канта «На что я могу надеяться?» в настоящее время звучит еще громче. И только человечество само может дать на него ответ.

*«Мы не должны позволить навсегда отравить море в то самое время, когда только начали постигать, что оно может дать науке, начали учиться жить в его лоне»*

*Жак-Ив Кусто*

Комплексный подход к изучению Мирового океана предполагает всестороннее изучение и экологической проблематики. Задача нового музейного комплекса показать максимально все грани взаимодействия ОКЕАН–ЧЕЛОВЕК. Именно такой подход вызвал к жизни презентацию проблем и демонстрацию процессов, формирующихся в ходе этого взаимодействия на всех «биосферных слоях» океана. Они нашли отражение в представленных в экспозиции одноименных лабораториях: Земли, Воды, Воздуха, Космоса, а также в выделенных в самостоятельные научные разделы – Лаборатории Климата, Лаборатории Красоты и Центр Мировых данных.

1. Вопросы экологии в «Лаборатории воды»

В разделе «Лаборатория воды» представлены несколько основных экологических проблем и предложены возможные пути их решения.

1). Экологически чистая энергия.

Один из главных вопросов современности – экологически чистая энергия. Вода является одним из наиболее древних и проверенных способов ее получения. Будут рассмотрены строение, условия использования ПЭС, ГЭС, осмотических и буйковых электростанции. В тематической структуре

раздела запланирован рассказ об энергии течений и энергии приливов-отливов, а также о геотермальной энергии.

#### 2). Дефицит пресной воды.

Вода является важнейшим ресурсом для поддержания жизни и источником всего живого на Земле, но её неравномерное распределение на континентах не раз становилось причиной экологических конфликтов и социальных катастроф. Дефицит пресной питьевой воды, начиная с последнего десятилетия двадцатого века, постоянно рассматривается как одна из глобальных проблем современности. В этой теме будут рассмотрены: проблема недостатка пресной воды, возможные способы ее получения (опреснительные станции, получение воды из воздуха путем конденсации и др.), типы опреснителей.

#### 3). Дефицит чистой воды

Наличие пресной воды – жизненно-необходимое условие существования человека. Однако, не менее важной составляющей качества жизни населения является качество питьевой воды. Согласно данным ВОЗ, к 2025 году половина мирового населения будет проживать в районах, в которых будет ощущаться дефицит воды [1]. Более чем десятилетняя борьба за качество воды под эгидой Генеральной Ассамблеи ООН позволила период с 2005 по 2015 гг. провозгласить международным десятилетием действий "Вода для жизни" [2]. По мере развития человечества появляются все новые загрязнители, а значит, возникает потребность и в разработке новых способов очистки. Данный комплекс затрагивает вопросы очистки водопроводных, канализационных и сточных вод. Будет воссоздан макет очистных сооружений. Рассказ о технологиях очистки воды построен на примере реально существующих и применяемых в отечественной и зарубежной практике.

#### 4). Острова мусора в океане

Морской мусор, особенно пластмассы и другие искусственные материалы, стали распространенной проблемой загрязнения, затрагивающей все океаны – от полярных регионов до экватора. Серьезные травмы и смертельные случаи, вызванные морским мусором, были зарегистрированы для многочисленных морских животных и птиц, либо потому, что они запутались в нем, либо ошибочно приняли его за добычу и съели [3]. Скопления отходов из пластмасс образуют в Мировом океане под воздействием течений особые мусорные пятна – мусорные острова. Их размеры громадны, что фиксируется космическими съемками.

#### 5). Добыча цветных металлов из воды

Мировой океан является неисчерпаемой кладовой химического сырья. В его водах растворены практически все элементы таблицы Менделеева. Помимо огромного количества солей в водной толще хранится столько цветных металлов, что запасы всех месторождений земного шара по сравнению с ними ничтожны. Несмотря на то, что в 1 л<sup>3</sup> морской воды

содержится 0.008 мг золота, и это бесконечно малая величина [4], но в масштабах всех вод – эти запасы значительны. В экспозиционном комплексе будут рассмотрены вопросы добычи цветных металлов из вод океана, представлена интересная информация о зарегистрированных патентах и существующих технологиях по добыче.

## 2. Вопросы экологии в «Лаборатории Земли»

В «Лаборатории Земли» посетитель узнает не только о процессах формирования и развития литосферы, слагающей дно Мирового океана, минеральных ресурсах и их значимости для человека. В разделе «Лаборатория Земли» будут рассмотрены вопросы сохранения природной среды при добыче полезных ископаемых. Добыча полезных ископаемых со дна океана усиливается по мере истощения месторождений на суше. Вместе с тем, природные экосистемы океана не менее (а иногда и более) уязвимы. Дноуглубительные работы любого типа эродировать океаническое дно, что приводит к широкомасштабному разрушению мест обитания морских млекопитающих, а также уничтожению огромного количества рыб и беспозвоночных. В ходе добычи с океанского дна в воде поднимаются облака взвеси, мешая процессам фотосинтеза фитопланктона и другой морской жизни. Кроме того, добываемые из недр химические вещества, при нарушении методов добычи или в результате аварий, попадая в океанические воды, могут приводить к включению в пищевые цепи ранее безобидных тяжелых металлов (находящихся до того в связанном виде). Особое внимание уделено рациональному использованию природных ресурсов, вопросам применения экологически безопасных технологий при добыче полезных ископаемых. Кроме того, будет затронут актуальный вопрос соблюдения баланса между экономической целесообразностью и сохранением природной среды при организации добычи, оценке величины потенциального ущерба разведочных работ и работ по извлечению ресурсов для донных экологических сообществ. Планируется привести примеры использования экологических технологий в мировой практике, в том числе, при добыче нефти на шельфе Балтийского моря (Кравцовское месторождение). Элемент будущей экспозиции уже размещен в существующей экспозиции «Глубина» и представлен темой «Энергия глубины – черное золото Балтики».

## 3. Вопросы экологии в «Лаборатории Жизни»

Биоразнообразие – ключевое понятие при рассмотрении вопросов охраны окружающей среды. Конвенция о биологическом разнообразии положила начало последующим международным договорам (Картахенский протокол по биобезопасности, Нагойский протокол регулирования доступа к генетическим ресурсам... и др.). Необходимость сохранения и поддержания биоразнообразия в Мировом океане связана с тем, что это – один из главных показателей устойчивости и жизнеспособности вида и экосистемы в целом. Нарушение экологического равновесия, экологические

проблемы, вызванные антропогенным воздействием, будут рассматриваться на примере современного состояния различных представителей биоты океана. Тема «Они могли жить» посвящена вымершим жителям океана. Об угрозах для существующих видов расскажет комплекс о морских млекопитающих, повествующий, в том числе, о влиянии шумового загрязнения на поведение и здоровье популяции китообразных. Отдельной темой будут представлены морские особо-охраняемые природные территории.

#### 4. Вопросы экологии в «Лаборатории Воздуха»

Атмосферное загрязнение и его последствия для отдаленных от его очагов территорий, объяснимые в рамках концепции глобальной атмосферной циркуляции, - основная тема раздела. Будет рассмотрен также процесс глобальной дистилляции (или «эффект кузнечика»), объясняющий перенос органических загрязнителей из более теплых в более холодные области Земли, прежде всего горные вершины, полярные шапки, нанося вред девственным экосистемам. Раздел «Медпункт» расскажет о влиянии атмосферы на здоровье людей, о прямой зависимости здоровья целых городов от качества воздуха. Здесь у посетителя появится возможность проверить свой организм и то, как на него влияет атмосфера, а точнее изменение ее параметров. Гости музея смогут измерить объем легких, давление, проверить на себе, что ощущаемая организмом температура и реальная не совпадают и т.д.

Возможности использования воздушных масс как источника экологически чистой энергии – это самостоятельная актуальная тема раздела. Здесь будут рассмотрены основные этапы становления ветроэнергетики: мельницы, водонасосные башни, пневмопочта, ветропарки, плавающие ветряные турбины и др.

#### 5. Вопросы экологии в «Лаборатории Космоса», «Лаборатории Климата» и в «Центре Мировых данных»

Развитие в последние десятилетия направления космического зондирования Земли позволяет дать ответы на сложные вопросы, во многом связанные с будущим глобальной экосистемы – биосферы. Глобальные изменения климата, истончение озонового слоя – вопросы, так или иначе влияющие на все составные части биосферы, и поэтому затрагиваемые во всех разделах экспозиции. В «Лаборатории Космоса» также освещены проблемы загрязнения стратосферы космическим мусором и перспективы утилизации его с околоземной орбиты. На конкретных примерах будет доказана потребность в снижении интенсивности техногенного засорения космоса. Помимо того, что рост количества объектов орбитального мусора ведет к невозможности дальнейшего освоения космоса, он может также стать причиной глобальных катастроф.

#### 6. Вопросы экологии в «Лаборатории Красоты».

Океан – это не только источник проблем и беспокойства для человека,

присущие водной стихии, но и источник здоровья и красоты. Использование Океана в рекреационных целях позволяет сместить деятельность человека с экологически вредных или опасных производств на экологически безопасные виды деятельности – туризм и рекреацию. Экономическая выгода от мультипликационного эффекта этой отрасли экономики в долгосрочной перспективе позволяет достичь большего эффекта и обеспечить устойчивое развитие прибрежных территорий и акваторий.

Таким образом, через все разделы новой экспозиции стержнем пройдет тема антропогенного воздействия на экосистему Мирового океана. При этом будут не просто озвучены стоящие перед человечеством и во многом созданные им экологические проблемы, но и предложены современные способы и подходы к их решению. Вопрос Иммануила Канта «На что я могу надеяться?» в настоящее время звучит еще громче. И только человечество само может дать на него ответ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вода. Информационный бюллетень. Ноябрь 2016. // Всемирная организация здравоохранения, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/ru/> (режим доступа 15.09.2017)
2. Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. [Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.]. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2017 г. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
3. Pollution // State of the World's Oceans / Allsopp M., Page R., Johnston P., Santillo D. (eds) Springer, Dordrecht, 2009.
4. Море – хранилище химических элементов. Сайт «Человек и подводный мир». <http://underwater.su/books/item/f00/s00/z0000041/st004.shtml> (режим доступа 15.09.2017)

The article tells about the environmental problems affected in all exposition complexes of the newly planned THE PLANET OCEAN museum complex in the Museum of the World Ocean. The purpose of these topics is to show that on each layer of the ocean problems arise during and due to the interaction in the Ocean-Man system. The question of Immanuel Kant - "What can I hope for?" – sounds even louder. And Man is obliged to find the answer.

**Круглякова Р.П., Курилов П.И., Тереножкин А.М**

(АО Южморгеология», Геленджик; e-mail: [kruglyakova@ymg.ru](mailto:kruglyakova@ymg.ru))

**Многолетние наблюдения за активностью грязевых вулканов Темрюкского залива (Азовское море)**

**Kruglyakova R., Kuriliv P., Terenoshkin A.**

(Yuzhmorgeologia, Gelendzhik)

**Long-term observations of the activity of the mud volcanoes of the Temryuk Sea (Azov Sea)**

Ключевые слова. Азовское море, грязевые вулканы, предвестники извержений, нефтяные компоненты, ртуть

Получены новые данные о флюидах и геодинамической активности грязевых вулканов Темрюкский и Голубицкий в Азове. Выявлены геохимические предвестники извержений вулканов.

Подводные грязевые вулканы Азовского моря составляют единую грязевулканическую провинцию с вулканами суши Керченско-Таманского региона, где насчитывается более 25 вулканов [1].

В настоящее время активно осваиваются нефтяные и газовые месторождения Азовского моря. Лицензионный участок ООО «НК «Приазовнефть» расположен в юго-восточной части Азовского моря, южная часть приурочена к побережью Темрюкского залива. Освоение ЛУ предполагает поисково-разведочное и эксплуатационное бурение месторождений углеводородов. В связи с этим необходимо изучить воздействие деятельности вулканов на морскую экосистему, чтобы отличить изменения природного характера от изменений, вызванных производственным антропогенным воздействием.

В Темрюкском заливе, в прибрежной части акватории и в непосредственной близости от берега, находятся наиболее крупные грязевые вулканы: Каменный, Азовское Пекло, Тиздар, Темрюкский и Голубицкий (рис.). Опасны ныне действующие грязевые вулканы, особенно в период их активизации. К таким активным относятся вулканы Темрюкский и Голубицкий. В рамках государственного мониторинга состояния недр шельфа Азово-Черноморского бассейна АО «Южморгеология» изучает опасные геологические процессы. В настоящей работе приводятся результаты исследований в районе подводных вулканов Темрюкский и Голубицкий за шесть лет наблюдений (2011–2016 гг.).

*Вулкан Темрюкский* расположен в Темрюкском заливе на траверзе Пересыпского гирла. Количество станций опробования в районе вулкана в разные годы составлял от 1 до 12 станций. На примере геохимического изучения осадка ст. 1101 рассмотрены закономерности изменения содержания основных химических компонентов, которые поставляются в

природную среду. Содержание нефтепродуктов (НП) в донных осадках на ст. 1101 за шесть лет наблюдений составляет 134–4696 мг/кг, что превышает допустимую концентрацию нефтепродуктов (ДК=50 мг/кг) от 3 до 94 раз.

Содержание фенолов – от 0.04 до 0.59 мг/кг при фоне <0.01 мг/кг. В осадках ст. 1101 суммарное содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) составляет от <5 до 616 нг/г при фоне <5 нг/г. ПАУ поставляется в морскую среду вместе с нефтяными компонентами. Следовательно, донные отложения района вулкана Темрюкский в целом характеризуются высоким содержанием компонентов нефтяного ряда, а экстремально высокие их содержания свидетельствуют об активизации грязевулканической деятельности. По результатам геомониторинга активизация вулкана Темрюкский отмечается в 2013, 2015 и 2016 гг.

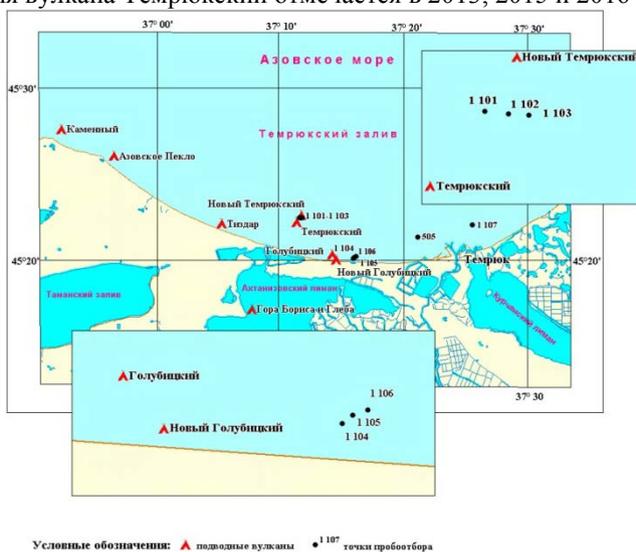


Рисунок. Схема расположения грязевых вулканов в Темрюкском заливе

Донные осадки ст. 1101 характеризуются повышенным содержанием ртути (Hg=0.018–0.310 мг/кг при фоне=0.015 мг/кг), никеля (Ni=11–62 мг/кг при фоне ДК=35 мг/кг).

Как показали выше, в 2013 г. наблюдаются максимальные показатели по нефтяным компонентам. В этот год в пределах вулкана Темрюкской опробовано 12 станций, что позволило изучить поставку материала и химических компонентов в морскую экосистему, их перенос от очага извержения, структуру аномального геохимического поля и ранжирование участка по зонам переноса. Исследования показали, что в центре извержения отмечаются разгрузка УВ-флюидов с максимальным

содержанием в осадках НП, фенолов, ПАУ (табл.).

Таблица. Распределение нефтяных компонентов в донных отложениях по зонам вблизи вулкана Темрюкский в период активизации

Зона	НП, мг/кг	Фенолы, мг/кг	∑ПАУ, нг/г
Центральная (ядро)	5978	0.78	650.6
Транзитная	1194	0.29	114.9
Периферическая	403	0.07	120.4

Характер распределение компонентов нефтяного ряда в районе Темрюкского вулкана совершенно одинаково. Максимальные содержания отмечаются в центральной (ядерной) зоне, уменьшаясь в транзитной и в периферической зонах. Даже в периферической зоне содержание нефтяных компонентов выше допустимых концентраций. В районе вулкана наблюдается повышенное относительно фоновых значений содержание всех тяжелых металлов с коэффициентами концентрирования: As (12.0), Cd (2.3), Pb (2.2), Hg (1.9), Fe (1.9), Cu (1.8), Ni (1.7), Co (1.7), Mn (1.6).

Во время извержения вулкана Темрюкский в июле 2007 г. образовался грязевулканический остров на траверзе станицы Пересыпь в 4130 м от берега. В осадках вокруг вулкана содержание нефтепродуктов в то время зафиксировано от 62.9 до 371.0 мг/кг, что в 7–39 раз превышает фоновое содержание [2, 3].

Таким образом, детальные исследования в районе вулкана Темрюкский однозначно и убедительно показывают поставку УВ-флюидов (НП, УВ-газов, фенолов, ПАУ) и сопутствующих элементов в морскую среду, их перенос и накопление в донных отложениях.

*Вулкан Голубицкий* расположен в 300–500 м от берега против пляжной зоны станицы Голубицкая Краснодарского края. История деятельности вулкана Голубицкий отражена в трудах академика НАН Украины Е.Ф. Шнюкова [1, 4]. Катастрофические извержения подводного вулкана Голубицкая происходили в 1988, 1994, 2000, в июне 2002, в июле 2008 гг. Последнее извержение произошло в октябре 2015 г.

На примере геохимического изучения осадка ст. 1104 в районе вулкана Голубицкой рассмотрены закономерности изменения содержания основных химических компонентов за шесть лет наблюдений. Мониторинг выполнен по компонентам нефтяного ряда, тяжелым металлам (Hg, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co, Fe, Mn).

Накануне извержением вулкана Голубицкая (октябрь 2015 г.) в августе того же года в осадках на ст. 1104 наблюдается резкое увеличение содержание НП, фенолов, ПАУ. Изученные тяжелые металлы менее ярко отражают приближение активного извержения вулкана. Накануне извержения вулкана Голубицкой в осадках (ст. 1104) наблюдается увеличение содержания ртути, марганца, цинка, никеля. Тенденция

увеличения ртути, как наиболее летучего элемента, началась еще в 2014 г., а перед извержением в августе месяце наблюдается его максимальное содержание в осадке.

В районе Пересыпского гирла в морской воде и донных отложениях периодически отмечается повышенное содержание нефтяных углеводородов, бенз(а)пирена, тяжелых металлов (Mn, Cu, Hg, Pb, Cd), которые мы связываем с деятельностью подводного грязевого вулкана Голубицкий, расположено в 450–500 м от берега.

*Извержение грязевого вулкана Голубицкий.* Подводный вулкан извергался в период с 15 по 27 октября 2015 г. с выбросом газов и грязевулканического материала (грязевые массы, обломки пород, пар) на высоту до 5 м с активным ростом острова.

Для оценки воздействия на геологическую среду при оперативном обследовании отобраны пробы грунта, морской и озерной воды на анализ основных «загрязнителей» от грязевулканической деятельности и газофлюидной разгрузки – тяжелые металлы (Hg, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co, Fe, Mn), нефтепродукты, фенолы и ПАУ.

Содержание НП в морской воде залива вблизи образовавшегося острова изменяется от 0.1 до 0.6 мг/л при среднем значении 0.2 мг/л, в «озере» – 0.15 мг/л, что составляет 3 ПДК. В воде «озера» отмечается высокое содержание ртути (1.27 мг/л при фоне 0.05 мг/л).

*Грязевулканический материал образовавшегося острова вулкана Голубицкий.* Выполнен анализ 4 образцов вулканического материала и осадок пляжа станицы Голубицкой на траверзе острова. В материале острова зафиксировано экстремально высокие содержания компонентов нефтяного ряда – углеводородные газы, нефтепродукты, ПАУ и ртуть. В процессе грязевулканической активизации в атмосферу выбрасываются УВ-газы (метан и его гомологи), углекислый газ. Содержание УВ-газов в изверженном материале на 3–5 порядка выше, чем фоновые значения в современных донных отложениях. Экстремально высокие содержания УВ-газов свидетельствуют о глубинной, термогенной природе газа.

Содержание нефтепродуктов в изверженном материале острова в 2008 г. составлял 28–173 мг/кг, в вулканическом острове 2015 г. – от 1405 до 6903 мг/кг, т.е. в десятки раз выше. Содержание фенолов составляет 0.06–0.46 мг/кг, максимальное содержание в 15 раз выше фона. Осадки вулканических островов характеризуются высоким содержанием  $\Sigma$ ПАУ (2008 г. – до 6787 нг/г, 2015 г. – до 289 нг/г). В изверженном осадке острова в 2015 г. отмечается повышенное содержание тяжелых металлов (Hg, Pb, Zn, Cd, Cu,) от 2 до 3 раз; Ni, Co, Fe – в 4 раза. В осадках вулканических островов в 2008 и 2015 гг. отмечается экстремально высокое содержание ртути (до 0.030 и 0.149 мг/кг). Следует отметить, что в осадке на пляже также наблюдается повышенное содержание НП (66 мг/кг), фенолов – 0.12 мг/кг,  $\Sigma$ ПАУ – 104 нг/г, ртути – 0.049 мг/кг. Следовательно, изверженный

материал в период активизации вулкана разбрасывается на сотни метров, достигая пляжа.

Таким образом, наши исследования показали, что наиболее ярко выраженными предвестниками катастрофических извержений подводных вулканов в Темрюкском заливе являются газообразные и жидкие компоненты нефтяного ряда (углеводородные газы, нефтепродукты, фенолы, ПАУ). Из сопутствующих тяжелых металлов наиболее «подвижным» является ртуть, при этом донные осадки районов подводных вулканов характеризуются повышенным (2–4 раза относительно фона) содержанием всех изученных элементов (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Co, Fe, Mn). Полученные данные однозначно свидетельствуют о том, что в период активности грязевых вулканов происходит поступление в экосистему Азова множества токсичных компонентов – ПАУ, НП, фенолов, тяжелых металлов 1 и 2 классов экологической опасности (Hg, Pb, Cd, As, Cu). По этим потенциально загрязняющим веществам проводится производственный мониторинг Азово-Черноморского бассейна нефтяными компаниями. Поэтому важно знать источник поступления загрязняющих веществ в природную среду, отличать природное поступление компонентов с глубинных источников от техногенного загрязнения. При освоении нефтегазовых залежей в Темрюкском заливе необходимо учитывать риск, связанный с близостью подводных грязевых вулканов и возможным усилением их деятельности.

Наблюдения показали, что образовавшиеся эфемерные вулканические острова в течение года размываются волнами и исчезают.

Использованы геологические материалы, полученные в рамках Государственных контрактов № 35/01/60-11, 42/01/60-9, 01/20/60-2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: 2005. 176 с.
2. Бабешко В.А., Зарецкая М.В., Круглякова Р.П. и др. Оценка влияния вулканических и природно-технологических загрязнений на экосистему Азовского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2010. № 12. С. 6–12.
3. Круглякова Р.П., Курилов П.И., Глазырин Е.А., Тереножкин А.М. Геолого-геохимическая характеристика грязевых вулканов Темрюкского залива // Защита окружающей среды в нефтегазодобывающем комплексе. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2012. № 10. С. 13–19.
4. Шнюков Е.Ф., Ступина Л.Н., Рыбак Е.Н. и др. Грязевые вулканы Черного моря. Каталог. ГНЦ ОМГОР. Киев: Логос, 2014. 259 с.

New data are obtained on the fluids and geodynamic activity of the mud volcanoes of Temryuk and Golubitsky in Azov. Geochemical precursors of volcanic eruptions have been identified.

**Кузнецов А.Н., Заграничный К.А.**

(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: [ankuznecov@sfedu.ru](mailto:ankuznecov@sfedu.ru))

**Результаты десятилетнего мониторинга уровня и состава нефтяного загрязнения береговой зоны Чёрного моря в районе г. Новороссийска**

**Kuznetsov A.N., Zagranichny K.A.**

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

**Results of Ten-Year Monitoring of the Oil Pollution Level and Composition in the Black Sea Coastal Zone in the Area of the City of Novorossiysk**

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, углеводороды, смолистые компоненты, трансформация, побережье, Черное море, Новороссийск

Получены оригинальные результаты по изучению в течение продолжительного времени уровня и состава нефтяного загрязнения, выполненных в береговой зоне Черного моря в районе агломерации г. Новороссийска.

Российское побережье Черного моря выделяется ключевым географическим положением на пути важнейших транспортных потоков нефти и продуктов ее переработки. В наибольшей степени техногенному давлению подвержена береговая зона Черного моря в районе г. Новороссийска – крупнейшего морского порта России. Ежегодно через его терминалы отгружается около 100 млн. т нефти и нефтепродуктов. О высоком уровне нефтяного загрязнения прилегающей акватории свидетельствуют данные многочисленных исследований [1–5].

Цель настоящей работы – проанализировать результаты десятилетних (2007–2016 гг.) наблюдений за изменением количества, свойств и состава нефтяных агрегатов и сликов на побережье Черного моря в районе нефтеналивных терминалов г. Новороссийска и сопоставить их с результатами изучения содержания нефтяных компонентов в водной толще и донных отложениях.

В августе–сентябре 2007–2010 гг., в каждый из четырех сезонов 2011 г., в июне 2012, 2013 гг., сентябре 2014 г. и июле 2016 г. проведены экспедиционные исследования на побережье и в прибрежных водах г. Новороссийска и его окрестностей. Схема станций наблюдений и отбора проб представлена на рис. 1. Программа исследований включала отбор проб воды и донных отложений, образцов нефтяных агрегатов и покрытых сликами береговых отложений, гидрометеорологические наблюдения. В общей сложности, за десятилетний период исследований отобраны и проанализированы на предмет содержания нефтяных компонентов 83 пробы воды, 102 образца нефтяных агрегатов и сликов, четыре колонки донных отложений мощностью до 20 см, разделенные на 22 пробы. Анализ проб

выполнялся с использованием колоночной и тонкослойной хроматографии, оптических и гравиметрических методов, позволяющих отдельно определять содержание трех групп компонентов нефти: 1) алифатических, алициклических, моно- и диароматических углеводородов (УВ), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), смолистых компонентов (СК) – смол и асфальтенов [6].

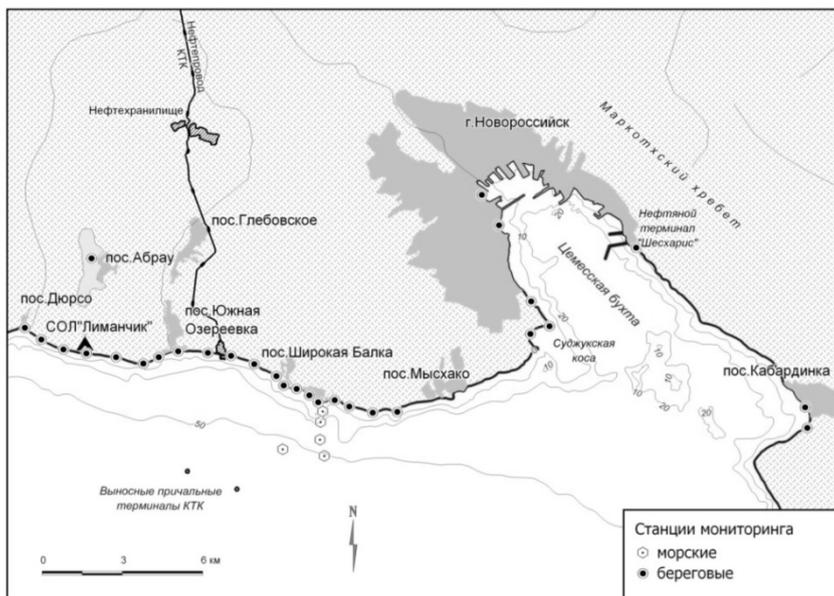


Рисунок 1. Схема станций наблюдений и отбора проб в районе г. Новороссийска.

Согласно полученным результатам, в течение периода наблюдений уровень нефтяного загрязнения прибрежных вод, как правило, превышал величину ПДК для водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение (ПДК<sub>р.х.</sub>). Наиболее высокие концентрации (0.33–0.74 мг/л) отмечены в конце августа 2007 и 2008 гг. [2]. В последующем наблюдалась устойчивая тенденция снижения уровня загрязнения до 0,06 мг/л и менее в 2012–2013 гг. на фоне сокращения общего грузооборота торговых портов региона в связи с кризисными явлениями в мировой экономике и планомерного ввода в эксплуатацию локальных очистных сооружений производственных и дождевых сточных вод на вновь возводимых и реконструируемых объектах промышленности, портовой инфраструктуры и курортного бизнеса. В последние годы содержание углеводородов в прибрежных водах несколько выросло: в среднем до 0.07 мг/л в начале сентября 2014 г. и 0.11 мг/л в конце июля 2016 г. Следует иметь в виду, что уровень нефтяного

загрязнения береговой зоны может меняться не только вследствие изменения поступления, но и по причине его перераспределения и переноса в шельфовых водах под действием природных факторов, прежде всего, гидрометеорологических [1, 3].

Результаты послойного обследования четырех колонок донных отложений мощностью до 20 см, отобранных в районе пос. Широкая Балка, свидетельствуют о сравнительно низком уровне загрязнения субстрата: во всех пробах, за исключением двух, концентрации суммы нефтяных компонентов не превышали 0.13 мг/г сухой массы. Это может быть обусловлено значительными глубинами в районе отбора проб (45–50 м) и невысокой сорбционной способностью слагающих дно песчано-ракушечных и песчано-илистых отложений. Во всех обследованных пробах в составе углеводородов отмечено преобладание продуктов современного биосинтеза. На это указывает молочно-голубая люминесценция тонкослойных хроматографических пластинок с нанесенным на них экстрактом в ультрафиолетовом свете.

На берегу вдоль всего обследованного участка регулярно фиксировались многочисленные различающиеся по составу и свойствам нефтяные агрегаты и слики. Особенно сильно загрязнена Суджукская коса, расположенная у входа в Цемесскую бухту, напротив нефтеналивного терминала компании «Транснефть» в пос. Шесхарис. Сопоставление результатов мониторинга за разные годы свидетельствует о том, что к 2010–2011 гг. уровень загрязнения побережья, как и водной толщи, существенно снизился по сравнению с периодом 2007–2008 гг. По внешнему виду, запаху и составу следов нефтяного загрязнения можно сделать вывод о присутствии как «старых», выветрелых образцов, состоящих на 60–90% из устойчивых к биохимической трансформации смол и асфальтенов, так и довольно «свежих» агрегатов с преобладанием алифатических и алициклических углеводородов. При этом преобладали выветрелые, что свидетельствует о хроническом характере загрязнения. Исключение составил лишь август 2008 г., когда вслед за крушением танкера «Волгонепфть-139» в Керченском проливе на побережьях г. Новороссийска и его окрестностей появилось немало «свежих» агрегатов, по составу сходных с разлившимся мазутом.

С течением времени под действием факторов окружающей среды состав нефти и нефтепродуктов закономерно изменяется. При этом соотношение между углеводородами, которые можно считать лабильными компонентами нефти, и более консервативными смолисто-асфальтеновыми веществами смещается в пользу последних в силу их низкой миграционной способности и слабой трансформируемости микроорганизмами. В этой связи, ранее нами была высказана и теоретически обоснована идея о возможности использования соотношения между содержанием суммы нефтяных углеводородов (УВ) и суммы смолистых компонентов (СК) в качестве упрощенного показателя степени трансформации разлившейся нефти [7].

Экспоненциальный характер изменения этого соотношения во времени, выявленный по результатам многолетних наблюдений на различных с географической точки зрения побережьях [8], позволяет использовать для описания динамики процесса самоочищения полупериод ( $T$ ) изменения соотношения УВ/СК в составе нефтяных агрегатов и сликов.

Для оценки скорости естественной трансформации нефтяного загрязнения его образцы, отобранные в каждую из экспедиций, были разделены на группы, относительно однородные по внешнему виду, составу и, как следствие, времени нахождения в береговой зоне. На рис. 2 показано изменение во времени соотношения УВ/СК в составе агрегатов и сликов, отнесенных к разным группам, а также полупериоды их трансформации ( $T$ ).

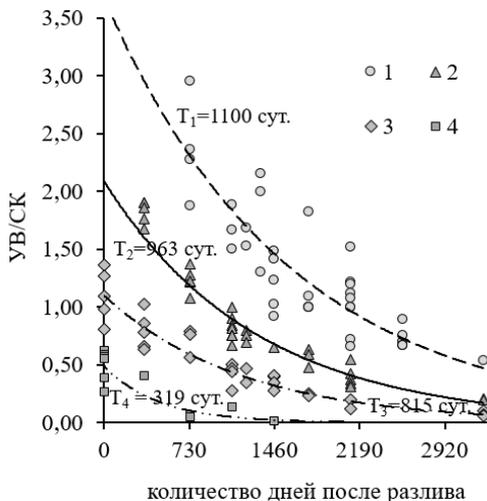


Рисунок 2. Изменение соотношения между содержанием углеводородов и смолистых компонентов (УВ/СК) в составе нефтяных агрегатов и сликов, обнаруженных на побережьях: 1 – крупные скопления; 2, 3 – различающиеся по степени трансформации корки и агрегаты толщиной 2–10 мм; 4 – тонкие пленки и потеки;  $T$  – средние значения полупериодов трансформации (индекс соответствует номеру в легенде).

Как видим, ключевым фактором, определяющим разброс их значений, является дисперсность поллютанта, от которой зависит поверхность соприкосновения с окружающей средой. Особенно медленно распадаются крупные скопления нефтепродуктов. Сравнение с данными аналогичных исследований в Керченском проливе и на северо-западных побережьях Франции и Испании [8] свидетельствует о том, что на пляжах и клифах Черного моря и Керченского пролива, в условиях большего количества солнечных дней, лучшей прогремости воздуха и водной толщи в теплое

время года, меньшей солености морских вод, отсутствия приливо-отливных явлений и, как следствие, большего времени воздействия на слики ультрафиолетового излучения и воздуха, процесс распада мазута протекает в два раза активнее, чем на побережье Атлантики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Южного федерального университета (внутренний грант 5.5795.2017/8.9).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедрицкий А.И., Асмус В.В, Кровотынцев В.А. и др. Спутниковый мониторинг загрязнения российского сектора Черного и Азовского морей в 2003–2007 гг. // Метеорология и гидрология. 2007. № 11. С. 5–13.
2. Кузнецов А.Н., Денисов В.И., Ткаченко Ю.Ю., Заграничный К.А. Нефтяное загрязнение береговой зоны Черного моря в районе морского терминала Каспийского трубопроводного консорциума в пос. Южная Озереевка // Экологические проблемы. Взгляд в будущее. Сборник трудов 6-й Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: ЗАО «Ростиздат», 2008. С. 255–258.
3. Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А., Заграничный К.А. Нефтяное загрязнение побережья Черного моря в районе г. Новороссийска (по результатам многолетних исследований) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2013. № 1. С. 71–77.
4. Немировская И.А., Лисицын А.П. Углеводороды в водах и донных осадках прибрежных районов северо-восточной части Черного моря // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464. № 3. С. 334–340.
5. Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Соьер В.Г. Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей растет // Природа. 2016. № 5. С. 64–69.
6. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 222 с.
7. Федоров Ю.А., Страдомская А.Г., Кузнецов А.Н. Закономерности трансформации нефтяного загрязнения в водотоках по данным многолетних наблюдений // Водные ресурсы. 2006. № 3. С. 327–337.
8. Kuznetsov A.N., Fedorov Yu.A., Fattal P., Zagranichny K.A., Ebner F. Dynamics of Spilled Oil Natural Transformation on the Sea Coasts in Different Geographical Conditions // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014. Conference proceedings. V. 2. Sofia (Bulgaria): STEF92 Technology Ltd., 2014. P. 561–568.

The paper examines the results of field observations carried out from 2007 to 2016 on the Black Sea coast in the area of the city of Novorossiysk, which is the most important oil port of Russia. The evidences of high level and chronic character of oil pollution are presented. Much attention is given to the analysis of changes in the composition of oil slicks found on the shore. These data allow evaluating the half-periods of their natural destruction varying from 1 to 3 years.

**Литвиненко И.В.<sup>1,2</sup>, Моргунова И.П.<sup>1</sup>, Петрова В.И.<sup>1,2</sup>,  
Куршева А.В.<sup>1</sup>, Батова Г.И.<sup>1</sup>, Щербаков В.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени академика И.С. Грамберга», Санкт-Петербург, e-mail: [ivanlitvinenko@mail.ru](mailto:ivanlitvinenko@mail.ru); <sup>2</sup>ФГБОУВО «Санкт-Петербургский Государственный Университет», Институт Наук о Земле, Санкт-Петербург)

**Углеводороды природного и антропогенного происхождения в донных осадках в районе потенциального нефтяного загрязнения (Залив Петра Великого, Японское море)**

**Litvinenko I.V.<sup>1,2</sup>, Morgunova I.P.<sup>1</sup>, Petrova V.I.<sup>1,2</sup>,  
Kursheva A.V.<sup>1</sup>, Batova G.I.<sup>1</sup>, Scherbakov V.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>FSBI "The All-Russia scientific research institute of geology and mineral resources of the World Ocean named after academician I.S. Gramberg", Saint-Petersburg; <sup>2</sup>St.-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences Saint-Petersburg)

**Hydrocarbons of natural and anthropogenic origin in bottom sediments in the area of potential oil pollution (Peter the Great Bay, Sea of Japan)**

Ключевые слова: донные осадки, ароматические углеводороды, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), нефтяное загрязнение.

В результате проведения двухлетнего мониторинга в заливе Петра Великого были выделены зоны с фоновыми и аномальными концентрациями компонентов рассеянного органического вещества (РОВ), в том числе нефтяных углеводородов, в поверхностных донных отложениях. В районах, удаленных от влияния техногенных источников, преобладают молекулярные структуры генетически связанные с наземной растительностью, аномальные же содержания углеводородов зафиксированы в районах характеризующихся поступлением вещества из внутренних областей заливов.

Нефтяные углеводороды (НУ), входят в состав рассеянного органического вещества (РОВ) донных отложений и имеют широкое распространением в природных средах, при этом, с экологической точки зрения, они могут быть отнесены к группе загрязняющих веществ, что обусловлено канцерогенными и мутагенными свойствами отдельных соединений [1]. Выявление антропогенных источников поступления углеводородов в природную среду порой затруднительно как в связи с высокой вариабельностью природного геохимического фона, так и из-за различий в генезисе индивидуальных соединений. Особого внимания заслуживает группа полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) благодаря тому, что не все ее компоненты поступают в природную среду исключительно в результате антропогенной деятельности и являются

ксенобиотиками, но также могут иметь и природное происхождение. Таким образом, высокий уровень содержания суммы ПАУ или суммы НУ в донных осадках в целом не всегда является следствием антропогенного воздействия. Большая неоднородность в распределении нефтяных углеводородов в донных осадках залива Петра Великого (ЗПВ) может быть обусловлена как антропогенными, так и природными факторами. Важным и особенно актуальным представляется изучение распределения индивидуальных компонентов углеводородов в донных осадках.

Материалом для изучения состава и распределения углеводородов в поверхностных донных осадках прибрежного мелководья и удаленных от берега глубоководных частях залива Петра Великого послужили образцы 19-ти станций донного опробования, полученные в ходе экспедиционных работ ФГБУ «ВНИИОкеангеология» в 2013 г. Помимо этого был проведен сравнительный анализ материалов, полученных в результате мониторинга 2012 г. [2]. Образцы донных осадков сохранялись до момента лабораторных исследований в стерильной таре при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$ . Аналитическая процедура включала определение элементного состава образцов ( $C_{\text{орг}}$ ,  $C_{\text{карб}}$ ), группового и молекулярного состава растворимой части РОВ методами препаративной жидкостной хроматографии и ГХ-МС (GC-MS Agilent 6850/5973).

Содержание органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) в исследованных осадках изменяется в диапазоне от 0.3 до 5.1% на грамм сухого осадка, что сопоставимо с полученными ранее для этого района средними значениями  $\sim 3.05 \pm 0.54\%$  [2, 3]. Существенное влияние на групповой состав РОВ оказывают реки, в большом количестве впадающие в ЗПВ. Основным растворимым компонентом РОВ являются гуминовые кислоты (ГК = 2.9–40.3% и до 41.5% в образцах 2012 г.). Битуминозность образцов ( $\beta$ ) изменяется от 4 до 14%. Соотношения полярных (Асп-б) и неполярных (Ахл) компонентов битумоида свидетельствует о слабо окисленном состоянии РОВ, а величина  $\text{ООВ}_{\text{ср.}} \sim 70\%$  – о ранней стадии его диагенетического преобразования. В некоторых образцах с высоким значением  $\beta$  (до 26% – в бухтах Золотой Рог и Новик) содержание неполярных компонентов существенно превышает количество полярных (Ахл до 26%, Асп-б < 6.4 %), что сочетания с низким значением  $\text{ООВ}$  ( $\sim 51.5\%$ ) может свидетельствовать об интенсивном поступлении в осадок УВ нефтяного ряда. В групповом составе битумоида осадков ЗПВ преобладают высокомолекулярные компоненты — смолы, что согласуется с раннедиагенетической стадией трансформации РОВ. Асфальтеновая составляющая также представлена весьма заметно, а количество масел (углеводородов) изменяется в диапазоне от 20.6 до 66.5% и несколько превышает показатели 2012 г. Наиболее насыщены углеводородами донные отложения Амурского и Уссурийского заливов, а также бухты Находка. Причем если для Уссурийского залива, по сравнению с 2012 г., состав УВ

перераспределяется в сторону увеличения содержания метано-нафтеновых компонентов, то для Амурского залива и бухт Анна и Находка, напротив, наблюдается рост содержания более токсичной ароматической составляющей. Суммарные содержания индивидуальных компонентов в составе алифатической фракции РОВ (изопреноидов, n-алканов, стеранов и гопанов) выросли на порядок по сравнению с показателями 2012 г. Так, изменения содержаний компонентов в 2012/2013 гг. для n-алканов составили 5/21 мкг/г, для гопанов – 2500/33000 нг/г, для стеранов – 1400/18300 нг/г. В большинстве образцов в составе углеводородов преобладают структуры, связанные с наземной растительностью. Это указывает на интенсивное влияние речного стока на процесс формирования состава РОВ донных осадков. Соотношения изопреноидов и n-алканов свидетельствуют о преимущественно слабо восстановительных и нейтральных условиях среды осадконакопления (Пр/Фит < 1), а уровень зрелости биогенного ОВ для большинства проб характеризуется как низкий (CPI > 2, Кизо > 1, по сравнению с CPI ~ 1÷2, Кизо < 1 для образцов 2012 г.).

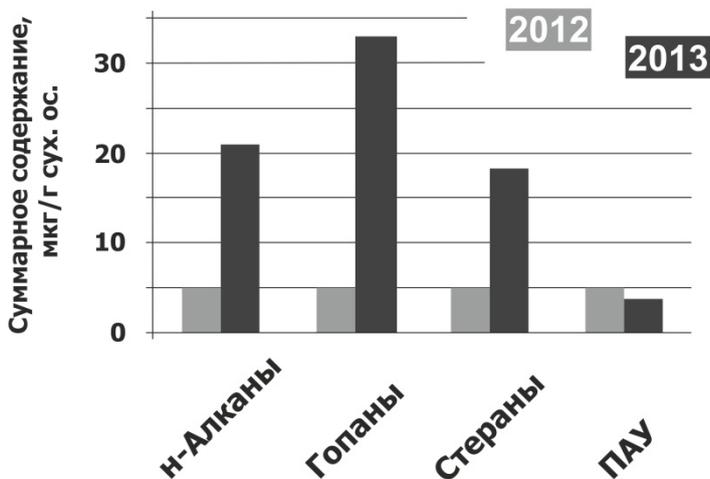


Рисунок. Временные изменения содержания компонентов рассеянного органического вещества донных осадков.

Содержание полициклических ароматических углеводородов (20 доминантных соединений и их алкил-гомологов) варьирует в основном в пределах 500 нг/г, достигая в центральной части Амурского Залива максимальных значений 1300 нг/г осадка, что на порядок превышает значения, характерные для прибрежно-шельфовых и эстуарно-шельфовых областей [4]. Аномальные концентрации (до 38000 нг/г) отмечены в зонах с повышенным антропогенным влиянием (бухта Золотой Рог, западное

побережье Уссурийского залива) и указывают на низкий вклад биогенно-диагенетической компоненты в формирование ПАУ.

В мористой зоне акватории и зонах относительно умеренной антропогенной нагрузки в составе ПАУ обнаружено существенное количество нафтидогенных компонентов — фенантрена (м.м. 178) и его алкилированных гомологов (м.м. 192, 206, 220), соотношение которых свидетельствует о невысокой степени преобразования вещества ( $\text{Фен}/(\text{Фен}+\text{Алк-Фен})\sim 0.4$ ,  $\text{МР1}\sim 0.4$ ). Относительные содержания нафтидогенных и пирогенных компонентов в осадках акватории не указывают на преобладание одного источника вещества в ЗПВ:  $(\text{Алк-Фен}+\text{Фен}+\text{ДБТ}+\text{Алк-ДБТ})/\Sigma\text{ПАУ}\sim 0.4$  и  $(\Sigma 202+\Sigma 252+\Sigma 276+\Sigma 278)/\Sigma\text{ПАУ}\sim 0.4$  соответственно. Относительно низкие показатели отмечены также для биогенных ПАУ, свидетельствующие о вкладе высшей растительности:  $(\text{Кад}+\text{Рет}+\text{ТГХ}+\text{Пер})/\Sigma\text{ПАУ}\sim 0.06$ .

В донных осадках зоны с предполагаемым повышенным антропогенным воздействием (бухта Золотой Рог) состав компонентов ПАУ имеет нафтидогенный генезис и характеризуется высоким уровнем зрелости ( $\text{Фен}/(\text{Фен}+\text{Алк-Фен})\sim 0.1$ ,  $\text{МР1}\sim 0.6$ ).

В проливе вблизи бухты Золотой Рог преобладают компоненты пирогенного происхождения ( $\text{Флу}/\Sigma 202\sim 0.6$ ) и с низким уровнем преобразования ( $\text{Фен}/(\text{Фен}+\text{Алк-Фен})\sim 0.5$ ,  $\text{МР1}\sim 0.3$ ), что может быть обусловлено интенсивным течением. Для других районов с антропогенной нагрузкой (бухта Находка, бухта Анны, прибрежная часть Уссурийского залива) характерны повышенные концентрации антрацена и бенз(а)антрацена ( $(\Sigma 202+\Sigma 252+\Sigma 276+\Sigma 278)/\Sigma\text{ПАУ}\sim 0.5$ ), являющихся высокотоксичными соединениями техногенного генезиса, а также общий относительно низкий уровень зрелости ( $\text{МР1}\leq 0.5$ ), что говорит о поступлении в осадок свежего органического вещества и об общем значительном уровне возможного загрязнения акватории.

Таким образом, формирование фона РОВ в осадках ЗПВ происходит под действием широкого спектра как природных, так и антропогенных факторов. Для районов с повышенной антропогенной нагрузкой характерно увеличение поступления нефтяных углеводородов, что влечет за собой и скачкообразные изменения в содержании и составе РОВ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумов Ю.А. Антропогенез и экологическое состояние геосистемы прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого Японского моря. Владивосток. 2006. 276 с.
2. Моргунова И.П., Литвиненко И.В., Щербаков В.А. Аномалии в распределении органического вещества донных осадков залива Петра Великого (Японское море), как индикатор загрязнения акватории // Материалы 3-ей Международной конференции молодых ученых и

специалистов «Актуальные проблемы нефтегазовой геологии XXI века». СПб.: ВНИГРИ, 2013. С. 39–42.

3. Moshchenko A.V. et al. Influence of contamination on soft-bottom communities in Peter the Great Bay, Sea of Japan: choice of variables // Ecological Studies and the State of the Ecosystem of Amursky Bay and the Estuarine Zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan). Vladivostok: Dalnauka, 2009. V. 2. 332 p.

4. Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В., Литвиненко И.В. и др. Геохимия полициклических ароматических углеводородов донных осадков восточно-арктического шельфа // Океанология. 2008. Т.48. № 2. С. 215–223.

As a result of a two-year monitoring in Peter the Great Gulf Bay zones with background and anomalous concentrations of DOM components and petroleum HC in surface bottom sediments were detected. In areas remote from the influence of technological factors dominate molecular structures genetically related to terrestrial vegetation. While anomalous concentrations of petroleum hydrocarbons are characteristic for areas where, according to the currents pattern, the matter is taken from the inner areas of the bays.

## **Медведева В.Н.**

(ФГБУК «Музей Мирового океана», Калининград, e-mail: [v.stepancova@yandex.ru](mailto:v.stepancova@yandex.ru))

### **«Лаборатория Воды» Мирового океана**

## **Medvedeva V.N.**

(Museum of the World Ocean, Kaliningrad)

### **«Water Laboratory» of the World Ocean**

Ключевые слова: музей, экспозиция, Мировой океан, лаборатория воды, Арктика, Антарктика, Атлантика, Индо-Пацифика, эксплораториум.

В работе описываются замысел и концепция раздела «Лаборатория Воды» музейного комплекса «Планета Океан». Выделяются основные тематические блоки, проблематика и тип построения раздела. Цель создания экспозиции — комплексное представление Мирового океана, основанное на единстве происходящих в нем процессов в общем и на отличительных чертах каждой акватории в частности.

*«Человечество должно подумать о водной системе рек, озер, морей и океанов, как о первом условии своего выживания»*

*Жак-Ив Кусто*

Вода – одно из наиболее замечательных веществ, известных человеку. Это обманчиво простая молекула обладает четырьмя десятками необъяснимых свойств, отличающих её от большинства других химических веществ, встречающихся в жидком состоянии. Начиная с истоков химии, учёные в продолжение довольно большого периода времени уделяли ей не слишком много внимания, считая ее простым соединением, не вступающим в сложные реакции и не разлагающимся при этом на составляющие. Только после открытия кислорода — «жизненного воздуха» и водорода — «горючего воздуха» вода стала предметом пристального изучения. Но вода была и есть везде: и в человеке, и в воздухе, и в камнях. Она является универсальной связью, которая соединяет живое и неживое. Большая часть воды сосредоточена в водах Мирового океана, чье значение невозможно переоценить, ведь это место зарождения жизни; колоссальный источник полезных ископаемых, гидрохимического сырья и возобновляемых энергетических ресурсов; это транспортная артерия, обеспечивающая торгово-экономические связи; место «рождения» погоды и многое другое. Учитывая вышеуказанное, человечество в XXI веке должно осознать свою ответственность перед окружающей средой. Ключевой путь этого процесса – защита и углубление понимания океанов. Первое должно осуществляться полномасштабным и неукоснительным сохранением ресурсов нашей планеты, а второе – широким развитием научных исследований.

Музей Мирового океана работает над созданием нового экспозиционного корпуса, который представляет собой научно—исследовательский корабль с именем «Планета Океан». На этом судне должны быть Лаборатории (экспозиционные разделы): Балтийского моря,

Земли, Жизни, Воды и Воздуха, Космоса, Красоты. В Лабораториях — Отряды (экспозиционные темы): «Волновых процессов», «Течений» и др., которые будут заниматься решением различных проблем (вопросов).

Цель создания раздела «Лаборатория Воды» состоит в комплексном представлении Мирового океана, основанном на единстве происходящих в нем процессов в общем и на отличительных чертах каждой акватории в частности. Нужно подвести человека к осознанию необходимости взаимодействия с Океаном как единственно правильного направления развития цивилизации. Для этого нужно показать строение молекулы воды, как основу всех происходящих процессов; рассказать о гидрохимических особенностях, в т.ч. и прибрежных вод, ведь главное богатство Мирового океана – сама морская вода; объяснить функционирование Мирового океана через гидрологический режим; рассказать об основных проблемах экологического состояния вод Мирового океана и привлечь внимание к Мировому океану как к источнику возобновляемых энергетических ресурсов и транспортной артерии мира.

В ходе «путешествия» по экспозиции посетитель должен осознать все сложности взаимодействия человеческой цивилизации с Океаном и невозможность разрыва этой связи. Пассажиры нашего корабля осмыслят необходимость бережного отношения к Мировому океану, познают океан в его многообразии и единстве, столь необходимым для формирования научного миропонимания системы «Океан» – «Человек». Путешествие по «Лаборатории воды» не станет простым знакомством или отстраненным любованием, оно позволит гостям музея ощутить себя участником научной экспедиции по изучению Мирового океана, представленного музейными средствами как планетарный феномен. Это станет возможным, поскольку наш Корабль – синтез морского и естественнонаучного музеев, объединенных в единую взаимопроникающую систему – это музей-эксплораториум. Человек достаточно часто воспринимает Мировой океан как просто большой объем воды, а его разделение на отдельные океаны, представляется как нечто условное и беспричинное. Редко кто задумывается, что океаны чем-то отличаются друг от друга. При географическом принципе формирования экспозиции Мировой океан рассматривается как комплекс океанов, каждый из которых имеет свою отличительную черту, свой характер и историю жизни, которая намного длиннее нашей. Особенность построения экспозиции заключается в том, что она оставит в памяти человека своего рода маркеры относительно каждого океана. Она сформирует для каждой из этих акваторий свой неповторимый лик. Для некоторых из них это может стать более интенсивное проявление природного явления или процесса, первое упоминание о событии или изобретении и т.д.

Экспозиция будет иметь многоуровневую структуру, что позволит адаптировать сложный научный материал для посетителей различного

возраста, уровня подготовленности и интересов. Первая ступень – эмоциональное воздействие: посетитель удивляется разнообразию и сил, и явлений природы. Ему становится любопытно узнать обо всем как можно больше, и музей предоставляет такую возможность. На второй ступени посетитель взаимодействует с экспозицией, экспериментирует. Экспозиция дает возможность понять, каким образом природные богатства могут быть использованы на благо человечества и как можно взаимодействовать с природой, не разрушая экосистему Мирового океана. И главное: знакомство с экспозицией должно способствовать формированию у нашего посетителя экологического мышления, бережного отношения к природе и понимания роли Мирового океана в жизни человечества.

Экспозиция будет разделена на 5 основных зон: «Арктика-Антарктика»; «Атлантика»; «Индо-Пацифика»; «Мировой океан»; «Исследовательская лаборатория». Границы зон условны, как и границы между океанами, что подчеркивает главное свойство всех вод – постоянную трансформацию. Попав в «Лабораторию Воды», посетители как участники научно-исследовательского рейса будут продвигаться от полярных областей к водам Атлантики, затем попадут в Индо-Пацифику, познакомятся с понятием Мировой океан и Исследовательской лабораторией, где приобретут свой собственный опыт по обработке научных данных и проведению натуральных экспериментов.

Знакомство посетителя с «Лабораторией Воды» начнется с зоны «Арктика/Антарктика». Большинство людей при упоминании полюсов представляют себе самые суровые места, где огромные снежные шапки, глыбы льда, ветра, сбивающие с ног, ледяная вода, отсутствует растительность, а животный мир, представлен всего несколькими видами. Люди воспринимают эти территории, как давно изученные, и никак не влияющие на нашу жизнь. Однако, это заблуждение. До конца XIX века нога человека еще не ступала ни на Северный, ни на Южный полюса, и каждая экспедиция вносила необходимые изменения и дополнения в географические карты. Уникальные природные условия Арктики и Антарктики, и по настоящее время дают пищу для размышлений о прошлом, настоящем и будущем климате нашей планеты, что в свою очередь является одной из главных проблем современной науки. Арктика вместе с Антарктикой – главные «холодильники» планетарной климатической системы, от характера их работы зависят погода, климат, повторяемость многих природных катастроф на Земле. В экспозиционных комплексах будет рассказано об основных характеристиках, которые объединяют и отличают Арктику от Антарктики, о типах и особенностях существования льда в природе, его аномалиях и движении, об этапах и способах изучения полярных районов Земли; явления внутренних волн. Все это необходимо для того, чтобы посетитель понял, что полюс Земли – это не точка на карте, не безжизненный монолитный кусок холодной воды, а

«организм», который живет и меняется.

Познакомившись с наиболее отдаленными частями Мирового океана, наш исследователь перейдет на следующую станцию, находящуюся в водах *Атлантического океана*. Этот океан относительно узок, извилистой лентой он протягивается между полюсами и омывает все материки планеты за исключением Австралии. Торговые, пиратские, военные, а впоследствии и научные суда бороздили его моря, бухты и заливы начиная с IV в до нашей эры. В XV веке, с открытием Америки, освоение океана расширилось и превратило его в самую оживленную судоходную магистраль. Отличительной чертой этого океана является сильная изрезанность береговой линии, относительно малое количество островов, сложный рельеф дна и наибольшая площадь бассейнов рек, впадающих в этот океан или его окраинные моря. В районе Атлантического хребта происходят землетрясения, извергаются вулканы, в ущелье рифтовой долины изливается базальтовая лава — рождается новая земная кора океанического типа. Благодаря большой протяженности с севера на юг океан лежит во всех климатических поясах Земли. Атлантический океан знаменит айсбергами, откалывающимися от ледяного панциря Антарктиды и ледникового щита Гренландии. Это акватория, в которой существуют сотни течений, здесь несет свои воды Гольфстрим, которому мы обязаны нашим мягким климатом; тут самые высокие приливы в мире, а волны могут стоять, здесь впервые были зафиксированы «чокнутые» волны и несколько крупнейших нефтяных катастроф. Этот океан самый изученный и освоенный из всех, на его площадь приходится 60% морских перевозок. Именно с этими темами и вопросами познакомится посетитель музея.

После работ в Атлантическом океане через длинный переход по открытым просторам океана наш ученный попадет в загадочную *Индо-Пацифику*. Тихий и Индийский океаны – это неизведанный, опасный, но столь прекрасный мир. Тихий, или Великий, океан – крупнейший и самый глубокий океан планеты. Он располагается во всех полушариях и омывает все материки планеты, кроме Африки. По периферии Тихий океан окружён островными дугами, глубоководными желобами, а на суше — горными хребтами, составляющими так называемое «Огненное кольцо», где наиболее часты землетрясения и извержения вулканов как на суше, так и под водой. Именно подводные извержения становятся причиной разрушительных волн – цунами. Тропические районы океана отличаются глубоким тёмно-синим цветом и необыкновенной прозрачностью вод. Штормы и тайфуны, часто возникающие над океаном на западе тропической зоны, обрушиваются на восточные берега Евразии; а влажные муссоны приносят большое количество осадков. Великий океан необычайно богат биологическими и минеральными ресурсами. Некоторые организмы, обнаруженные в Тихом океане, свидетельствуют, что он является древнейшим океаном Земли. По левую сторону от крупнейшего океана

находится Индийский. Он омывает Евразию, Австралию, Африку и Антарктиду. Большая часть Индийского океана расположена в тёплых климатических поясах – экваториальном, субэкваториальном и тропическом. Лишь его южные районы, находящиеся в высоких широтах, испытывают сильное влияние Антарктиды. При смене направлений ветров в северной части океана свирепствуют тропические циклоны. Южнее экватора в океане формируется кольцо течений. В южной части в Индийский океан впадает мало рек, поэтому его воды отличаются особенной чистотой и прозрачностью. Индийский океан изучен хуже других океанов, и его богатые природные ресурсы пока используются недостаточно. По запасам и добыче нефти и газа Индийский океан занимает первое место в мире. Именно в Индо-Пацифике находятся лучшие места для серфинга, происходит явление Эль-Ниньо, можно зафиксировать один из сильнейших апвеллингов, побывать над самой глубокой точкой Мирового океана, понять, почему образуются цунами, острова мусора, как был открыт подводный звуковой канал и многое другое, с чем мы и познакомим наших исследователей.

У каждого океана свое лицо и неповторимый характер. Но, как и у людей у них есть одинаковые черты. И следующим объектом нашего изучения станет *«Мировой океан»*. Эта зона, куда «стекаются» знания обо всех океанах земли. Здесь мы узнаем о глобальной циркуляции океана и транспортных путях; почему море солёное; что такое волны и чем они отличаются; какие экологические проблемы существуют и как с ними бороться; разгадаем секрет пресной воды, чистой энергии и ответим на самый важный вопрос — почему мы не можем жить без воды.

Для того что бы посетитель смог опробовать полученные знания и приобрести собственный эмпирический опыт, в экспозиции будет создана *«Исследовательская лаборатория»*. Это место полного погружения в веселую науку на борту НИС в условиях качки, ветра и брызг соленой воды. На нашей палубе посетитель закрепит материал, который услышал, прочитал или просто увидел. Здесь он сможет раскрыть свойства воды, как вещества и раствора, основываясь при этом на ее происхождении, видах природных вод, строении и кластерной структуре и аномалиях воды необходимых для жизни на планете. Но ответы на поставленные вопросы человек получит опытным путем. Он поймет, как все-таки выглядит молекула воды, сколько у нее агрегатных состояний, узнает, что воды – это своего рода конструктор, из которого состоит практически все на свете: и моря, и камни, и воздух, и, конечно же, человек!

The article describes the idea and concept of WATER LABORATORY, a part of THE PLANET OCEAN museum complex, as well as its thematic elements, topics and type of its arrangement. The aim of the exposition: a complex presentation of the World Ocean based on its common processes in general, and unique characteristics of each body of water in particular.

**Мельник В.Ф.**

(АО «Южморгеология», Геленджик, e-mail: melnikvf@ymg.ru)

**Эпифауна железомарганцевых конкреций, зона разлома  
Кларион-Клиппертон, Тихий океан.**

**Melnik V.Ph.**

(Joint-Stock Company “Yuzhmorgeologia”, Gelendzhik, e-mail: melnikvf@ymgl.ru)

**Manganese nodule epifauna, Clarion-Clipperton Fracture  
Zone, Pacific Ocean**

Ключевые слова: железомарганцевые конкреции, эпифауна, субстрат, мшанки, полихеты, численность.

Резюме: исследование поверхности железомарганцевых конкреций показало наличие разнообразной фауны, обитающей на поверхности этих рудных образованиях. Наибольшие многочисленными в эпифауне конкреций оказались мшанки и полихеты. Промышленная добыча конкреций может вызвать серьезные нарушения в данном сообществе.

Железомарганцевые конкреции, залегающие на поверхности глубоководных осадков в зоне разлома Кларион-Клиппертон в Тихом океане, являются не только промышленными запасами полиметаллических руд, но и важным источником твердого субстрата, на котором обитают многочисленные и разнообразные животные, относящиеся к эпифауне конкреций. Промышленная добыча конкреций, когда эта руда будет полностью удалена с огромных площадей морского дна, может вызвать серьезные нарушения прежде всего в сообществе животных, для которых поверхность конкреций является единственным источником существования.

В этой связи Международный Орган по морскому Дну (МОМД) в своих рекомендациях по оценке возможного экологического воздействия от добычи подчеркивает особую роль в проведении оценки фоновой характеристики всех составных частей бентосного сообщества, обитающего в областях залегания конкреций. Особое внимание при проведении таких исследований уделяется эпифауне конкреций, на которую будет оказано наиболее разрушительное воздействие, могущее привести к исчезновению многих видов животных.

В 2014 г. при проведении геологоразведочных работ на отдельном участке морского дна площадью 4700 км<sup>2</sup>, входящем в состав Российского разведочного района (РРР) для исследования фоновых характеристик эпифауны конкреций было использованы пробы осадочных отложений на 47 донных станциях. Площадь пробы осадка на станции составляла 0.25 м<sup>2</sup>.

В состав эпифауны конкреций исследуемого участка входят животные, обитающие на конкрециях в прикрепленном состоянии, или обитающие в трубках, прикрепленных к конкрециям. Большая часть этих животных

остаётся на поверхности конкреций, после их извлечения из пробы и смыва находящегося на конкрециях осадка слабой струей воды.

Животные, входящие в состав эпифауны конкреций, могут иметь как постоянное прикрепление (например, морские лилии, мшанки), так и временное прикрепление (некоторые актинии).

Кроме непосредственного прикрепления к поверхности конкреций (первичное прикрепление), некоторые животные могут поселяться на уже существующих биологических постройках или непосредственно на других животных эпифауны (вторичное прикрепление). Такой способ существования наблюдается у гидроидных полипов, полихет и усонюгих раков.

Большая часть животных, обитающих на поверхности конкреций, по типу питания относятся к сестонофагам и добывают себе пищу, отфильтровывая взвешенное в придонном слое воды органическое вещество или пассивно улавливая оседающие частицы взвеси. Некоторые полихеты, обитающие в трубках, собирают свежес выпавший осадок с поверхности конкреций, и по типу питания относятся уже к депозитофагам. Некоторые крупные актинии и асцидии могут улавливать не только частицы взвеси, но и мелкий придонный зоопланктон, являясь при этом уже хищниками.

Наиболее многочисленными животными, обитающими на поверхности конкреций в прикрепленном состоянии, являются мшанки (тип *Bryozoa*). Всего на 47 станциях исследуемого участка, где отбирались пробы эпифауны конкреций, обнаружено 102 мшанки. Эти животные представлены на конкрециях в форме колоний самой различной формы и величины. Самыми многочисленными мшанками на участке являются животные из рода *Stomatopora* (семейство *Stomatoporidae*) (рис.1).



Рисунок 1. Мшанка из рода *Stomatopora*

Зооиды этой группы мшанок обитают в длинных тонких трубках,

частично срастающихся между собой. Верх каждой трубочки приподнят, а низ сильно удлиннен и служит для прикрепления колонии к поверхности конкреции. Колонии мшанок этого рода в процессе своего роста могут приобретать различную форму – полукольца, кольца, лесенки. Стенки колонии полностью лишены извести и прозрачные настолько, что можно хорошо рассмотреть мягкие ткани зооидов. В связи с обызвествлением, колонии стоматопор становятся очень хрупкими и легко распадаются на отдельные фрагменты.

Из 47 исследованных станций колонии мшанок присутствуют на поверхности конкреций 41 станции. Средняя численность и биомасса мшанок на участке исследования составляют 9 особей/м<sup>2</sup> и 46 мг/м<sup>2</sup>, соответственно.

Второй по численности группой животных в эпифауне конкреций являются полихеты. Большая часть полихет, обнаруженных на конкрециях (62 особи из 65) обитает в небольших известковых трубочках, прочно прикрепленных к поверхности конкреций. Все эти полихеты входят в состав одного семейства – серпулид (Serpulidae). Серпулиды живут в известковых трубках постоянно. Трубки очень прочные, с поверхности конкреций их можно снять только с частью конкреционного материала (рис. 2).

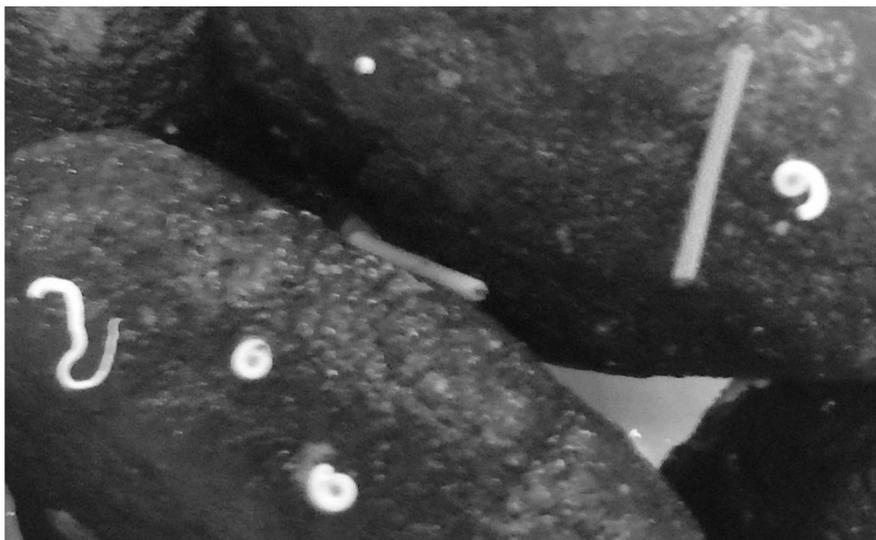


Рисунок 2. Трубки полихет серпулид на поверхности конкреций

У одних видов трубки располагаются в плоскости субстрата и прикрепляются к поверхности по всей своей длине. У других они приподняты вертикально вверх и завернуты в кругую спираль. Спиральные трубки могут быть как правозакрученными, так и левозакрученными.

Встречаются также спиральные трубки без вертикального подъема, похожие на раковины брюхоногих моллюсков.

Из 47 исследованных станций полихеты обнаружены на 34 станциях. Средняя численность и биомасса полихет эпифауны на участке исследования составляют 6 особей/м<sup>2</sup> и 35 мг/м<sup>2</sup>, соответственно.

В таблице представлены данные по количеству остальных животных эпифауны конкреций, обнаруженных на 47 станциях исследуемого участка.

Таблица. Животные эпифауны конкреций

Таксон	Тип	Количество, особей
Тип <i>Bryozoa</i> (мшанки)	<i>Bryozoa</i> (мшанки)	102
Класс <i>Polychaeta</i> (полихеты)	<i>Annelida</i> (кольчатые черви)	65
Класс <i>Scyphozoa</i> (сцифоидные)	<i>Cnidaria</i> (стрекаательные)	41
Тип <i>Brachiopoda</i> (брахиоподы)	<i>Brachiopoda</i> (брахиоподы)	37
Класс <i>Monotalamea</i> (моноталомеи)	<i>Foraminifera</i> (фораминиферы)	34
Класс <i>Demospongiae</i> (обыкновенные губки)	<i>Porifera</i> (губки)	23
Класс <i>Rhabditophora</i> (рабдитофоры)	<i>Platyhelminthes</i> (плоские черви)	11
Класс <i>Ascidiacea</i> (асцидии)	<i>Chordata</i> (хордовые)	9
Семейство <i>Loxosomatidae</i> (локсосоматиды)	<i>Entoprocta</i> (энтопрокты)	3
Класс <i>Anthozoa</i> (коралловые полипы)	<i>Cnidaria</i> (стрекаательные)	2
Класс <i>Hydrozoa</i> (гидроидные полипы)	<i>Cnidaria</i> (стрекаательные)	2
Класс <i>Crinoidea</i> (морские лилии)	<i>Echinodermata</i> (иглокожие)	1
Класс <i>Bivalvia</i> (двустворчатые)	<i>Mollusca</i> (моллюски)	1
Инфракласс <i>Cirripectida</i>	<i>Arthropoda</i> (членистоногие)	1

Наиболее редкими животными в эпифауне конкреций оказались морские лилии, двустворчатые моллюски и усонogie раки. Несмотря на достаточно большое количество проб осадочных отложений представители этих таксонов встретились только в одном экземпляре. При широкомасштабной

добычи железомарганцевой руды именно эти виды животных могут исчезнуть в первую очередь.

В работе использованы геологические материалы, полученные в результате выполнения работ по объекту 4-14, ГК № 47/01/112-1 от 28.02.2014.

Investigation of manganese nodule surface showed a presence of the diverse fauna inhabited on the surface of that ore. Bryozoans and polychaetes are more abundant in nodule epifauna. Industrial nodule mining can provoke a serious disturbance in this community.

**Мельник Ф.В.**

(АО «Южморгеология», Геленджик, e-mail: melnikphv@mail.ru)

**Фоновая характеристика мегафауны гайота Паллада,**

**Тихий океан**

**Melnik Ph.V.**

(Joint-Stock Company “Yuzhmorgeologia”, Gelendzhik, e-mail: melnikphv@mail.ru)

**Background characteristic of megafauna of the Pallada  
seamount, Pacific Ocean**

Ключевые слова: гайоты, твердый субстрат, мегафауна, губки, кораллы, распределение, численность

Резюме: исследование фоновых характеристик мегафауны на Гайоте Паллада показало доминирование в этом сообществе стеклянных губок и коралловых полипов. Распределение кораллов и губок по склонам гайота носит крайне неравномерный характер.

Гайоты (или подводные горы) уже давно рассматриваются как «горячие точки» в глубоководных участках Мирового океана. Это означает, что на фоне окружающих подводные горы абиссальных участков, численность и разнообразие животного мира на гайотах резко возрастает.

До последнего времени основным источником воздействия на экосистемы гайотов было развитое траловое рыболовство. Использование больших тралов при проведении рыбной ловли в районе гайотов оказывает сильное экологическое воздействие на обитающие здесь бентосные сообщества животных, в которых доминирующую роль играют крупные, медленно растущие организмы, такие как разнообразные кораллы и губки [1].

В последние несколько десятилетий интерес к морским горам резко возрос, в связи с обнаружением там больших запасов руды с высоким содержанием кобальта, никеля, марганца, меди [2] и редкоземельных металлов [3]. И хотя добыча полезных ископаемых на морских горах в промышленных масштабах еще не началась, в будущем она, вероятно, будет служить источником серьезного воздействия на сообщества животных, обитающих в этих районах.

Учитывая масштаб воздействия на экосистемы гайотов предстоящей добычи кобальтоносных марганцевых корок, в проекте Правил проведения поисково-разведочных работ в этих районах Международный орган по морскому дну предписывает обязательное проведение фоновых экологических исследований, для установления таксономического состава и особенностей распределения сообществ, обитающих на гайотах [4].

Гайот Паллада расположен близко к центру подводной дугообразной цепи Магеллановых гор в юго-западной части Тихого океана. Плоская

вершина гайота имеет несколько вытянутую овальную форму со сторонами примерно  $70 \times 40$  км. Основание гайота расположено на глубине 5300 м, однако все имеющиеся фотопрофили были сделаны от вершины по склону до глубины, не превышающей 4000 м. Вершинное плато достаточно плоское и имеет незначительный перепад глубин 1350 м до 1670 м. Общая высота гайота оценивается как 4000 м.

В своей южной части у гайота Паллада имеется небольшой отрог, который в свою очередь можно рассматривать как отдельный маленький гайот. У этого отрога так же имеется плоская вершина, но с размерами всего  $18 \times 17$  км. Вершина мелкого гайота имеет уже заметный уклон, и расположена примерно на 300 м глубже основной вершины (рис. 1).

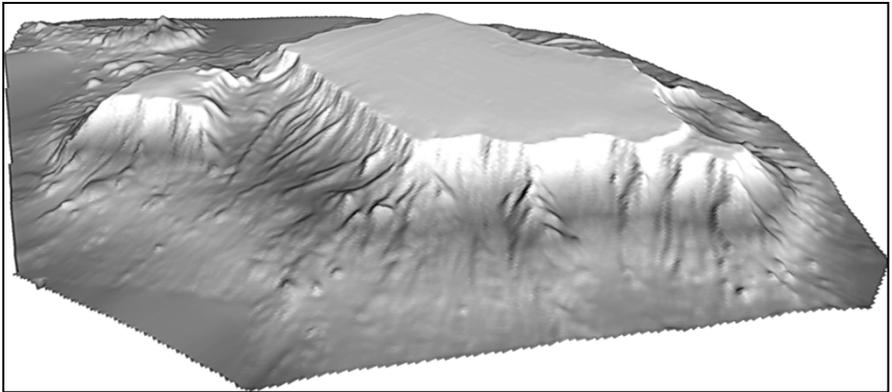


Рисунок 1. Гайот Паллада, вид с восточной стороны

Среда обитания на гайоте очень разнообразна, поэтому бентосные сообщества, обитающие на разных участках, сильно отличаются друг от друга. Считается, что основным фактором, влияющим на разнообразие морских биологических сообществ является глубина /Gage and Tyler, 1991/. На гайотах это положение усложняется разнообразием субстратов обитания и системой придонных течений, которые, наравне с глубиной, являются движущими факторами, определяющими состав и плотность биологических сообществ.

Для исследования животных мегафауны были использованы цифровые фотографии морского дна. Фотографии располагались на профилях, расходящихся радиально от вершины подводной горы до ее основания. Все фотографии имеют точную координатную привязку.

Фотографии морского дна были получены при исследовании гайота Паллада в 2009 г. во время буксировки подводного аппарата «Нептун», с использованием камеры Canon EOS 20D с разрешением  $2544 \times 1696$  пикселей (4.3 Мп). Установленное расстояние камеры от дна во время

съемки было 5 м, при этом площадь дна на кадре составляла в среднем 8 м<sup>2</sup>.

На вершине гайота Паллада среда обитания характеризуется практически полным отсутствием твердого субстрата для прикрепления и достаточно плотными карбонатными осадками. Кроме этого, практически на всех фотографиях вершины гайота на осадке видны волны ряби, показывающие наличие устойчивых и достаточно сильных течений.

Скопление более тяжелого осадочного материала на склонах ряби, направление наклона обитающих на осадке коралловых полипов из отряда *Pennatulacea* и известный курс движения подводной камеры позволяют в общих чертах составить основные направления движения подводных течений на вершине гайота в феврале и марте 2009 г. (рис. 2).

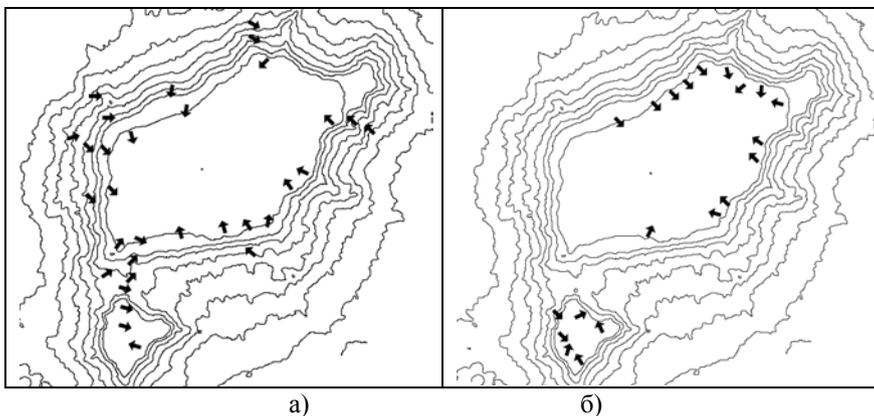


Рисунок 2. Направление придонных течений на вершине гайота Паллада в феврале 2003 г. (а) и в марте 2009 г. (б)

*Черные стрелки – направления течений, синие линии – 500 м изобаты, верхняя изобата – 1500 м*

Как видно из рисунка, несмотря на большую разницу во времени, характер придонных течений на плоской вершине подводной горы остался в целом неизменным. Как на основной вершине, так и на вершине примыкающего отрога, течения остаются достаточно устойчивыми, а общий их рисунок носит характер круговорота. Другой характерной особенностью течений является то, что практически все они идут или непосредственно вверх по склонам по направлению к вершине или по касательной.

Исследование мегафауны гайота Паллада с помощью донного фотопрофилирования показывает, что наибольшая часть этой размерной группы животных бентоса состоит из колоний кораллов и губок, которые являются системообразующими организмами и питаются взвешенным веществом. Детритофаги представлены в гораздо меньшем количестве и состоят в основном из иглокожих всех пяти классов этого типа. Хищники

представлены главным образом мелкими ракообразными и редко встречающимися рыбами.

Относительный и количественный состав донной фауны сильно меняется в зависимости от глубины расположения на склонах гайота (Табл.).

Таблица. Численность таксонов мегафауны (особей/га) гайота Паллада.

Таксон	Вершина	Склон 1 (1500–2500 м)	Склон 2 (2500–3500 м)	Склон 3 > 3500 м
<i>Actiniaria</i>	1	14	3	3
<i>Antipatharia</i>	0	5	0	1
<i>Asciacea</i>	0	13	0	0
<i>Asteroidea</i>	7	15	6	2
<i>Ceriantharia</i>	44	3	1	0
<i>Crinoidea</i>	9	23	6	1
<i>Crustacea</i>	45	31	29	18
<i>Echinoidea</i>	21	9	6	3
<i>Gorgonacea</i>	0	130	36	12
<i>Holothuroidea</i>	6	8	8	9
<i>Ophiuroidea</i>	7	23	21	3
<i>Pedunculata</i>	14	0	0	0
<i>Pennatulacea</i>	41	4	0	1
<i>Pisces</i>	36	20	13	6
<i>Porifera</i>	38	98	22	82
<i>Scaphopoda</i>	2	1	0	0
<i>Scyphozoa</i>	8	1	0	2
<i>Zoantharia</i>	0	0	1	0
<i>Bcezo</i>	280	398	154	142

В наибольшей степени заселена верхняя часть склонов в диапазоне глубин от 1500 до 2500 м. Численность бентосного населения на плоской вершине подводной горы и нижних частях склона (диапазон глубин от 2500 до 4000 м) существенно ниже.

Распределение наиболее многочисленных таксонов – коралловых полипов и губок по склонам гайота было крайне неравномерным. Наибольшие скопления колоний кораллов наблюдаются в северной части гайота в интервале глубин от 1500 до 3500 м. Другим районом гайота, где находятся повышенные плотности коралловых полипов, является северная, ведущая в седловину, часть отрога. Стекланные губки встречаются на всех склонах отрога, а также на северных и западных склонах основного гайота.

Распределение остальных групп животных носит более равномерный

характер, за исключением офиур и морских лилий, повышенные численности которых находились в зависимости от распределений кораллов и губок.

В работе использованы геологические материалы, полученные в результате выполнения работ по объекту 6-08, ГК №29/01/101-8 от 15.12.2008.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Koslow J.A., Gowlett-Holmes K., Lowry J.K. et al. Seamount benthic macrofauna off Southern Tasmania: community structure and impacts of trawling // *Marine Ecology Progress Series*. 2001. V. 213. P. 111–125.
2. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУГП ГНЦ «Южморгеология», 2005. 230 с.
3. Hein J.R., Conrad T.A., Staudigel H. Seamount mineral deposits: a source of rare metals for high-technology industries // *Oceanography*. 2010. V. 23. P. 184–189.
4. Проект правил поиска и разведки кобальтоносных железомарганцевых корок в Районе. Совет Международного органа по Морскому Дну, 16-я сессия, Кингстон, Ямайка, ISBA/16/C/WP.2, 2010, 52 с.

Megafauna background investigation on Pallada seamount displayed a domination of glass sponges and coral polyps in this community. Distribution of the coral polyps and glass sponges on seamount slopes has very irregular character.

**Онегина В.Д., Немировская И.А.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: [vika-ejevika@list.ru](mailto:vika-ejevika@list.ru))

**Загрязненность нефтяными углеводородами**

**Феодосийского залива Черного моря**

**Onegina V.D., Nemirovskaya I.A.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Pollution by oil hydrocarbons of the Feodosiya Bay of the Black Sea**

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, алифатические углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, Черное море, Феодосийский залив

Проведены многолетние исследования содержания и состава алифатических (АУВ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в поверхностных водах и донных осадках в Феодосийском заливе (2015–2017 гг.) в сравнении с другими прибрежными районам российского сектора Черного моря. Высокие концентрации отмечены у м. Чауда, в районе Феодосийского порта, на разрезе м. Ильи–море. Основными источниками загрязнения являются Феодосийский порт и поступление загрязненных вод в системе Основного черноморского течения из Азовского моря и Керченского пролива.

Проблема загрязнения прибрежных вод имеет особенно острое значение в морских акваториях вблизи крупных портов, прибрежных городов и рекреационных центров. Согласно оптическим исследованиям, Феодосийский залив оказался наиболее загрязненным растворенными нефтепродуктами и органическим веществом искусственного происхождения из всех районов крымского побережья [1]. Кроме того Феодосийский залив является одним из наименее изученных, т.к. длительное время использовался как полигон военно-морских сил, что исключало возможность получения натуральных данных в экспедиционных исследованиях гражданских судов. Поэтому актуальность исследования содержания и состава алифатических углеводородов (АУВ), которые отождествляют с нефтяными углеводородами (НУ), а также определение источников их поступления в поверхностные воды и донные осадки Феодосийского залива не вызывает сомнений.

АУВ во взвеси и донных осадках определяли относительно других органических соединений (ОС) – липидов, органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) и хлорофилл «а» (хл «а»). Для определения количества взвеси ее выделяли на поликарбонатные ядерные фильтры (0.45 мкм), пробы донных осадков отбирали дночерпателем «Океан». Для изучения ОС взвесь выделяли с помощью фильтров GF/F (0.7 мкм).  $C_{\text{орг}}$  в пробах взвесей и донных осадков проводили методом сухого сжигания. Концентрацию хл «а» определяли флуориметрическим методом. Липиды и АУВ экстрагировали

метилхлоридом и определяли ИК-методом, ПАУ – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Подробности методических процедур описаны [2].

Полученные данные показали, что в поверхностных водах Феодосийского залива в мае 2015 г. концентрации АУВ изменялись от 14 до 90 мкг/л, в среднем 35 мкг/л. Повышенные величины были установлены у м. Чауда (рис. 1а). В мае 2016 г. содержание АУВ было наиболее высоким (16–179 мкг/л, в среднем 64 мкг/л). Концентрации, превышающие уровень ПДК для нефтяных УВ (50 мкг/л), были отмечены в прибрежной части залива у м. Чауда, в центральной части Феодосийского залива, в районе нефтебазы и рейдовых причалов в г. Феодосия, а также в открытой части моря у м. Ильи (рис. 1б). Для сравнения в районе Геленджикской бухты, где источниками поступления НУ является порт и береговая зона, концентрации АУВ в поверхностных водах в течение многолетних исследований оставались на уровне фоновых [2].

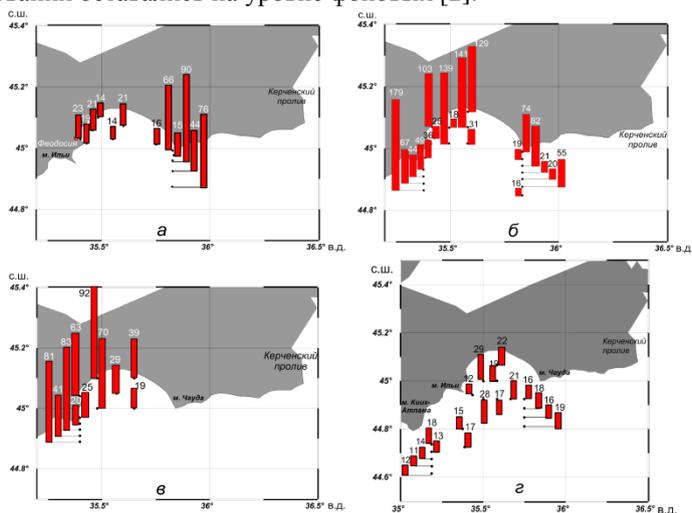


Рисунок 1. Содержание АУВ в Феодосийском заливе во взвеси поверхностных вод: а – май 2015 г., б – май 2016 г., в – сентябрь 2016 г., г – май 2017 г.

В районе Большого Сочи только во время строительства олимпийских объектов содержание АУВ в среднем составило 47 мкг/л, а после окончания строительства – снизилось до 24 мкг/л.

В сентябре 2016 г. области повышенных концентраций в Феодосийском заливе остались теми же (рис. 1в). В мае и в сентябре 2016 г. на разрезе м. Ильи – море наблюдалось увеличение концентраций АУВ, взвеси и хл «а» от берега к открытому морю, что обусловлено гидрологическими

особенностями данного района. При этом между распределением различных ОС существовали зависимости с высокими значениями коэффициентов корреляции:  $r=0.65-0.80$ . В составе АУВ доминировали автохтонные алканы, в качестве источников которых можно рассматривать фитопланктон и микробиальные процессы.

В мае 2017 г. содержание АУВ (11–29 мкг/л, в среднем 18 мкг/л) снизилось и находилось на уровне фонового для открытых морских акваторий (20 мкг/л [2]) (рис. 1г). Высокий коэффициент корреляции между содержанием УВ и липидов во все годы исследований ( $r=0.72-0.99$ ) свидетельствует о значительной степени трансформации АУВ.

В донных отложениях наиболее высокие концентрации АУВ приурочены к осадкам с повышенным содержанием илистой фракции, так как их содержание зависит от их гранулометрического состава. Установленные величины превышали фоновые концентрации (для песчанистых осадков – 10 мкг/г, для илстых – 50 мкг/г [2, 3]). В 2015 г. повышенное содержание АУВ были приурочено к тонкодисперсным осадкам Феодосийского порта (до 80 мкг/г). В 2016 максимальный уровень АУВ был отмечен на разрезе м. Ильи – море (до 95 мкг/л) (рис. 2). У м. Чауда в песчано-ракушечных отложениях с выходами скальных пород [1], несмотря на малую сорбционную емкость, содержание АУВ (9–37 мкг/г) было выше фоновых значений во все годы исследований. Более низкие концентрации АУВ в донных осадках, так же как и в поверхностных водах, были установлены в 2017 г.

В составе АУВ донных осадков в противоположность поверхностных водам доминировали нечетные терригенные алканы  $C_{25}-C_{31}$ . Если в поверхностных водах отношение  $(\sum C_{13}-C_{24})/(\sum C_{25}-C_{31})=1.7$ , то в донных осадках – 0.52, а значения СРІ (отношение нечетных к четным алканам в высокомолекулярной области) 0.98 и 2.4 соответственно

с.ш.

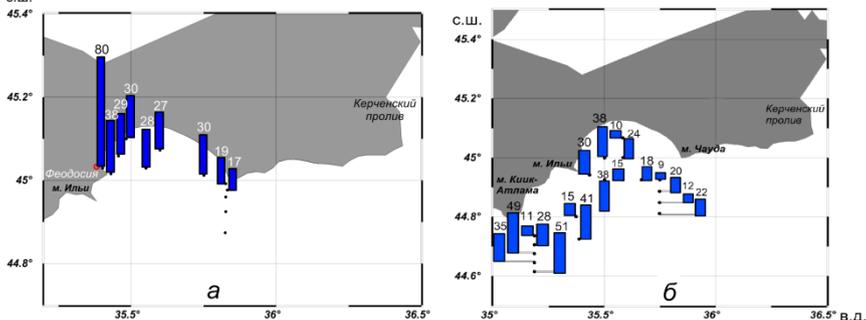


Рисунок 2. Содержание АУВ в Феодосийском заливе в донных осадках: а – май 2015 г., б – май

Содержание ПАУ в донных осадках Феодосийского залива в мае 2015 г.

изменялось в большом диапазоне: от 6 до 348 нг/г. При этом их повышенные значения были установлены как в районе порта, так и у м. Чауда. Несмотря на доминирование в составе ПАУ хризена, имеющего в основном биогенный генезис, повышенная концентрация флуорантена и пирена может указывать на загрязнение осадков пирогенными ПАУ. Это подтверждает также преобладание пирена над периленом (П/ПЛ=4–6.6), исключение установлено в осадках ст. 1801 (П/ПЛ=0.7), расположенной в центральной части залива. Максимальная концентрация нафталина (28%) на станции расположенной у м. Чауда свидетельствует о загрязнении осадков в этом районе НУ (рис. 3).

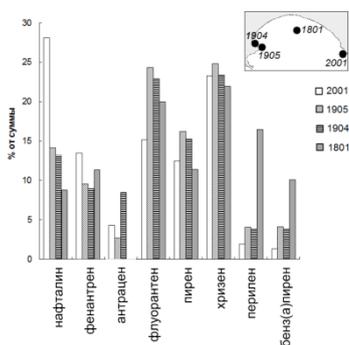


Рисунок 3. Соотношение незамещенных ПАУ в донных осадках Феодосийского залива в мае 2015 г.

Таким образом, наиболее высокие концентрации АУВ установлены в прибрежных районах. В составе алканов взвеси и донных осадков доминировали природные компоненты. Нефтяные и пирогенные УВ фиксируются в основном в составе ПАУ. В связи с гидрофобными свойствами рост концентраций АУВ обычно наблюдается в районах с более высоким содержанием взвеси, в меньшей степени их распределение зависит от продукционных характеристик района, в частности хл «а». Поступление загрязняющих веществ может нарушать эти зависимости. К основным источникам загрязнения данного района относятся Феодосийский порт, расположенные на берегу промышленные предприятия, коллекторы канализационных вод, грузовые терминалы, площадки рейдовой перевалки, грунтовые свалки, а также эпизодическая адвекция загрязнённых вод из промышленных районов, находящихся на берегах Азовского моря и Керченского пролива [4]. Было установлено, что продуцируемые этими источниками линзы загрязненной воды отличаются высоким содержанием растворенного органического вещества, нефтепродуктов, взвеси. Согласно данным мониторинга в водах Керченского пролива в 2013 и 2014 гг., концентрации, равные или превышающие ПДК, возросли вдвое (до 49%) с

максимумом в августе (210 мкг/л, 4,2 ПДК). К 2017 г. произошло снижение содержания АУВ в воде и донных осадках Феодосийского залива

Работа выполнена при финансовой поддержке программы 0149-2015-0056 президиума РАН, и, на стадии обобщения материала, – программы Российского научного фонда №14-27-00114-П и госзадания 0149-2014-0038.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А. Оценка концентрации растворённых нефтепродуктов в прибрежных водах Крыма на основе данных оптических измерений // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. Вып.14. С. 245–258.
2. Немировская И.А. Онегина В.Д., Коновалов Б.В. Углеводороды во взвеси и осадках различных районов российского сектора Черного моря // МГЖ. 2017. № 4. С. 48–60.
3. Wakeham S.G. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in Black Sea // Mar. Chem. 1996. V. 53. № 2. P. 187–205.
4. Кондратьев С.И. Изменения в гидрохимическом составе вод Феодосийского залива в результате проникновения азовоморских вод зимой 2006–2007 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. Севастополь. ЭКОСИ-Гидрофизика. 2009. Вып.18. С. 30–38.

In the Feodosiya Bay of the Black Sea water studied content, distribution and composition of hydrocarbons in surface waters and sediments (2015–2017). The highest concentration was observed near the cape Chauda, the port of Feodosiya, in context the cape of Ilya – Sea. The main sources of pollution are the port of Feodosiya and inflow of polluted waters in system of the Main Black Sea current from the Sea of Azov and the Kerch Strait.

**Рыбалко А.Е.<sup>1,2</sup>, Токарев М.Ю.<sup>1,3</sup>, Локтев А.С.<sup>4</sup>, Терехина Я.Е.<sup>1,3</sup>, Росляков А.Г.<sup>3</sup>, Миرونюк С.Г.<sup>4</sup>, Щербаков В.А.<sup>5</sup>**

(<sup>1</sup>Центр анализа сейсмических данных МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: [alek-rybalko@yandex.ru](mailto:alek-rybalko@yandex.ru), <sup>2</sup>Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург,

<sup>3</sup>Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, <sup>4</sup>Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, <sup>5</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург)

**Геологические опасные процессы – один из основных элементов современных морских геологических исследований на шельфе.**

**Rybalko A.<sup>1,2</sup>, Tokarev M.<sup>1,3</sup>, Loktev A.<sup>4</sup>, Terekhina Ya.<sup>1,3</sup>, Roslyakov A.<sup>3</sup>, Mironyuk S.<sup>4</sup>, Cherbakov V.<sup>5</sup>**

(<sup>1</sup>Center of seismic data analysis of the Moscow State University, Moscow, <sup>2</sup>Institute of Earth Sciences of St.Petersburg State University, St.Petersburg, <sup>3</sup>Geological faculty of MSU named after M. V. Lomonosov, <sup>4</sup>The Center for Marine Research of the Moscow State University, Moscow, <sup>5</sup>State Company “VNIIOkeangeologija”)

**Geological hazards processes - one of the basic elements of modern marine geological research on the shelf**

Ключевые слова: геологические опасные процессы и явления, мерзлота, гравитационные процессы, современные геодинамические движения, шельф, инженерно-геологические изыскания

В докладе рассматриваются виды "опасных геологических процессов", дается их генетическая классификация. Особое внимание уделено скоплениям газов в донных осадках, ММП на арктическом шельфе, гравитационным и геодинамическим процессам. Подробно анализируются возможности выделения и прогноза этих опасностей с помощью сейсмоакустических методов.

В настоящее время проблема изучения опасных геологических процессов занимает все большее место в морских геологических исследованиях, и прежде всего, при инженерно-геологических изысканиях на шельфе. Во многом это было обусловлено совершенствованием сейсмоакустических методов, что позволило выделять эти опасности, а также развитием в настоящее время комплексных исследований, связанных со строительством объектов нефтегазовой отрасли на шельфе. Под термином «опасные геологические процессы» мы понимаем «современные быстротекущие геологические процессы или явления, наносящие значительный материальный ущерб обществу, народному хозяйству и создающие угрозу жизни для людей при нарушении устойчивости природной (геологической) среды».

В ряду опасных геологических процессов (ОГП) различают: мерзлотные явления и скопления газов, ледовое выпахивание, термоабразивные

процессы, особенно широко развитые на побережье арктических морей, гравитационные процессы и тесно с ними связанные неотектонические движения, литодинамические процессы, как в береговой зоне, так и в зонах активных придонных течений, грязевой вулканизм и диапиризм. При этом техногенные процессы не должны рассматриваться в этом ряду, так как, по сути, являются наложенными и при снятии нагрузки природная среда может пластично возвращаться в свое прежнее состояние.

В последнее время большую, если не определяющую, роль в познании опасных геологических процессов играет сейсмоакустическое профилирование в многоканальном варианте, а также гидролокация бокового обзора и многолучевое эхолотирование. Анализ сейсмограмм позволяет охарактеризовать форму геологического тела, а также его внутреннюю текстуру, что часто играет решающую роль в определении генезиса отложений или горных пород, слагающих это тело. Большую роль при анализе сейсмоакустических записей играет частота излучения акустического сигнала и его источник. В целом повышение частоты приводит к уменьшению глубины зондирования с увеличением разрешающей способности и, наоборот, понижение этого параметра сказывается на глубине проникновения сигнала и ухудшении детальности разрешения записи.

*Скопления газов* в настоящее время рассматриваются как один из главных факторов многовекторной опасности для инженерных объектов на дне моря. Газонасыщенность осадков резко меняет физико-механические свойства донных отложений, что может способствовать развитию подводных оползней, сообщать песчаным грунтам плавунные свойства, усиливать их склонность к разжижению. Заключенные в осадки газы обычно обладают повышенной химической агрессивностью. Выделения газа в виде выбросов могут представлять значительную опасность для проведения буровых инженерно-геологических и нефте-газописковых работ, вплоть до гибели плавсредств. В настоящее время постановка буровых скважин обязательно предполагает проведение предварительных детальных сейсмоакустических работ для выявления безопасного места проектируемой скважины. В донных отложениях морей, особенно арктических, скопления газов широко развиты, что во многом связано с продолжающимся процессом деградации мерзлоты, а также наличием относительно неглубокозалегающих нефтегазовых месторождений. В собственно глинистых или песчаных грунтах газ содержится обычно в диспергированном виде, и не создает давлений, существенно превышающих гидростатическое. В тоже время сосредоточенные скопления газов могут возникать в песчаных осадках в своеобразных «мини-ловушках», которые приурочены к положительным изгибам толщ перекрывающих глин и/или многолетнемерзлых льдистых грунтов, а также к локальным песчаным линзам в толще мерзлых и/или относительно консолидированных

глинистых образованиях. В описываемых структурах могут возникать давления содержащихся там газофлюидов, значительно превосходящие гидростатическое. Именно из таких ловушек и происходят выбросы газов, часто фиксируемые на эхограммах или сейсмограммах. Работы ЦМИ и ЦАСД МГУ им. М.В. Ломоносова в арктическом бассейне позволили сформулировать основные признаки повышенной газонасыщенности на временных разрезах. К ним относятся резкое увеличение амплитуд отражений, вызванного возрастанием коэффициента отражения, обратная полярность отражений (по отношению к донному импульсу), частичное или полное экранирование газонасыщенными интервалами нижележащей части разреза, появление на сейсмограммах сильно нарушенной и хаотической волновой картины, запаздывание регистрации отражений от нижележащих границ. Наиболее опасными являются аномалии, характеризующиеся сочетанием сразу нескольких из перечисленных признаков. Активные выделения газофлюидов по данным высокочастотного сейсмопрофилирования зафиксированы нами в арктических морях (Карском, Лаптевых, отчасти, Белом), а также в Финском заливе и Великих озерах Северо-Запада. Во многих подобных случаях они сопровождаются формированием покмарок, расположение которых часто контролируется активными в настоящее время дизъюнктивными структурами.

*Мерзлые отложения* достаточно широко представлены в верхней части разреза четвертичных отложений арктического шельфа, главным образом в его восточной части, являясь составной частью субаквальной криолитозоны. По своему физическому состоянию она может быть мерзлой (льдосодержащей) и немерзлой, представленной охлажденными породами с отрицательно-температурными минерализованными водами (криопэгами). Формирование мерзлых грунтов на шельфе может быть связано либо с отрицательными температурами придонных вод, либо промерзанием толщ осадков в период регрессии Мирового океана и сохранения этих реликтовых льдов опять же из-за низких температур в придонном слое воды. Наиболее дискуссионным при этом остается вопрос о степени деградации многолетних мерзлых пород (ММП) в ходе неопозднеплейстоцен-голоценовой трансгрессии моря, в первую очередь, из-за незначительного количества геотехнических буровых скважин. При этом, деградация криолитозоны может приводить к усилению оползневых процессов на оттаивающих склонах, солифлюкционным явлениям, термопросадкам поверхности грунта. Опасность также представляет образование льдогрунтовых бугров пучения (пинго или булгунняхы). Их образование в субмаринной обстановке часто связывают с созданием аномально высоких давлений за счет выделившегося из гидратов газа и пресной воды. Подобные структуры, были впервые обнаружены в донном рельефе морей Печорского и Бофорта. Материалы сейсмоакустического профилирования позволили авторам геологических карт (листы S-50 и S-

51,52) выделить два ледовых едомных комплекса – сартанский мощностью до 40м и муруктинский мощностью до 60м. Основным признаком их являлось наличие жесткой высокоамплитудной отражающей границы, которая рассматривалась как кровля данных толщ. Сложнопостроенная слоистая или линзовидно-слоистая структура криолитозоны, обусловленная чередованием многолетне-мерзлых, пластично-мерзлых и охлажденных отложений, на сейсмических разрезах проявляется усложнением структуры волнового поля, в котором присутствуют отражения не только от литолого-стратиграфических границ раздела, но и от криогенных границ, а также от границ между флюидами разного типа. Дополнительное осложнение вносят посткриогенные деформации грунтов. На временных разрезах предположительно мерзлые породы идентифицируются по следующим признакам: резкому латеральному прекращению прослеживаемости границ и смене их хаотической или акустически прозрачной записью, наличию непротяженных высокоамплитудных отражений как прямой, так и обратной полярности. Первые связаны с наличием отдельных высокольдистых слоев, вторые – с присутствием немерзлых (охлажденных) слоев, насыщенных жидким флюидом повышенной минерализации (криопэги), а также газонасыщенных прослоев. На записях профилографа наличие залегающих вблизи поверхности уплотненных отложений ледового комплекса приводит к существенному ограничению глубинности зондирования из-за наличия акустически непрозрачной кровли ледового комплекса. Для нее характерен сложный неровный рельеф с перепадами глубин в несколько метров, что может быть связано с проявлением термокарста.

*Геодинамические современные процессы* по своему определению представляют существенную опасность для инженерных сооружений на морском дне. Они находят свое отражение в проявлении сейсмических толчков и тесно связаны с зонами гравитационных процессов, которые усиливаются благодаря неустойчивым водонасыщенным грунтам. Особую опасность они представляют для линейных объектов: трубопроводов и кабелей. Сейсмоакустические, а также гидролокационные исследования в различных районах шельфа в последние годы выявили огромное количество фактов, свидетельствующих о совсем недавних изменениях рельефа морского дна, обусловленных подвижками грунта. По механизму движения, можно выделить следующие подгруппы подводных гравитационных процессов: обвалы, оползни и потоки (зерновые и турбидные). При оползании происходит перемещение больших масс осадочного материала на более низкие батиметрические уровни без особой переработки (оползневые блоки с почти ненарушенной внутренней структурой, slides), в зерновых потоках имеет место полная переработка и потеря первичных текстурных характеристик отложений (slumps). Практически всегда наблюдается интенсивная эрозия морского дна, и аккумуляция эродированных масс у подножия склонов. Характерна также трансформация

оползней в потоки в процессе движения по склону. Приуроченность гравитационных процессов к зонам активизированных в настоящее время дизъюнктивов оценивается по выявлению в рельефе дна вытянутых линейных элементов с характерной ступенчатой формой, а также по появлению локальных, но мощных зон аккумуляции, выполненных акустически прозрачными слоистыми осадками. Гидролокационная съемка дает дополнительный материал по площадному развитию зон оползания, причем, иногда ступени оседания фиксируются даже в мягкопластичных илах.

*Ледовое выпахивание* также относится к широко распространенным явлениям на арктическом и гляциальном шельфах. Они представлены бороздами, длина которых может достигать 500-1000м, а глубина составляет до 5 м. Среди этих борозд можно выделить образованные за счет выпахивания морского дна торосистым льдом (отдельными и грядами торосов, стамухами и пр.) или айсбергами. В настоящее время эти формы рельефа хорошо изучены как в зонах относительного мелководья, так и могут встречаться на глубинах 100 и более метров. Первые – это следы воздействия льда на морское дно и в этом и заключается опасность этого типа экзодинамики. Причина возникновения вторых до сих пор не ясна. Известны случаи установки платформ для бурения в Арктике в зонах интенсивного торошения, но никогда такие платформы не располагаются в областях многолетней миграции айсбергов.

*Морфолитодинамические опасности* обычно проявляются в областях развития придонных течений и песчаных наносов. Идеальным материалом для формирования разнородных в гранулометрическом отношении донных осадков, в частности, формирования таких транзитных форм донного рельефа как песчаные ленты, волны, гряды являются ледниковые отложения. В этом случае наиболее уязвимыми являются линейные техногенные инженерные сооружения. Они либо заносятся песками, либо наоборот, подмываются и «провисают», что приводит к их деформациям.

Таким образом, развитие сейсмоакустических методов и аппаратуры позволило существенно расширить номенклатуру опасных геологических процессов и явлений, выявить внутреннюю структуру создаваемых ими тел и перейти к локальному прогнозу развития геологических опасностей при инженерно-геологических изысканиях. В докладе приводится генетическая классификация рассматриваемых процессов.

The report is devoted characterization of "dangerous geological processes" on the shelf, their classification is given. The main ones are accumulations of gases in bottom sediments and the formation of zones of anomalous pressure, the distribution of frozen rocks, gravitational processes and manifestations of modern geodynamics. Characteristics of each of these processes and an assessment of the impact on both natural processes and existing or prospective engineering facilities are given. The leading role of seismoacoustic methods in the study of geological hazards is underlined.

**Рыбалко А.Е.<sup>1,2</sup>, Щербаков В.А.<sup>1</sup>, Иванова В.В.<sup>1</sup>,  
Келль Д.Л.<sup>1</sup>, Сличенков В.И., Локтев А.С.<sup>3</sup>, Токарев М.Ю.<sup>3</sup>,  
Шабалин Н.В.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: [alek-rybalko@vandex.ru](mailto:alek-rybalko@vandex.ru),  
<sup>2</sup>Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, <sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, <sup>4</sup>Центр морских исследований МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)

**Новые данные о строении четвертичных отложений и  
проявлении геологических опасных процессов в заливе  
Петра Великого по результатам мониторинга  
геологической среды**

**Rybalko A.<sup>1,2</sup>, Shcherbakov V.<sup>1</sup>, Ivanova V.<sup>1</sup>, Kell.D.<sup>1</sup>,  
Slichenkov V., Loktev A.<sup>3</sup>, Tokarev M.<sup>3</sup>, Schabalin N.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>State Company “VNIIOkeangeologija”, Saint-Petersburg, <sup>2</sup>Institute of Earth Sciences of St.Petersburg State University, St.Petersburg, <sup>3</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, <sup>4</sup>The Center for Marine Research of the Moscow State University, Moscow)

**New data on the geology of Quaternary sediments and the  
geological hazardous processes in the Peter the Great Gulf  
based on the results of the geoenvironmental monitoring**

Ключевые слова: государственный мониторинг геологической среды шельфа, Японское море, Залив Петра Великого, опасные геологические процессы, современная геодинамика, газопроявления в четвертичных отложениях шельфа, гравитационные процессы, береговые исследования, поднятие берега, абразия.

В этом исследовании представлены результаты всестороннего изучения донных отложений в заливе Петра Великого. Основная цель работы заключалась в выявлении неблагоприятных изменений инженерно-геологической среды. Описаны физико-механические свойства донных осадков, характеристика опасных геологических процессов и описание береговой зоны в местах разрушения.

В настоящее время дно залива Петра Великого (Японское море) представляет один из наиболее изученных в геолого-геофизическом отношении районов. В 60-х годах здесь впервые была выполнена ГСШ-200 (Л.Б. Хершберг, А.А. Рязанцев и др.), в 70-х годах проведен комплекс инженерно-геологических изысканий (В.С. Рынков). Большой объем исследований в заливе выполнили сотрудники ТОИ и Геологического института РАН (И.И. Берсенева, Ф.Р. Лихт, А.А. Деркачев, Ю.Д. Марков и др.). Обобщение данных многолетних наблюдений составило основное содержание вышедшей в 2006 г. монографии «Антропогенез и экологическое состояние геосистемы прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого Японского моря» и сборника научных трудов «Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского

моря» в 2012 г. В результате завершённых работ было составлено большое количество карт различного геологического содержания, выявлены основные закономерности современного седиментогенеза.

Мониторинг геологической среды континентального шельфа Японского моря до 2012 г. не проводился. В 2012–14 гг. впервые для прибрежно-шельфовой зоны Японского моря (ключевой участок Залив Петра Великого) ВНИИОкеангеология был проведен комплексный государственный мониторинг состояния недр (Заказчик – Агентство «Роснедра»). Основная цель работ заключалась в оценке состояния и прогноза развития опасных геологических процессов (ОГП), возникающих под действием природных и техногенных факторов, в пределах прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого. Работы позволили скорректировать и оптимизировать сеть мониторинга для эффективного решения геологических задач для выполнения следующего его цикла в 2015–2017 гг. Основное внимание на данном этапе мониторинга было уделено оценке инженерно-геологических свойств донных отложений, характеристике опасных геологических процессов (ОГП), а также описанию береговой зоны в местах разрушения.

Особенностью геологического строения данного района является наличие голоценовых нефелоидных отложений только в верхней части заливов второго порядка – Амурском и Уссурийском. Источником взвешенного материала алевропелитовой размерности является твердый сток рек, впадающих в их вершины – Раздольной и Шкотовки (Ф.Р.Лихт). В тоже время результаты гранулометрического анализа показали, что основными типами донных осадков являются алевритовые пески или песчаные алевриты. Это позволяет считать, что формирование толщи голоценовых осадков происходит не только за счет поступления взвешенного материала твердого стока рек, но и размыва морского дна и прилежащих берегов, являющихся источником частиц псаммитовой размерности. Свою роль, возможно, сыграли и подводно-гравитационные процессы.

Отбор проб колонковыми пробоотборниками позволил провести первичное расчленение толщи голоценовых осадков в Амурском и Уссурийском заливах (рис.).

Описываемые осадки наиболее четко сопоставляются с так называемой Иистой толщей, выделенной в 1985 г. А.А. Рязанцевым. Сводный разрез голоценовых отложений выглядит следующим образом (снизу вверх):

- глины песчанистые со скоплениями тонкого песка и наличием глинистых мелких катунов, серого цвета с оливковым оттенком, текучепластичные. Отмечаются ксеноморфные скопления дисперсного органического материала, а также четкие выделения гидротроилита. Часто присутствует примесь тонкопсаммитового материала, вероятно, представленная тонкоперетертым раковинным детритом ( $mnN_1$ );

- ракушняковый горизонт. Пески алевроглинистые темносеро-

оливковые. Текстура неоднородная, обусловлена гнездобразным распределением раковин морских моллюсков и их детрита. Карбонатность осадка составляет 10 и более процентов. Консистенция близка к текуче-пластичной. Верхний и нижний контакты выделяются по резкому уменьшению примеси раковин и их детрита ( $mnH_2$ );

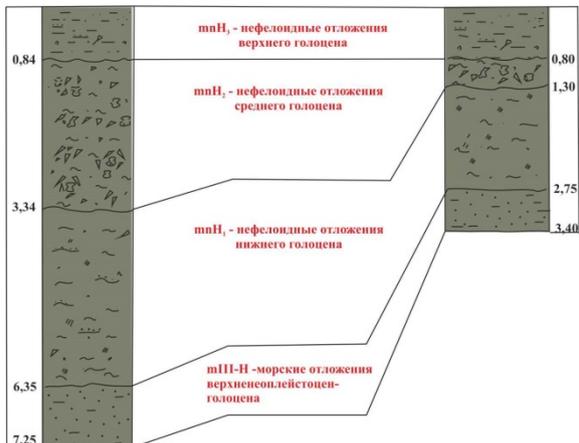


Рисунок. Сопоставление сводных литостратиграфических разрезов голоценовых осадков в Амурском (слева) и Уссурийском (справа) заливах по данным колонкового пробоотбора 2016 г. Возраст указан в соответствии с данными А.А. Рязанцева (ПримГУ)

- глинистые и алевритовые миктиты (алевро-глинистые илы) текучей консистенции, темносерые до черных с едва заметным оливковым оттенком. С поверхности тонкий (до 1 см) слой глинистого наилка серого цвета с буроватыми тонами, иногда отмечаются отдельные раковины морских моллюсков и их детрит ( $mnH_3$ ).

Выявленный трехчленный разрез отражает трансгрессивно-регрессивный режим Японского моря в голоцене, а ракушняковый горизонт, скорее всего, связан с этапом трансгрессии в климатический оптимум, когда возникли условия, благоприятные для развития морской фауны.

Задачей инженерно-геологических изысканий в рамках МГСШ в 2016 г. являлись:

1. актуализация карты инженерно-геологического районирования;
2. получение характеристики физико-механических свойств грунтов в зонах проявления опасных геологических процессов: оползней, выхода на поверхность газофлюидов и пр.

С этой целью выполнялись анализы как на борту судна, так и в стационарной лаборатории в Санкт-Петербурге. Непосредственно в процессе геологического пробоотбора определялись плотность ( $\rho$ ),

природная влажность грунтов ( $w$ ), сопротивление сдвигу в приборе ПВС-2МЭ и удельное сопротивление с помощью микропенетromетра CONTROLS.

В Уссурийском заливе верхний слой голоценовых осадков имеет следующие средние показатели: плотность грунта –  $1.54 \text{ г/см}^3$ ; природная влажность – 90%; сопротивление сдвигу – 4.2 кПа. Средний слой (ракушечный горизонт) характеризуется значительным диапазоном показателей физических свойств. Средние показатели плотности грунта и сопротивления сдвигу увеличиваются до соответственно  $1.59 \text{ г/см}^3$  и 6.2 кПа, в то время как влажность (80%) отложений падает. Стоит отметить также повышенную плотность частиц грунта данных отложений, в среднем составившую  $2.73 \text{ г/см}^3$ . Нижний горизонт, представленный легкими текучими глинами, по своим показателям близок к отложениям верхнего голоцена: плотность грунта –  $1.52 \text{ г/см}^3$ ; природная влажность – 99%; сопротивление сдвигу – 4.8 кПа.

Данные определения физико-механических свойств голоценовых отложений в Амурском заливе близки к описанным в аналогичных отложениях Уссурийского залива. Верхний и нижний слои обладают пониженной плотностью грунта и сопротивлением вращательному срезу и повышенной влажностью. Осадки ракушечного горизонта, наоборот, характеризуются относительно высокой плотностью грунта и прочностью при низкой влажности, а также очень широким разбросом измеренных величин из-за неоднородности грунта.

Особое внимание в эти годы было уделено характеристике опасных экзогенных и эндогенных процессов, что является главной задачей МГСШ. К ним относятся гравитационные явления, газопроявления, связанные как с природными факторами, так и с антропогенными. Наибольшую опасность они представляют в береговой зоне. Работы проводились на семи участках, характеризующихся различным характером литодинамических процессов. На каждом из участков проводилась серия маршрутных исследований в береговой зоне, а также эхолотное профилирование в прибрежной зоне для мониторинга изменения донного рельефа. В итоге было установлено, что имеет место две группы процессов: один из них связан с разрушением, в том числе и коренных берегов. Второй вид процессов – чисто техногенный, обусловленный строительством инфраструктуры: новых гаваней, мостов и пр.

Одним из видов ОГП в заливе Петра Великого являются гравитационные процессы, которые преимущественно развиты вдоль западного берега Амурского залива, сложенного палеогеновыми отложениями. Вдоль этого побережья проходит разлом, с которым связаны выявленные очаги современных землетрясений, и прогнозируются возможные сейсмолочки силой до 6 баллов шкалы Рихтера (А.В. Олейников, Н.А. Олейников). Пространственное совпадение зон активной современной эндогенной

геодинамики и развития гравитационных процессов создает очень опасный тренд комплексного проявления геологических опасностей.

Еще одной из опасностей является газопроявления, связанные с инфильтрацией газов различного происхождения из толщи донных отложений. Они определяются либо по рисунку фонтанов газа, либо по нарушениям сплошности грунтов. Проникновение газа в верхние толщи происходит из нижней части разреза, за счет источников, находящихся глубже зоны распространения и отражения сейсмосигналов. В разрезе скопления газов часто фиксируются в виде так называемых «ярких пятен», а также изменения амплитуды сигнала. Для изучения газов было отобрано 16 грунтовых и 62 пробы придонной воды. Определялись (метод head space) метан и его гомологи (C2-C5), непредельные УВ: этилен, пропилен, бутен, бутилен; неорганические газы - азот, кислород, углекислый газ, водород, гелий, сероводород. По результатам геохимических работ к наиболее информативным газогеохимическим критериям можно отнести следующие соотношения: предельных и непредельных (C2+C3) УВГ (Alk\_Aln), изоалканов (C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>) к их нормальным изомерам (iC4C5\_sumC4C5); C5/ΣC2-C5 – отношение содержания пентана к сумме гомологов C2-C5. В результате было установлено, что на общем фоне преобладания техногенной и биогенной природы углеводородных газов, выделилось несколько станций, где по газогеохимическим критериям можно предполагать присутствие миграционной компоненты.

Особое внимание было уделено береговым процессам. Работы проводились на семи участках, характеризующихся различием литодинамических процессов. На каждом из участков проводилась серия маршрутных исследований в береговой зоне, а также эхолотное профилирование в прибрежной зоне для мониторинга изменения донного рельефа. Было установлено, что имеет место две группы процессов: одна из них связан с размывом берегов, а вторая – чисто техногенная, обусловленный строительством инфраструктуры: новых гаваней, мостов.

Таким образом, проведение мониторинга геологической среды шельфа даже в столь хорошо изученном с точки зрения геолого-геофизических методов, позволяет получать новые данные, как по геологическому строению региона, так и по развитию ОГП в шельфовой зоне. Получение рядов данных, совместно с анализом ранее полученных результатов, позволяет переходить к прогнозу неблагоприятных явлений в изучаемых районах в кратко- и среднесрочной перспективе.

This research presents the results of the comprehensive study of the Peter the Great Gulf bottom sediments. The main purpose of the work was to detect of adverse engineering-geological environment alterations. Physical and mechanical properties of bottom sediments, the characterization of dangerous geological processes and the description of damaged coastal zone areas were described.

**Савицкий В.А., Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Зимовец А.А.,  
Доценко И.В.**

(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: alecporto@yandex.ru)

**Ртуть в донных осадках устьевых областей рек бассейна  
Белого моря**

**Savitskiy V., Fedorov Yu., Ovsepyan A., Zimovets A.,  
Dotsenko I.**

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

**Mercury content in bottom sediments of the river estuarine  
areas of the White Sea basin**

Ключевые слова: Субарктика, ртуть, устьевые области рек, донные отложения, река Кянда

В работе представлены результаты впервые проведенных работ по изучению закономерностей вариаций содержания валовой ртути в донных отложениях устьевых областей Субарктики. Проведено сравнение факторов, оказывающих влияние на аккумуляцию и распределение ртути в донных отложениях рек с разным уровнем антропогенного воздействия.

Загрязнение ртутью носит глобальный характер, что выражается в присутствии её повышенных концентраций в различных районах Субарктики, находящихся как вблизи крупных промышленных и селитебных центров, так и на значительном удалении от них [1–4].

Материалом для написания настоящего сообщения послужили данные, собранные в ходе ряда комплексных экспедиций, проводимых сотрудниками кафедры физической географии, экологии и охраны природы Южного федерального университета в устьевых областях рек Северная Двина и Кянда, принадлежащих к бассейну Белого моря [5–7]. Образцы донных отложений для определения содержания ртути отбирались и консервировались в соответствии с модифицированной методикой, применявшейся ранее на различных водных объектах Севера Европейской Территории России. Все анализы производились методом атомной абсорбции в холодном паре в аттестованной лаборатории Южного федерального университета.

Ртуть и ее соединения в окружающую среду Севера ЕТР поступают из антропогенных источников в процессе промышленного производства. Однако в последнее время даже в удаленных от крупных промышленных предприятий районах субарктики наблюдается повышение концентраций ртути в различных средах [1]. В этой связи сравнение малых рек, не подвергающихся прямому антропогенному воздействию и находящихся на удалении от крупных источников загрязнения с изобилующей точечными источниками хронического антропогенного воздействия Северной Двиной

представляется весьма важным для оценки уровня загрязнения ртутью исследуемого региона.

Отличительной чертой реки Кянда является наличие в приморской зоне широкой полосы заболоченных участков суши (пойм), заросших тростником, отделенных от русла песчаным прирусловым валом. Во время прилива морские воды просачиваются сквозь песчаные отложения и накапливаются в них. В малую воду прилегающие к реке участки суши постепенно отдают накопленную воду, повышая тем самым соленость стоковых речных вод [8, 9].

В период отлива ширина зоны осушки в некоторых местах достигает 2.5–3.0 км. Река Кянда протекает по зоне осушки в естественном продолжении русла. Если в прибрежной полосе в зоне осушки преобладают песчаные и алевритовые отложения, то в мористой части мелководья часто встречаются каменистые гряды, выступающие в отлив и затапливаемые в полную воду [8]. Согласно [10], для станций, расположенных в полосе осушки, основным компонентом донных отложений является алеврит, его процентное содержание колеблется от 51 до 72%. Донные осадки в пределах русла реки Кянда представлены в основном алевритово-глинистым илом с незначительными, обычно выклинивающимися с глубиной, песчано-аллювиальными массами.

Содержание валовой ртути в донных осадках реки Кянда варьировали в пределах 0.007–0.075 мкг/г с.м., в среднем составляя 0.022 мкг/г с.м. Самые низкие концентрации валового содержания ртути отмечены на станциях отбора проб, лежащих вне ее основного русла – в пределах Кяндской губы Онежского залива и в месте впадения реки Маложма (на расстоянии 0.1 км от залива). Наиболее высокое содержание ртути наблюдалось вблизи места впадения реки в Онежский залив. В целом, для устьевой области реки Кянда характерно понижение содержания ртути при удалении от залива как в донных отложениях, так и в воде [11]. Отметим, что природный фон концентраций валовой ртути в донных отложениях, установленный [12] для бассейна Белого моря на значении 0.03 мкг/г с.м., был превышен только для отдельно взятых пиков распределения концентраций по вертикали на двух разрезах, которые характеризовались наличием сильного запаха сероводорода.

Для устьевого участка реки Северная Двина характер распределения ртути по горизонтам донных осадков определялся наличием локальных источников поступления ртути, барьерных зон и гранулометрическим составом донных осадков. По разрезу «река Северная Двина – Белое море» содержание валовой ртути изменялось в пределах 0.018–0.4 мкг/г с.м. в вершине приустьевого участка реки – в дельте от 0.04 до 0.4 (среднее 0.16) мкг/г с.м. – на дельтовом участке – от 0.02 до 0.4 (среднее 0.11) мкг/г с.м. Концентрация ртути в донных отложениях устьевой области реки Северная Двина и Двинской губы Белого моря варьировалась в пределах 0.02–0.80

мкг/г сухой массы, составляя в среднем 0.135 мкг/г с.м. [7]. Экстремально высокая концентрация ртути была обнаружена в донных осадках внутренних проток, пересекающих г. Архангельск.

Область повышенной концентрации ртути выявлена в зоне смешения речных и морских вод. Она протягивается от станции «Устьянские поворотные створы» до станции «о. Мудьюгский». При прохождении комплексного барьера, формирующегося в зоне смешения речных и морских вод и наиболее ярко выраженного в районе станции «д. Лапоминка», происходит активное выведение ртути из водного раствора путем сорбции на взвешенном веществе и его последующего осаждения [3, 13]. Также были проведены исследования донных отложений непосредственно в Белом море. На морских станциях концентрация валовой ртути изменялось от 0.018 до 0.095 мкг/г с.м. (среднее 0.038). Наблюдалось отчетливое снижение содержания валовой ртути в направлении от вершины дельты к ее морскому краю и мористее [10].

При сравнении содержания и характера накопления ртути в устьевых областях рек Северной Двины и Кянды, выявлено, что концентрации ртути в донных отложениях Северной Двины в среднем в 7 раз выше, чем в Кянде [6, 11, 13] – таким образом можно наблюдать разницу в антропогенном прессинге на эти водные объекты. Анализируя распределение ртути по глубине донных осадков, отметим, что для большего числа проб донных отложений реки Кянда характерны незначительные колебания концентраций валовой ртути по горизонтам (в пределах 0.01–0.02 мкг/г с.м.), а наибольший разброс значений определен для станций, расположенных в устье р. Чикша и в Онежском заливе. Наиболее характерное распределение ртути в донных отложениях – с относительно низкими концентрациями у контакта донные отложения – водные массы, пиком на глубине 5–7 см, с дальнейшим снижением концентраций с глубиной, наблюдавшееся также в Белом море, озерах Архангельской области, Карелии и Кольского полуострова - выявлено на ст. 01КУ-бис. Скорее всего – сказывается роль геохимического и механического барьеров, возникающего здесь при контакте обогащенных органикой вод, поступающих из реки Чикша, вод, идущих по основному руслу реки Кянда, а также приливных вод Белого моря. Для станции 003, расположенной в Онежском заливе Белого моря, распределение ртути по глубине отличается от «стандартного». Здесь максимальные значения ртути выявлены в горизонте 16–19 см, с общей тенденцией увеличения концентраций с глубиной. Такое распределение предположительно связано с особенностями гранулометрического состава донных осадков данной станции – так, именно для этой станции поверхностный слой представлен серо-желтыми песками с незначительными примесями темного ила, и с глубиной количество ила и мелкодисперсных фракций возрастает – синхронно с уровнем концентраций ртути.

В заключение отметим, что на распределение валового содержания ртути в донных отложениях устьевых областей рек Субарктики, находящихся под жестким антропогенным прессом, он является доминирующим фактором. В то время как для рек, расположенных в относительно благоприятных экологических условиях, определяющим фактором служит литологический состав.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ МК-6241.2016.5 и проекта Минобрнауки 5.5791.2017/6.7

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fedorov Yu.A., Ovsepyan A.E. Mercury and its connection with physicochemical water parameters (case study of the rivers of the Northern European territory of Russia) // Mercury: Sources, Applications and Health Impacts. New York: Nova Science Publishers, 2013. P. 155–172.
2. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Коробов В.Б. Особенности распределения, миграции и трансформации ртути в водах устьевой области р. Северная Двина // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 85–92.
3. Лисицын А. П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
4. AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. AMAP, Oslo, Norway, 2011. 210 p.
5. Fedorov Yu.A., Ovsepyan A.E., Lisitzin A.P., Dotsenko I.V., Novigatskii A.N., Shevchenko V.P. Patterns of mercury distribution in bottom sediments along the Severnaya Dvina–White Sea section // Doklady Earth Sciences. 2011. V. 436, Part 1. P. 51–54.
6. Федоров Ю.А., Зимовец А.А, Овсепян А.Э., Доценко И.В. Физико–химические условия в устьевой области Северной Двины и их влияние на формы нахождения и миграции ртути // Известия высших учебных заведений. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. 2011. № 2. С. 86–89.
7. Федоров Ю.А., Зимовец А.А, Овсепян А.Э., Хромов М.И. Комплексная эколого–геохимическая экспедиция в устьевой области Северной Двины в весенне–зимний сезон 2008 г. // Известия высших учебных заведений. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. 2009. № 1. С. 110–114.
8. Хоменко Г.Д., Лещёв А.В., Коробов В.Б. Особенности гидрологического режима устьевых областей малых рек Белого моря (по данным экспедиционных наблюдений 2010–2012 гг.) // Геология морей и океанов: Материалы XX Международной конференции (Школы) по морской геологии. Геология морей и океанов. Материалы конференции. Т. III. М.: ГЕОС, 2013. С. 266–268.
9. Fedorov Yu., A. Ovsepyan, V. Savitskiy et al. Physical and chemical characteristics of water in the mixing zone: River Kyanda – Onega Bay of the White Sea // Conference Proceedings of 16th International Multidisciplinary

Scientific GeoConference, SGEM 2016. Bulgaria. 2016. Book 3. V. 1. P. 553–560. DOI: 10.5593/SGEM2016/B31/S12.072

10. Лукьянов С.А., Шварцман Ю.Г. Гранулометрический состав донных отложений устьевых зон малых рек Онежского залива Белого моря // Arctic Environmental Research. 2013. № 2. С. 28–34.

11. Федоров Ю.А., Савицкий В.А., Зимовец А.А. Распределение ртути в донных отложениях по профилю «Река Кянда – Онежский залив Белого моря» // Экологические проблемы. Взгляд в будущее. Сборник трудов VIII Международной научно–практической конференции; Южный федеральный университет. Ростов–на–Дону: Издательство Южного федерального университета, 2017. С. 462–465.

12. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Доценко И.В., Савицкий В.А. Хронология современного морского седиментогенеза с привлечением данных по содержанию ртути и радионуклидов // Сб. трудов Второго международного симпозиума «Ртуть в биосфере: эколого–геохимические аспекты». Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2015. С. 370–374.

13. Федоров Ю. А., Овсепян А. Э. Ртуть и ее связь с физико–химическими параметрами воды (на примере рек Севера ЕТР) // Известия вузов. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. 2006. № 2. С. 82–89.

This paper presents the results of the first studies on the regularities of variations in mercury content in bottom sediments of small rivers in the Subarctic. Comparison of processes and factors influencing the accumulation and distribution of mercury in bottom sediments of rivers with different degree of anthropogenic impact is performed.

**Симонян Г.С., Пирумян Э.Г., Симонян А.Г., Пирумян Г.П.**  
(Ереванский государственный университет, Ереван, Армения, [sim-gev@mail.ru](mailto:sim-gev@mail.ru))

**Продукты окисления аминов в качестве термостабилизаторов при деградации нефти в гидросфере**  
**Simonyan G.S., Pirumyan E.G. Simonyan A.G., Pirumyan G.P.**  
(Yerevan State University, Yerevan, Armenia)

**Oxidation products of amines as thermostabilizers for oil degradation in the hydrosphere**

Ключевые слова: нефть, трансформация, полихлоропрен, термоокисление, триэтаноламин, фенилдиэтаноламин, продукт окисления амина

Показано, что продукты окисления третичных аминов являются термостабилизаторами при термоокислении полихлоропрена. У стабилизированных образцов температура начала разложения выше, чем у нестабилизированного полихлоропрена.

*Введение.* Нефтепродукты относятся к числу наиболее распространенных и опасных веществ, загрязняющих поверхностные воды. В составе нефти обнаружено свыше 1000 индивидуальных органических веществ, содержащих: углерод (84–87%), водород (12–14%), кислород (0.005–3.6%), серу (1–2%) и азот. Нефть и продукты ее переработки представляют собой чрезвычайно сложную, непостоянную и разнообразную смесь низко – и высокомолекулярных соединений, относящихся к различным гомологическим рядам [1]. Низкомолекулярные соединения представляют собой, в основном, парафиновые, нафтено-парафиновые и ароматические углеводороды. Высокомолекулярная часть нефти состоит из высокомолекулярных парафиновых углеводородов, моно- и конденсированных нафтено-парафиновых, моно- и бициклических ароматических углеводородов ряда бензола и нафталина, смол и асфальтенов. Таким образом, нефть – это сложная многокомпонентная смесь, которая в зависимости от внешних условий проявляет свойства молекулярного раствора или дисперсной системы.

Сегодня нефть распространяется далеко за пределы промысла, путем перевозок в цистернах и танкерах и перекачкой по трубопроводам. Основная причина загрязнения морей и океанов нефтью – это транспортирование нефти, главным образом за счет слива за борт танкерами и судами нефтесодержащих (балластных и промывочных) вод.

В настоящее время по морю ежегодно транспортируется более 1 млрд. тонн нефти. До 0.5% перевозимой танкерами нефти выбрасывается в результате практики сброса промывочных и балластных вод в открытое море. Так как объем перевозок танкерами ежегодно возрастает, также возрастает загрязнение при перевозках нефти в морях, океанах, составляя

40% всего сброса нефти [2–5].

Серьезное беспокойство вызывает загрязнение океанов нефтью в результате крушения танкеров и выбросов нефти на буровых скважинах, расположенных в открытом море. Однако загрязнения, вызванные ими, составляют лишь 5% от общего количества загрязнений нефтяными углеводородами акватории мирового океана. Загрязнение океанов и морей нефтью вызвано также выносом реками – 31.1% , попадание из атмосферы – 9.8% природные источники – 10%, промышленные отходы и городские отходы – по 5% , отходы прибрежных нефтеочистительных заводов – 3% и добыча нефти в открытом море – 2%.

Нефть, попадая на земную поверхность и в воду, оказывается в качественно иных условиях. Нефть из анаэробной обстановки, где химические процессы очень замедленны, попадает в аэробную среду, в которой огромную роль играют также окислительные химические процессы. Будучи высокоорганизованной субстанцией, состоящей из множества соединений, нефть деградирует очень медленно.

Деградация нефти и нефтепродуктов осуществляется также путем химического окисления, и скорость этого процесса зависит от условий среды. Процессы окисления одних структур ингибируются другими, трансформация отдельных соединений идет по пути образования форм, в дальнейшем плохо окисляемых. Так, некоторая часть нефтяных углеводородов может разлагаться в процессе автокаталитического окисления по свободнорадикальной цепной реакции, завершающейся образованием гидроперекисей, а продукты разложения последних служат инициаторами дальнейшего окисления углеводородов.

Целью настоящей работы является изучение в рамках модели «нефть-вода» ингибирующей способности продуктов окисления триэтанолamina ( $T^*$ ) и фенилэтанолamina ( $\Phi^*$ ) при термоокислении полихлоропрена (ПХП).

#### *ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ*

*Методика исследования.* Термоокисление ПХП исследовали методом ИКС. ИК-спектроскопия проводилась на приборах UR-20 и "Specord – 75 IR". За процессом термоокисления ПХП следили по изменению интенсивности полосы поглощения карбонильной группы ( $1720 \text{ см}^{-1}$ ), т.к. она проявляется в спектре раньше других. По периоду индукции окисления каучука оценивали эффективность продуктов окисления аминов в качестве термостабилизаторов. Продукт окисления ТЭола ( $T^*$ ) получен по методике [6], продолжительным окислением ТЭола при нагревании в течение трех часов при доступе воздуха и температуре 873К. Продукт реакции ПБ + ФДЭола ( $\Phi^*$ ) получен в растворе ДМФ при  $T=298\text{K}$ , при смешении  $[ПБ]_0=[ФДЭола]_0=0.1 \text{ моль/л}$  [7]. Используются ПХП марки «Наирит П» (при использовании ТЭола\*) и «Наирит КР» (при использовании продукта реакции ПБ+ФДЭола). Продукты окисления аминов добавляли в готовый ПХП в количестве 2 вес. процентов. Образцы для исследования готовились

в виде пленок толщиной 30–50мк и окислялись на воздухе при 373К. Эталонном сравнения служил нестабилизированный образец ПХП.

#### **ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

В работе [7] показано, что продукт окисления ТЭола воздухом (Т\*) ингибирует полимеризацию АН и окислению кумола. Причем показано также, что при окислении ТЭола образуются соединения с полисопряженными звеньями. Исходя из того, что Республика Армения является одним из производителей хлоропренового каучука (ПХП), и ввиду того, что при окислении полимеров вообще, а ПХП в частности, образуются пероксидные радикалы, мы сочли целесообразным использовать продукты окисления аминов как ингибиторы окисления ПХП.

В таблице приведены периоды индукции окисления нестабилизированного и стабилизированного 2 вес. % Т\* и Ф\*

Таблица. Периоды индукции (час) окисления нестабилизированного и стабилизированного ПХП

ПХП стабилизатор	+	ПХП- нестабил.	ПХП+Т*	ПХП+Ф*
«Наирит П»		0.5	6	-
«Наирит КР»		2	-	18

Из таблицы следует, что продукт реакции ПБ+ФДЭола значительно ингибирует окисление ПХП (период индукции окисления ПХП марки «Наирит КР» для нестабилизированного образца составляет 2 часа, а для стабилизированного продукта реакции ПБ + ФДЭола – 18 часов). Периоды индукции окисления нестабилизированного и стабилизированного Т\* марки «Наирит П» соответственно 0.5 и 6 часов.

Таким образом, показано, что продукты окисления аминов являются термостабилизаторами при термоокислении ПХП.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сыркин А.М., Мовсумзаде Э.М. Основы химии нефти и газа. Уфа: УГНТУ, 2002. 109 с.
2. Немировская И.А. Нефтяные углеводороды в океане // Природа. 2008. N 3. С. 17–27.
3. Давидов С.Л., Тарасов В.И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде. М.: РУДН, 2004. 163 с.
4. Одинцова Т.А. Эколого-геохимические аспекты трансформации органического вещества нефтезагрязненных геосистем // Моделирование стратегии и процессов освоения гересурсов: Мат-лы Междунар. конф. Пермь: Гй УрО РАН. 2003. С. 241–245.
5. Симонян Г.С. Конденсационные процессы при деградации нефти в гидросфере // Современная наука: актуальные проблемы и перспективы развития: монография. книга 4 / под ред. проф. Н. А. Тарасенко.

Ставрополь: Логос, 2014. С. 65–83.

6. Симонян Г.С. Кинетика полимеризации акрилонитрила в растворе, инициированной окислительно-восстановительной системой пероксид бензоила-аминоспирты. Дисс. канд. хим. наук, Ереван, 1988.

7. Симонян Г.С., Мелик-Оганджян Л.Г., Согомонян Б.М., Бейлерян Н.М. Некоторые особенности продукта окисления фенилдиэтанолamina пероксидом бензоила при полимеризации акрилонитрила в диметилформамиде // Уч.зап.ЕГУ. 1990. N3. С. 162–165.

It is shown that products of tertiary- amines oxidation are thermostabilizers for polychloroprene thermooxidation. The destruction temperature for stabilized samples is higher than for non-stabilized samples.

**Синицына Н.Н.**

(Севастопольская морская академия, Севастополь, e-mail: [ninos555@ya.ru](mailto:ninos555@ya.ru))

## **Оседание смеси частиц с различной плотностью. Часть 1.**

**Sinitsina N.N.**

(Sevastopol Marine Academy, Sevastopol)

## **Sedimentation of differential particle mixture. Part 1.**

Ключевые слова: осадочное вещество, седиментация, частицы, плотность материала, плотность упаковки, время разделения частиц смеси, море

Рассматривается оседание облака смеси частиц с различной плотностью на основе наличия у объектов объёма в неразрывной неидеальной жидкости в поле сил давления жидкости и распределения скоростей частиц по пространству. Нам известно, что в морях и океанах распространены процессы, включающие совместное движение многих частиц. В некоторых случаях влияние частиц друг на друга может иметь существенное значение в ходе рассматриваемого процесса. В работе показывается влияние гидродинамического поля указанных распределений на скорость разделения смеси частиц различной плотности.

В работах автора [1–2], доложенные на заседаниях Школы Морской геологии, изложены основные идеи использования вычислительного метода моделирования частицами для расчёта седиментации гранул одного размера и одной плотности. В [3] излагалось одно из важнейших следствий из используемой теории седиментации с расчётом траекторий методом частиц в приближении точечных сил.

Напомним основные положения. Моделирование частицами предполагает набор частиц с рядом атрибутов, взаимодействующих через поля. В целом ряде задач морской геологии седиментационные процессы имеют дело как раз с готовыми частицами, при движении возмущающие поля давления жидкости и поля скоростей.

Потенциальная энергия определяется через аддитивный потенциал. Поля силы и потенциальной энергии заполняют всё пространство, в котором поле силы равно взятому с обратным знаком градиенту потенциальной энергии:

$$\vec{F} = -\nabla\Psi$$

Потенциальное поле связано с распределением источника с помощью уравнения поля. Например, уравнение Лапласа. По теории потенциала, поле давлений является решением уравнения:

$$\Delta p = 0 \quad (1)$$

которое получено операцией дивергенции к ползущим уравнениям Стокса.

Решение полученного уравнения аддитивно:

$$P = \sum P_n \quad (\text{II})$$

Приведённые условия необходимы и достаточны для решения поставленной задачи методом частиц.

Ползущее уравнение Стокса получено малостью числа Рейнольдса:

$$\text{Re} = \rho \cdot U \cdot a / \mu$$

и в пренебрежении инерцией из уравнения Навье-Стокса:

$$\nabla p = \mu \cdot \Delta V, \nabla \cdot \vec{V} = 0, \quad (\text{также и неразрывность среды}).$$

Первично пусть сфера покоится в начале координат, при этом граничные условия:

$$V_x = V_y = V_z = 0 \quad \text{на поверхности сфер } r = a,$$

$$V_x \rightarrow U, V_y \rightarrow 0, V_z \rightarrow 0 \quad \text{на бесконечности.}$$

Поэтому с помощью сферических функций из монографии Лэмба [4] находится решение неоднородной задачи:

$$\nabla p_n = \mu \cdot \vec{V}_n, \nabla \cdot \vec{V}_n = 0. \quad (\text{III})$$

ищется в виде:

$$U = Ar^2 \frac{\partial p_n}{\partial x} + Br^{2n+3} \frac{\partial (p_n / r^{2n+1})}{\partial x} \quad (\text{IV}).$$

которое зависит от  $p_n$ .

Проделав необходимые преобразования, обнаружим, что поле давлений вызванное обтеканием сферы и сосредоточенной силой (единичной и приложенной к центру частицы) имеет одинаковую структуру и явно не зависит от радиуса сферы.

Решение задачи в приближении Стокса известно:

$$p = \frac{F}{4\pi} \cdot \frac{(x)}{r^3}, \quad \vec{U} = \vec{U}_0 - \frac{\vec{F}}{8\pi\mu a} \left[ \left( \frac{1}{r} + \frac{a^2}{3r^3} \right) e_x + \frac{x^2}{r^3} \left( 1 - \frac{a^2}{r^2} \right) \right], \quad (\text{V}).$$

$$\vec{F} = 6\pi\mu a \cdot \vec{U}$$

Поля давлений и скоростей, создаваемой сосредоточенной силой имеют один и тот же вид. То есть при неподвижном потоке на бесконечности поля скоростей на достаточно больших расстояниях от сферы, ею создаваемые единичной силой в точности равны. Таким образом, влияние сферы может быть заменено сосредоточенной силой [4].

В цикле временного шага пересчитываются атрибуты ансамбля частиц: скорость и положение с использованием сил взаимодействия, чем получаем состояние системы в более поздний момент времени  $(t+Dt)/$

Во всех случаях положение находится из скорости интегрированием

уравнения:

$$d\bar{X} / dt = \bar{V}$$

Если есть силовое векторное поле  $F$ , то для определения скорости интегрируется закон движения:

$$d\bar{V} / dt = \bar{F}$$

Начальные состояния определяются набором позиций и скоростей частиц:  $\{x_i, V_i; i = 1, N\}$  в момент времени  $t=0$ . Сила  $\bar{F}$  равна сумме сил, обусловленных остальными  $(N-1)$  частицами и любых внешних сил, которые могут присутствовать:

$$F_k = \sum_{j \neq k} F_{kj} + F_k^{ext}$$

$F_{kj}$  — сила, с которой  $j$ -я частица действует на  $k$ -ю частицу.

В нашем случае баланс сил запишется следующим образом:

$$F_i^k + f_i^{kU} + \sum_{j \neq k} f_i^{kj} = 0$$

или

$$F_i^k + f_i^k = 0, \quad \text{где} \quad F_i^k + f_i^{kU} = F_i^{ext} \quad (\text{сила тяжести, сила}$$

выталкивания, сила сопротивления частицы однородному потоку),

Внешняя сила  $F$ , это разность силы тяжести и выталкивающей силы:

$$F_1^k = \frac{4}{3} \pi g a^3 (\rho_1 - \rho), F_2^k = F_3^k = 0 \quad \text{или} \quad F_{2,3}^{ext} = f_{2,3}^{ext}$$

$$f_i^k = f_i^{kU} + \sum_{j \neq k} f_i^{kj}$$

$f_i^k$  — гидродинамическая действующая на  $i$ -ю частицу сила, состоящая из силы сопротивления  $f_i^{kU}$  движению в однородном потоке  $k$ -й частицы и сил  $f_i^{kj}$ , вызванных возмущением поля скоростей движением каждой частицы из оставшихся. То есть эти силы действуют на  $k$ -ю частицу вследствие присутствия  $j$ -й частицы, (причем  $j \neq k$ ).

По формуле Стокса:

$$f_i^{kU} = -6\pi\mu a \cdot \beta_k \cdot U_i^k$$

$f_i^{kU}$  — сила сопротивления в однородном потоке,

где  $\beta_k = a_k / a$ ,  $a_k$  - радиус  $k$ -й частицы,  
 $a$  - радиус эталонной частицы,

Обратим внимание, что ранее рассматривались частицы с однородными свойствами: одного радиуса и плотности. Особенность сегодняшней задачи состоит в том, что исследуем частицы одного радиуса, но разной плотности.

Опишем параметр, характеризующий степень отличия частиц по плотности, например глина и песок, через отношение внешней силы  $F^k$ , действующей на  $k$ -ую частицу, к величине характерной внешней силы  $F$ .

$$\gamma = F^k / F = (\rho^k - \rho_c) / (\rho - \rho_c)$$

$\rho_c$  - плотность среды,

$\rho^k$  - плотность  $k$ -ой частицы, которая одинакова для частиц одного сорта,

$\rho$  - характерная плотность.

$$\text{Пусть } \gamma^1 = F^1 / F = (\rho^1 - \rho_c) / (\rho^1 - \rho_c) = 1$$

$$\text{и } \gamma^2 = F^2 / F = (\rho^2 - \rho_c) / (\rho^2 - \rho_c) = \gamma,$$

если  $\rho^1$  - характерная плотность и  $\rho^1 \geq \rho^2$ , то чем меньше  $\gamma$ , тем больше различие частиц по плотности и  $\gamma \leq 1$ .

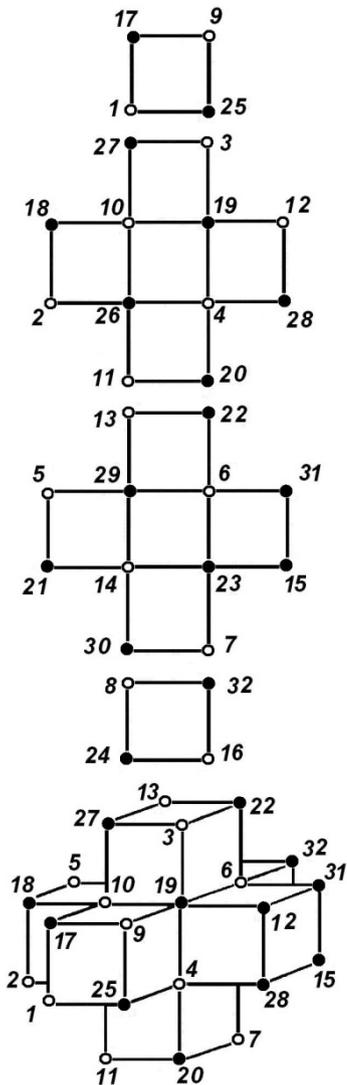
Пусть отношение характерного радиуса частиц  $a$  к характерному расстоянию между частицами  $l$  описывает плотность упаковки частиц в седиментационном облаке:  $\alpha = a / l$ . Выберем 32 частицы радиуса  $a$  и двух плотностей, упакованных в минимально возможную сферу, некий объёмный крест из семи кубов, рис. 1.,

где  $L = 3l$  - линейный размер облака.

Рисунок. Структура облака частиц смеси с различной плотностью. Светлые кружочки - более лёгкие частицы.

Тёмные кружки - более плотные частицы.

Частицы пронумерованы, т.к. мы ищем положения каждой частицы, в совокупности с остальными.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сеницына Н.Н. Теоретическое моделирование потоков седиментационных облаков // Геология морей и океанов: Материалы XIX международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2011. С. 87–91.
2. Сеницына Н.Н. Неразрывность связи распределения частиц примеси в пространстве с их движением в толще вод // Геология морей и океанов: Материалы XIX международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. М.: ГЕОС, 2011. С. 283–287.
3. Сеницына Н.Н. Осциллирование оседающего облака // Геология морей и океанов: Материалы XX международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: 2013. С. 87–91.
4. Лэмб Г. Гидродинамика. М.-Л.: ГИТТЛ, 1945. 928с.

Sedimentation of the particles mixture is considered. The particles have different density. The theory is base on the object volume presence in real sea liquid pressure field and the particles velocities distribution on space. In some cases the mutual particles influence have a vital importance in the considered process. The hydrodynamic field influence on the velocity division of the mixture different density particles appears in work.

**Синицына Н.Н.**

(Севастопольская морская академия, Севастополь, e-mail: [ninos555@ya.ru](mailto:ninos555@ya.ru))

## **Оседание смеси частиц с различной плотностью. Часть 2.**

**Sinitcina N.N.**

(Sevastopol Marina Academy, Sevastopol)

## **Sedimentation of differential particle mixture. Part 2.**

Ключевые слова: осадочное вещество, седиментация, частицы, плотность материала, плотность упаковки, время разделения частиц смеси, море

Приводятся данные численных экспериментов по разделению смеси двух сортов частиц по плотности с одинаковыми радиусами. Оседание смеси частиц с различной плотностью

В части 1 означенной статьи мы рассмотрели силы, действующие на частицы различной плотности в седиментационном облаке и обрисовали само это расчётное облако с безразмерным коэффициентом плотности  $\gamma$ . Покажем расчётные процессы в условное время процесса  $T = 3$ . На рис. 2. видим справа «синхронное, линейное» движение частиц различной плотности, как они располагались в вертикальном сечении крестом, так они и продолжают движение независимо друг от друга. Слева верхние более лёгкие частицы образуют трапецию, которая сохранится со временем, как будет видно на рис.3. и рис.4.

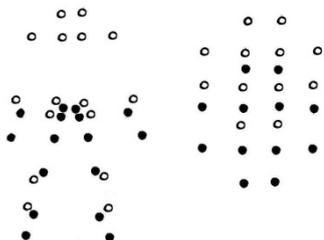


Рисунок 2. Начало разделения смеси двух сортов. Слева: видно важное гидродинамическое взаимодействие частиц в жидкости. Тяжёлые частицы захватывают в круговерть более лёгкие частицы. Справа: не учитываем гидродинамическое взаимодействие. Условное время процесса  $T = 3$ .

Для расчёта положений частиц используем формулы расчёта силы  $f_i^k$ , которая есть гидродинамическая действующая на  $i$ -ю частицу сила, и состоящая из силы сопротивления  $f_i^{kU}$  движению в однородном потоке  $k$ -й частицы и сил  $f_i^{kj}$ , вызванных возмущением поля скоростей движением каждой частицы из оставшихся. То есть эти силы действуют на  $k$ -ю частицу вследствие присутствия  $j$ -й частицы, (причем  $j \neq k$ ):

$f_i^{kU} = -6\pi\mu a \cdot \beta_k \cdot U_i^k$  - сила сопротивления в однородном потоке, и

$f_i^{kj} = 6\pi\mu a \cdot \beta_k \cdot V_i^{kj}$  - сила, действующая на  $k$ -ю частицу вследствие присутствия  $j$ -ой частицы, где  $V_i^k$  - скорость, индуцированная  $j$ -й частицей в центре  $k$ -й частицы при замене  $j$ -й частицы сосредоточенной силой, равной сумме всех гидродинамических сил  $f_i^j$ , действующих на  $j$ -ую частицу.

Найдём эти индуцированные скорости:

$$V_i^{kj} = -\frac{1}{8\pi\mu l} \cdot \left\{ \sum_{s=1}^3 f_s^j \left[ \delta_{is} / r_{kj} + \left( (x_1^k - x_1^j)(x_i^k - x_i^j) \right) / r_{kj}^3 \right] \right\}$$

$$i = 1, 2, 3; k = 1, N; \alpha = a / l$$

где  $x_i^k$  - безразмерные координаты  $k$ -й частицы, все величины безразмерны.

Расстояние между  $k$ -ой и  $j$ -ой частицами:

$$r_{kj} = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (x_i^k - x_i^j)^2}$$

Пусть ось  $Ox_1 \parallel g$  и направлена вниз и учитывая баланс сил, перепишем выражения для скоростей частиц:

$$V_i^{kj} = -\frac{1}{8\pi\mu l} \cdot \left\{ \sum_{s=1}^3 F_s^j / \beta_k \left[ \delta_{is} / r_{kj} + \left( (x_1^k - x_1^j)(x_i^k - x_i^j) \right) / r_{kj}^3 \right] \right\}$$

$$i = 1, 2, 3; k = 1, N; \alpha = a / l$$

Можем переписать баланс сил:

$$F_i^k + f_i^{kU} + \sum_{j \neq k}^N f_i^{kj} = 0$$

Подставим  $f_i^{kU}$  и  $f_i^{kj}$ , получим выражение для скорости частиц в случае совместного движения в поле внешних сил  $F$ :

$$U_i^{kj} = \frac{1}{6\pi\mu a \beta_k} \cdot \left\{ F_1^k + \frac{3\alpha}{4} \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^3 F_s^j / \beta_k \left[ \delta_{is} / r_{kj} + \left( (x_1^k - x_1^j)(x_i^k - x_i^j) \right) / r_{kj}^3 \right] \right\}$$

Для различных  $M$  сортов частиц по параметру плотности материала частиц  $\gamma = (\rho_m - \rho_w) / (\rho_1 - \rho_w)$  и  $\beta_k = a_k / a$  считаем, что  $N$  - число частиц каждого сорта, тогда число сумм в выражениях для скоростей равно  $M$ , а количество членов в каждой из сумм составит  $(N-1)$ , то есть за исключением рассматриваемой частицы. В итоге имеем систему  $3MN$  уравнений для  $3MN$  неизвестных скоростей частиц каждого сорта:

$$\left\{ \begin{aligned} V_1^{km} &= E \cdot \left\{ P_m + G_m \left[ \sum_{j=1}^N Q_1 B_{kj} + \sum_{j=N+1}^{2N} Q_2 B_{kj} + \dots + \sum_{j=M-N+1}^M Q_m B_{kj} \right] \right\} \\ V_i^{km} &= H \cdot \left\{ \left[ \sum_{j=1}^N Q_1 C_{kj} + \sum_{j=N+1}^{2N} Q_2 C_{kj} + \dots + \sum_{j=M-N+1}^M Q_m C_{kj} \right] \right\} \end{aligned} \right. \quad (VI).$$

$k = \overline{1, N}; j = \overline{1, N}; i = \overline{2, 3}; m = \overline{1, M}$ ; индекс сортности и Введены следующие коэффициенты:

$$E = \frac{1}{6\pi\mu a\beta_k}; P_m = F^m; G = \frac{3\alpha}{4}; Q_m = F^j / \beta_k; \alpha = a/l;$$

$$H = \frac{\alpha}{8\pi\mu a\beta_k}; B_{kj} = \left[ 1/r_{kj} + (x_1^k - x_1^j) / r_{kj}^3 \right];$$

$$C_{kj} = (x_1^k - x_1^j)(x_i^k - x_i^j) / r_{kj}^3;$$

$l$  - характерное расстояние между частицами.

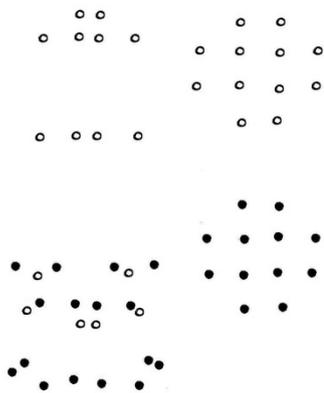


Рисунок 3. Продолжение разделения смеси двух сортов. Слева: гидродинамическое учитываемое взаимодействие частиц в жидкости очевидно. Справа: не учитываем это взаимодействие. Условное время разделения  $T = 9$ .

Численные расчёты показывают (на всех приведённых рисунках), что при определённых соотношениях  $\gamma$  и  $a$  в значительной степени гидродинамическое взаимодействие может увеличивать время разделения смесей.

На рис. 4. показана развернутая по пространству и времени картина разделения смеси двух сортов частиц начальной крестообразной конфигурации, вписывающейся в шар, сто часто можно наблюдать на шельфе. Из схемы сепарации видно, что без учета гидродинамического взаимодействия раздел смеси происходит много раньше, чем в случае с его учетом.



Рисунок 4. Полное разделение смеси двух сортов. Видим гидродинамическое взаимодействие частиц в жидкости оказывает сильное влияние на разделение смеси. Условное время разделения  $T = 14$ .



Траектории движения частиц прослеживалось до тех пор, пока не наступало разделение смеси. На рис. 5. приведены графики зависимости отношения времени разделения  $t^0$  с учётом гидродинамического взаимодействия ко времени разделения  $t^*$  без учёта взаимодействия через жидкость реальных частиц с объёмом в зависимости от  $\gamma$  – параметра, характеризующего различие плотностей. Время определялось на основе стоксовских скоростей частиц двух видов материалов и равно:

$$t^* = L / (I - \gamma),$$

где  $\Delta U = I - \gamma$  – разность безразмерных стоксовских скоростей частиц двух сортов.  $L$  – безразмерный линейный размер рассматриваемого облака частиц (рис. 1. в части статьи 1).

Безразмерные скорости, координаты и времена связаны с размерными соотношениями:

$$U_i^k = V_i^k / U'', \quad x_i^k = X_i^k / X'', \quad t = T / T''$$

где  $X'' = l$  – характерное расстояние между частицами, а  $U''$  – стоксовская

скорость одиночной частицы радиуса  $a$  и плотности  $\rho$ , из  $\vec{F} = 6\pi\mu a \cdot \vec{U}$ , движущейся под действием силы тяжести в среде с плотностью  $\rho_c$  и вязкостью  $\mu$ ,  $T'' = X'' / U''$  – характерное время.

Укажем, что прямая параметризация статистических ансамблей с поиском предельного стыковочного случая частного взаимодействия частиц и осреднённого параметра пока невозможна, поэтому в численных расчётах будем опираться только на непротиворечивые положения при малых числах Рейнольдса.

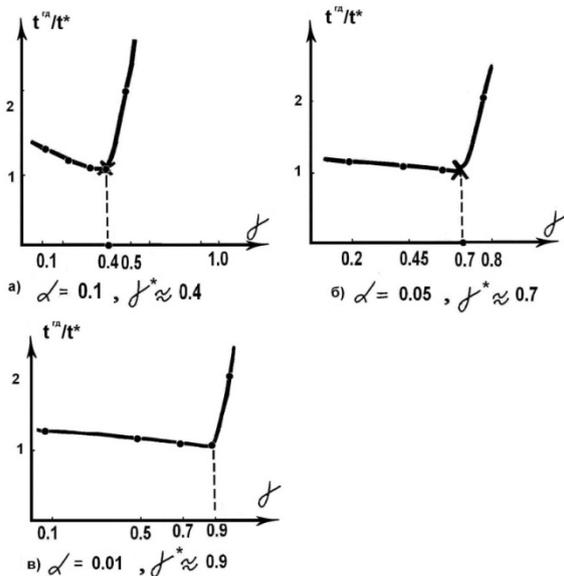


Рисунок 5. Графики зависимости относительных времён от относительной разностной плотности. Видно, что гидродинамическое взаимодействие значительно изменяет время разделения смеси, начиная с некоторого  $\gamma$ , которое зависит от  $\alpha$ .

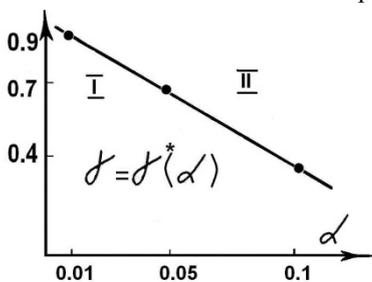


Рисунок 6. График зависимости  $\gamma$  от  $\alpha$ .

Пространство параметров  $\gamma$  и  $\alpha$  делится на две области: I - взаимодействие частиц незначительно влияет на время разделения и его можно не учитывать. В области II гидродинамическое взаимодействие следует учитывать, и оно тем

существеннее, чем дальше эта точка находится от кривой.

Автор признателен доценту Ю.Н. Кульбицкому за обсуждение результатов.

Sedimentation of the particles mixture is considered. The particles have different density. The theory is base on the object volume presence in real sea liquid pressure field and the particles velocities distribution on space. In some cases the mutual particles influence have a vital importance in the considered process. The hydrodynamic field influence on the velocity division of the mixture different density particles appears in work.

## **Трубкин И.П.<sup>1</sup>, Немировская И.А.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт экологии, Москва; e-mail: [trubkin.ivan@bk.ru](mailto:trubkin.ivan@bk.ru); <sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН (ИО РАН), Москва, e-mail: [nemir@ocean.ru](mailto:nemir@ocean.ru))

### **Пространственная изменчивость состава донных осадков в районе дампинга (модельные расчеты на примере полигона в заливе Находка)**

## **Trubkin I.P.<sup>1</sup>, Nemirovskaya I.A.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>All-Russia scientific research institutes of Ecology, Moscow; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

### **Spatial variability of composition of bottom sediments in the dumping area (model calculations based on a polygon in the Gulf of Nakhodka)**

Ключевые слова: дампинг, поток наносов, деформация дна, направление ветра в шторме, вторичное загрязнение, залив Находка

Проведен модельный расчет области вторичного загрязнения донных осадков в районе дампинга грунта в заливе Находка. Установлено, что транспорт загрязнения с наибольшей вероятностью происходит в южном направлении в сторону открытой акватории залива, а в направлении берега – с малой вероятностью. Однако за пределами полигона дампинга естественный фон концентрации взвеси может быть превышен, что может вызывать угнетение основных процессов жизнедеятельности морских организмов.

В Приморье с конца 1940-х годов у о-ва Лисий в заливе Находка (район № 156) действует полигон дампинга. Здесь согласно [1] при первоначальной глубине 25–35 м насыпан удлиненный холм высотой от 5 до 25 м, длиной свыше 1.5 км и общим объемом около 2–2.5 млн. м<sup>3</sup>. Объем этого холма равен примерно четверти общего объема выемки грунта в зал. Находка за последние 25 лет [2]. Гранулометрический состав сбрасываемого грунта определяются составом изъятых грунтов при дноуглублении в заливе Петра Великого. Грунт, в основном, состоит из глинистого ила – 33%; гравелистого, крупного, среднего, мелкого, пылеватого песка – 65%; суглинка и текучепластичной глины – 2% (в процентах от общего объема).

Сбрасываемые грунты имели различный литологический состав и очень часто были насыщены нефтепродуктами [3]. За счет взмучивания донных осадков в акватории полигона дампинга под воздействием волнения и ветровых течений возможно образование взвеси и её перенос в другие зоны. После осаждения взвешенного материала грунты становятся источником вторичного загрязнения водной среды и донных отложений. Поэтому для грунтов полигона характерно загрязнение, в количествах, превышающих фоновые значения. Отметим, что области вторичного загрязнения донных

осадков формируются как в районе сброса, так и в прилегающей акватории, как постоянные источники загрязнения водной среды на протяжении многих лет.

С учетом вторичного загрязнения водной среды и донных отложений влияние сваливаемого грунта уже не будет локальным, а площадь выделенного участка полигона дампинга будет превышать её первоначальное значение, принятое без учета области вторичного загрязнения донных осадков.

Цель работы: расчет области вторичного загрязнения донных осадков в районе сброса и в прилегающей акватории при средних ветровых условиях, как наиболее длительных. В число основных задач работы входят получение данных размыва дна полигона, исходные условия последующего расчета и получение данных переноса и трансформации вторичного загрязнения донных осадков в районах сброса и в прилегающей акватории. Средние ежемесячные ветровые условия в заливе Находка за безледный период не превышают семь дней.

По выбранным величинам скоростей и направлений ветра были рассчитаны поля течений, ветровые и инфрагравитационные волны, а также поля расходов наносов, деформаций рельефа дна по методике, изложенной в [4]. В результате была получена оценка относительных деформаций дна за сутки при среднем ветре различного преобладающего направления, и оценка пространственных характеристик при характерном направлении ветра в районе полигона дампинга (№ 156) залива Находка. Значения размыва дна в каждой точке расчетной области были использованы при последующих расчетах вторичного загрязнения.

Оценка характеристик вторичного загрязнения донных осадков в районах сброса и в прилегающей акватории производилась с учетом наиболее характерной и долгоживущей морской взвеси со средним диаметром фракций 1.8–20.7 мкм и учетом известных соотношений осаждения частиц взвесей в воде [5]. При этом использовали имитационный метод блуждающих частиц-маркеров [6]. Модель переноса частиц основана на системе дифференциальных уравнений Навье—Стокса для вязкой несжимаемой жидкости с учетом условия сохранения массы и количества движения в рассматриваемой области морской акватории. В качестве исходной величины были использованы значения деформаций дна при эрозии или размыве в пределах акватории полигона. Такая модель позволяет выполнить расчёт отдельных параметров (площадь, объем, толщина слоя на дне) и зон вероятного вторичного загрязнения донных осадков в районах сброса и в прилегающей акватории. Были использованы также метеорологические данные возможных скоростей и направлений ветра с различной обеспеченностью для 8 румбов направлений устойчивого среднего ветра, и в качестве источника взвеси данные размыва дна в акватории полигона. По выбранным величинам скоростей и направлений

ветра, и батиметрическим данным были рассчитаны поля течений, ветровых и инфрагравитационных волн [4], а затем поля и параметров (площади, объема, толщины слоя) вторичного загрязнения донных осадков в районах сброса и в прилегающей акватории.

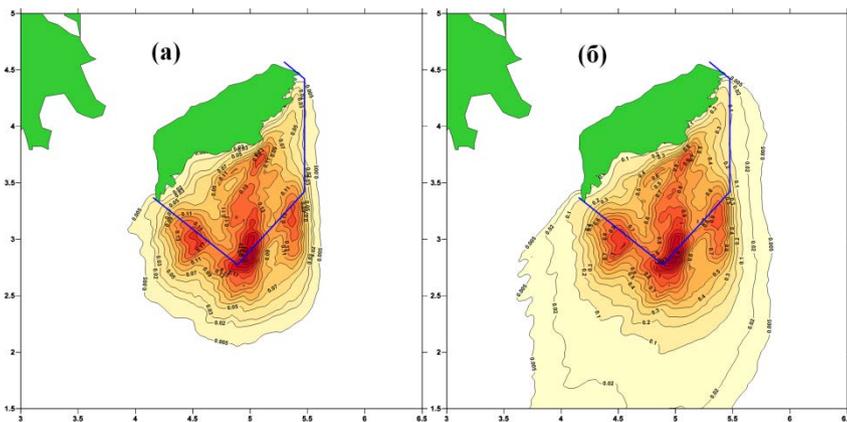


Рисунок 1. Высота слоя осадка на дне (мм) через: (а) – 1 сутки; (б) – 7 суток после начала действия среднего ветра, характерного для района полигона дампинга (№ 156) залива Находка.

Вычисленные нами параметры площади и объема, скорости изменения во времени слоя вторичного загрязнения донных осадков при условии превышения уровня 0.005 – 0.5 мм высоты слоя за пределами акватории полигона дампинга за различное время действия среднего ветра от 0 до 7 суток приведены на рис. 2 и её скорости изменения рис. 3.

Площадь осадка на дне (рис. 2) возрастает с увеличением времени действия ветра, и для условия превышения уровня 0.005 мм принимает наибольшие значения. Скорость изменения площади (рис. 3) принимает наибольшие значения за первые сутки время действия среднего ветра. Объем формируемого осадка на дне за пределами акватории полигона дампинга также возрастает с увеличением времени действия среднего ветра. Скорость изменения объема осадка на дне увеличивается за первые четверо суток, а затем уменьшается.

При дампинге грунтов концентрация быстро снижается с удалением от источника [7]. Как правило, концентрация взвеси в облаке быстро уменьшается со временем и за 1–1.5 часа и становится меньше 10 мг/л.

Следует отметить, что толщина слоя засыпки зообентоса за счет взмучивания донных осадков, при которой происходит их гибель, согласно [8] варьирует от нескольких миллиметров до десятков сантиметров (в зависимости от размера организмов, их морфологических особенностей и приспособления к жизни на донном субстрате). По данным Лесникова [9],

гибель организмов бентоса, погребенного под слоем донных осадков, происходит при его толщине, превышающей вертикальные размеры бентосных организмов и при скорости осадконакопления более 0,5 мм/сут.

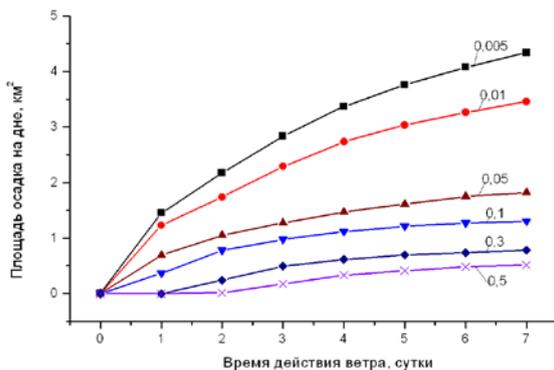


Рисунок 2. Площадь осадка на дне ( $\text{км}^2$ ) за пределами акватории полигона дампинга за различное время действия среднего ветра.

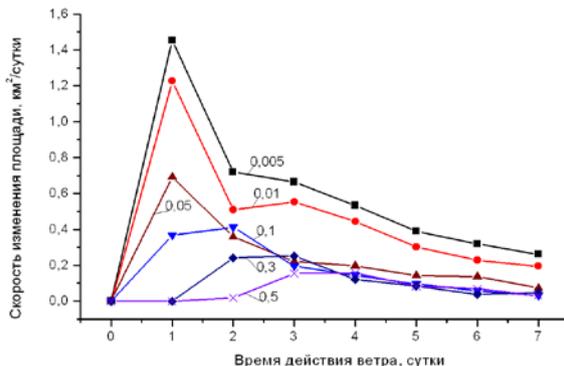


Рисунок 3. Скорость изменения площади осадка на дне.

Расчеты показали, что при среднем ветре за пределы границ полигона дампинга каждые сутки будет переноситься около 100 кубометров взвеси ( $700 \text{ м}^3$  в месяц), формируемых в виде осадка на дне. Согласно [1] ученное поступление твердых осадков в район о. Лисий было не менее  $20000 \text{ м}^3$  в месяц за безледный период (250–260 тыс. т в год). За пределы границ полигона дампинга может быть вынесено до 3,5% массы ежемесячно сбрасываемого грунта. В результате естественный фон концентрации взвеси может быть превышен, что может вызывать угнетение жизнедеятельности морских организмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант проекты 17-

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жариков В. В. Влияние дампинга на геоэкологическое состояние залива Находка // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 37–45.
2. Наумов Ю.А. Антропогенез и экологическое состояние геосистемы прибрежно-шельфовой зоны залива Петра Великого Японского моря. Владивосток: Дальнаука, 2006. 300 с.
3. Жариков В. В., Преображенский Б. В., Лебедев А. М. Геоэкологическое состояние полигона дампинга грунта у острова Лисий (залив Находка) // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 2. С. 88–97.
4. Трубкин И.П. Ветровое волнение (взаимосвязи и расчет вероятностных характеристик). М.: Научный мир, 2007. 264 с.
5. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Примак Л.В. Осаждение частиц взвесей в воде // Механизация строительства. 2013. № 7. С. 44–48.
6. Озмидов Р.В. Диффузия примесей в океане. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
7. Collins M.A. Dredging-induced near-field resuspended sediment concentrations and source strengths // Miscellaneous Paper D-95-2, US Army engineer waterways experiment station. 1995. 299 p.
8. Иванова В.В. Экспериментальное моделирование заваливания зообентоса при дампинге грунтов // Сб.науч.тр. ГосНИОРХ. 1988. Вып. 285. С 107–113.
9. Лесников Л.А. Влияние перемещения грунтов на рыбохозяйственные водоемы // Тр. ГосНИОРХ. 1986. Вып. 255. С. 11–17.

It was performed the model calculation of secondary pollution of sediments in the Nakhodka Bay at the site of the dumping soil. It is established that pollution transport is most likely to occur in a southerly direction towards the open water area of the Gulf. Secondary pollution of the soil towards the shore is not happening. However, outside the dumping site, the natural background of suspended matter concentration can be exceeded, which can cause inhibition of the basic processes of life of marine organisms.

**Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Ярославцев В.М.,  
Доценко И.В.**

(Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: fed29@mail.ru)

**Уровни и распределение удельной активности тория и урана в донных осадках Азовского моря и водных объектах его бассейна**

**Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Yaroslavtsev V.M.,  
Dotsenko I.V.**

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

**The levels and distribution of thorium's and uranium's specific activities in the bottom sediments of the Sea of Azov and waterbodies of its basin**

Ключевые слова: радионуклиды, естественные радионуклиды, донные отложения, Азовское море,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Th}$

В некоторых районах побережий Азовского и Черноморского морей пляжные отложения накапливают минералы (монациты и др.), содержащие природные радионуклиды  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и их продукты распада. Показано, что удельные активности  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{234}\text{Th}$  увеличиваются как в воде, так и в поверхностном слое донных отложений в направлении: река Дон → Таганрогский залив → юго-восточная часть Азовского моря.

Азовское море и объекты его бассейна и ранее привлекали к себе внимание для исследований распределения техногенных, а также естественных радионуклидов [1–7]. Особый интерес представляли такие радионуклиды как  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  для оценки скоростей седиментации [1, 2]. Это сообщение посвящено детальному изучению распределения  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{Th}$  и  $^{232}\text{Th}$  по разрезу и акватории Азовского моря, в озерах и реках его бассейна. Как известно, радионуклиды  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  являются долгоживущими. Радионуклид  $^{234}\text{Th}$  образуется вследствие распада  $^{238}\text{U}$  и относится к короткоживущим изотопам. На побережье Черного и Азовского морей в ряде районов наблюдается аккумуляция минералов (прежде всего монацита), содержащих естественные радионуклиды - торий, уран и продукты их распада. В зонах накопления радионуклидов ионизирующее излучение может превышать нормальный фон в десятки раз. Поскольку, эти зоны расположены в местах массового скопления людей, в том числе детей, то они представляют несомненную опасность для них. Во время штормов и течениями «черные пески» могут переноситься по акватории моря, а также поступать в виде пыли в атмосферу и затем выпадать на водную и земную поверхность региона. Другими источниками радионуклидов могут являться угольная пыль и продукты сжигания ископаемого топлива (прежде всего

угля).

Для радиозокологического исследования водных экосистем использован гамма - спектрометрический метод определения содержания радионуклидов естественного происхождения ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{234}\text{Th}$ ), в пробах воды и в кернах донных отложений [1] (профили распределения по вертикали) отобранных в экспедиционных исследованиях (рис.). Анализ проводился под руководством проф. Давыдова М.Г. аналитиком Е.А. Бураевой, которым авторы выражают благодарность.

В последнее время жители прибрежных районов Азовского моря и многочисленные туристы стали чаще обращать внимание на возможную роль природных изотопов урана и тория в ухудшении качества окружающей среды. Давно известно, что на побережье Азовского моря в ряде районов (от г.Бердянска до г.Таганрога) наблюдается аккумуляция минералов (в первую очередь монацита), содержащих эти естественные радионуклиды и продукты их распада в прибрежных песках четвертичного возраста. Визуально это проявляется в присутствии на песчаных пляжах пятен и полос черного цвета, именуемых в быту «черными песками».



Рисунок. Станции отбора проб в Азовском море и водоемах его бассейна.

Отметим, что еще в конце XIX на Атлантическом побережье Бразилии были начаты разработки монацитовых песков. Обобщающая формула монацита выглядит следующим образом:  $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th} \dots)[\text{PO}_4]$ . Помимо этих элементов, минерал содержит уран с разными валентными формами,

празеодим и другие редкие земли. Тория в монаците, как правило, содержится от 2.5 до 12%. Поэтому в настоящем сообщении мы остановились на детальном изучении распределения  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{Th}$  и  $^{232}\text{Th}$  по разрезу и акватории Азовского моря, в озерах и реках его бассейна.

Изучение распределения  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{Th}$  и  $^{232}\text{Th}$  в поверхностных водах проводилось в озере Пиленкино, рр. Дон, Кубань, Цимлянском водохранилище и Азовском море.

Удельная активность  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{Th}$  в основном выше в воде Азовского моря в сравнении с водами рр. Дон и Кубань, в то время как таковая  $^{232}\text{Th}$  остается везде одинаковой. В воде Азовского моря наблюдается отчетливый рост удельной активности  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{Th}$  в направлении Таганрогский залив → Азовское море. В вершину Таганрогского залива поступают воды рек, содержащих меньше  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{Th}$ , в то время как из залива в открытое море наблюдается отток вод, имеющих более высокие удельные концентрации этих радионуклидов. Следовательно, можно предположить, что кроме поступления радионуклидов в залив со стоком вод р. Дон, возможен их приход и из других источников.

Удельная активность  $^{238}\text{U}$  была выше в солоноватом грязевом озере Пиленкино в сравнении с водами в устьях рр. Кубань и Дон, но была несколько ниже, чем в протоке Старый Дон. Вода в последней характеризовалась более высокими значениями удельной активности  $^{234}\text{Th}$  в сравнении с водами рек Дона и Кубани, но была ниже, чем в озере. Вода в устье р. Кубань более обогащена  $^{238}\text{U}$  в сравнении с водой устья р. Дон. Водные массы Керченского преполивья содержат более высокие концентрации  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{Th}$  в сравнении с таковыми в Таганрогском заливе. Это можно объяснить наличием в этих районах моря нефтегазовых месторождений и повышенной грязевулканической активностью. Повышенные содержания  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{Th}$  в воде на станции Лоцпост (протока Старый Дон), возможно, связаны с разгрузкой подземных флюидов из залегающих в недрах этого района газовых месторождений. Отметим также тенденцию возрастания содержания  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{Th}$  с ростом солености, в то время как удельная активность  $^{232}\text{Th}$  ведет себя индифферентно по отношению к этому показателю.

Распределение удельной активности радионуклидов в донных осадках показывает ту же тенденцию, что и в воде: увеличение удельной активности в системе «река-море». В колонках донных отложений, отобранных на выходе из Таганрогского залива, в районе косы Долгая высокие концентрации  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{234}\text{Th}$  могут быть связаны с залеганием древних метаморфических пород Украинского щита, в которых темные минералы содержат торий и уран. При выветривании они разрушаются и выносятся на берег моря, а их компоненты транспортируются в экосистему Азовского моря, где они участвуют в литодинамических процессах и образуют отложения монацитовых песков вдоль северо-восточного побережья. В этих

песках удельная активность  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  варьируется соответственно от 610 до 1012 Бк / кг и от 1310 до 1720 Бк / кг. Отношение  $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$  составило 0.53. Кроме того, в юго-восточной части моря активность грязевых вулканов, а также разведка и добыча нефти и газа также могут быть источниками естественных радионуклидов.

В верхних слоях удельная активность  $^{238}\text{U}$  обычно быстро уменьшается с глубиной керна и даже активность данного радионуклида не превышает предела обнаружения на глубинах от 20 до 40 см. В более глубоких слоях донных отложений удельная активность  $^{238}\text{U}$  может снова повышаться и даже достигать или превышать уровни поверхностных слоев. Эти флуктуации объясняются изменениями окислительно-восстановительного потенциала среды в различных частях толщи донных отложений. На ряде станций активность  $^{238}\text{U}$  в поверхностном горизонте донных отложений крайне низка, что, по-видимому, вызвано переходом значительной части сорбированного урана в раствор в условиях окислительной обстановки. Высокая активность  $^{238}\text{U}$  приурочена к илистому субстрату, наименьшая – к ракушечным отложениям.

В восточной части Таганрогского залива вблизи Чумбурской косы были отобраны и изучены две колонки донных отложений: первая была взята в период штормов, а вторая – в относительно спокойных условиях. Интересно отметить, что поверхностный слой второго керна был гораздо более обогащен  $^{238}\text{U}$ , чем первый. Возможно, это связано с осаждением отмершего фитопланктона и окислов железа после продолжительных летних штормов.

Анализируя данные по распределению удельных активностей  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{234}\text{Th}$  в водной тоще и в донных отложениях, отметим явную тенденцию их возрастания в системе «река – море». Резкое синхронное возрастание  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{Th}$  в воде и верхних слоях донных осадков, а также  $^{232}\text{Th}$  в последних, на выходе из Таганрогского залива (ст. Коса Долгая), скорее всего, связано с поступлением обогащенного этими радионуклидами материала из северо-восточного района Таганрогского залива, где в пляжевых отложениях обнаружены залежи монацитового песка. На северном побережье Азовского моря выходят древние метаморфические породы докембрийского фундамента, в которых темные минералы содержат торий и уран. При выветривании они разрушаются и выносятся на берег моря с поверхностным стоком. В юго-восточной части моря к вышеописанному источнику данных радионуклидов добавляется грязевулканическая деятельность, а также разведка и эксплуатация нефтегазовых месторождений. Нельзя также исключить, что привнос на акваторию Азовского моря и водные объекты его бассейна угольной пыли, частиц шлака и угля, будет также способствовать росту содержания в воде и донных осадках естественных радионуклидов. Роль каждого из вышеперечисленных источников в загрязнении водных объектов еще предстоит исследовать.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Trofimov M.E. Sedimentation Rates in the Sea of Azov Inferred from Cs-137 and Am-241 Specific Activity // *Doklady Earth Sciences*. 2008. V. 423. No. 8. P. 1333–1334.
2. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N. Radionuclides in bottom sediments of the Sea of Azov // 15<sup>th</sup> international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2015. Ecology, Economics, Education and Legislation Conference Proceedings. V. I. Ecology and Environmental Protection. Bulgaria (Albena, 18–24 June, 2015). P. 707–712.
3. Fedorov Yu.A., Kuznetsov A.N., Yaroslavtsev V.M. AM-241 IN THE DON RIVER SEDIMENT CORE // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2017, Ecology, Economics, Education and Legislation Conference Proceedings. (Albena, Bulgaria, 27.06.2017–06.07.2017). V. I. Ecology and Environmental Protection. Albena, Bulgaria. Is 51. V. 17. P. 53–59.
4. Fedorov Yu., A. Kuznetsov Regularities of U-238, Th-234 and Th-232 distribution in water and bottom sediments of waterbodies and watercourses of the Sea of Azov drainage basin // Conference Proceedings of 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2016. Bulgaria. 2016. P. 569–575.
5. Ryabinin A.I., Belyavskaya V.B., Dolotova I.S. Technogenic radionuclides and strontium in the Sea of Azov in 1987 to 1988 // *Acts of State Oceanographic Institute. Russia, Moscow*. 1992. V. 205. P. 96–105.
6. Ryabinin A.I., Gubanov V.I., Klimenko N.P. et al. The pollution level of the Sea of Azov in 1992 according to field data // *Meteorologiya i Gidrologiya*. 1994. V. 12. P. 72–83.
7. Ryndina D.D. Processes of sorption and desorption of radionuclides by marine sediments, algae and detritus // *Marine radioecology*. Kiev, 1970. P. 46–62.

In certain sectors of coasts of the Sea of Azov and the Black Sea the beach sediments accumulate minerals (monazite and others) containing natural radionuclides  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , and their decay products. In the Sea of It is shown that  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{234}\text{Th}$  specific activities increase both in water and superficial layer of bottom sediments in the direction: the Don River → the Gulf of Taganrog → the south-eastern part of the Sea of Azov.

## **Филатов А.А.**

(Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр, Ростов-на-Дону, e-mail: wickedplayer@yandex.ru)

## **Мониторинг водных объектов и их водоохранных зон Filatov A.A.**

(Russian Information and Analytical and Research Water Management Center, Rostov-on-Don)

## **Monitoring of water bodies and their water protection zones**

Ключевые слова: водные объекты, водоохранные зоны, водопользование, мониторинг водных объектов, автоматизированная информационная система

Настоящая работа посвящена актуальной проблеме мониторинга водных объектов. Подробно описаны формы представления собственниками водных объектов и водопользователями соответствующей отчётной информации (морфометрические характеристики водных объектов, состояние экосистем водоохранных зон и эрозионных процессов, степень антропогенной нагрузки на водные объекты) для формирования единой информационной базы с использованием автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО).

Программа наблюдений за водным объектом представляет собой перечень обязательных действий по отбору и анализу проб в используемой водопользователем акватории. Все полученные сведения о водном объекте и его водоохранной зоне ежеквартально или ежемесячно сдаются в форме отчёта в орган власти, с которым заключён договор водопользования. Кроме того, собственники водных объектов и водопользователи должны сдавать ежегодный отчёт по проведенным наблюдениям, в котором указываются морфометрические характеристики водных объектов, а также описывается состояние экосистем водоохранных зон (залуженные земельные участки, участки земли под кустарниковой растительностью, участки земли под древесной и древесно-кустарниковой растительностью) и эрозионных процессов (густота эрозионной сети, колебания эрозионной сети), а также степень антропогенной нагрузки на водные объекты.

До недавнего времени эти получаемые данные не сводились воедино. Но в 2013 г. в рамках реализации государственной водной политики специалистами Северо-Кавказского филиала Российского научно-исследовательского института комплексного использования и охраны водных ресурсов (СевКавНИИВХ) была разработана информационная система федерального значения – автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) Российской Федерации с целью формирования единого информационного пространства на основе объединения информационных ресурсов, получаемых при проведении государственного мониторинга водных

объектов организациями различной ведомственной принадлежности, обеспечения государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов.

В настоящее время АИС ГМВО внедрена и успешно функционирует. Отдел ГВР и ГМВО Российского информационно-аналитического и научно-исследовательского водохозяйственного центра является ответственным за сбор вышеописанных сведений со всей страны. В представляемых собственниками водных объектов и водопользователями формах содержатся сведения о водопользователе: наименование субъекта Российской Федерации, наименование организации, её почтовый адрес и организационно-правовая форма, ИНН, бассейновый округ, год, за который представляются сведения. Данные мониторинга сводятся в следующие формы: Форма 6.1. Данные наблюдений за водными объектами (их морфометрическими особенностями), Форма 6.2. Данные о водоохраных зонах водных объектов, Форма 6.3. Данные наблюдений за режимом использования водоохраных зон водных объектов.

В Форме 6.1. содержатся подробные сведения о наименовании водохозяйственного участка водного объекта, указаны его наименование и вид (например, река, озеро, болото), координаты створа, характеристики водотока (максимальная, минимальная и средняя глубины, скорость течения (м/с), расход воды (м<sup>3</sup>/с); характеристики водоёма (площадь акватории, км<sup>2</sup>, объём, тыс. м<sup>3</sup>); максимальная глубина, средняя глубина). В Форме 6.2. указываются наименование водохозяйственного участка, наименование и вид водного объекта, описывается местоположение участка и географические координаты пункта проведения наблюдений. Описываются эрозионные процессы (густота эрозионной сети, км/км<sup>2</sup> или м/м<sup>2</sup>, изменение эрозионной сети, км или м), указываются виды наблюдений (например, визуальные). В этой же таблице описываются экосистемы водоохраных зон (площади и изменение площадей залужённых участков, участков под кустарниковой растительностью, участков под древесной и древесно-кустарниковой растительностью, км<sup>2</sup>, м<sup>2</sup>, %, указываются причины этих изменений, например, зарастание кустарниками или вырубка деревьев). В Форме 6.3. приведены наименование, адрес и реквизиты хозяйствующего субъекта, описан вид хозяйственной или иной деятельности. В таблицу вносятся сведения о соблюдении режима использования водоохраных зон, указываются даты и основания для проведения его проверки и заключение органов надзора по результатам этой проверки. Далее вносятся реквизиты и содержание выданных предписаний. В форму также вносится информация о выполнении предписаний, выданных при предыдущей проверке.

Таким образом, применение АИС ГМВО имеет большое научное и практическое значение для мониторинга водных объектов, управления ими и в целом для охраны природы и здоровья человека.

The present work is devoted to the problem of monitoring of water bodies. Forms of presentation by water users the appropriate accounting information (morphometric characteristics of water bodies, ecosystems of water protection zones and erosion processes, the degree of anthropogenic load on water bodies) for the formation of a unified information base, using automated information system of state monitoring of water objects is described in detail.

## **Холмянский М.А.<sup>1</sup>, Анохин В.М.<sup>2,3,4</sup>, Заносов О.Ю.<sup>5</sup>**

(<sup>1</sup>ФГБУ ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга, Санкт-Петербург, <sup>2</sup>Санкт-Петербургский научный центр РАН, г. Санкт-Петербург, <sup>3</sup>Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, <sup>4</sup>Российский государственный педагогический университет им. Герцена, Санкт-Петербург, [vladanokhin@yandex.ru](mailto:vladanokhin@yandex.ru), <sup>5</sup>МЧС РФ, Москва)

### **Классификация техногенных фаций дна морских акваторий**

## **Kholmianskii M.A.<sup>1</sup>, Anokhin V.M.<sup>2,3,4</sup>, Zanosov O.Y.<sup>5</sup>**

(<sup>1</sup>Gramberg Stte Institute VNIIOkeaneologia, S-Peterburg, <sup>2</sup>Saint-Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, <sup>3</sup>Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, <sup>4</sup>Herzen State University, St. Petersburg, Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, Moscow)

### **Classification of technogenic facies of the bottom of marine areas**

Ключевые слова: морское дно, отложения, техногенные фации, экогеологические характеристики, признаки

Для морских акваторий выделены техногенные фации, классификация которых базируется на определении доминирующего фациального признака и последующего введения в фациальную формулу остальных признаков, ранжированных по их техногенной значимости.

Дальнейшее изучение процессов техногенеза и его влияния на экосистемы требует определения некоторой основополагающей базы. В качестве такой базы нам представляется целесообразным выбрать фациальную основу. Под техногенной фацией нами понимается «обстановка мобилизации переноса и накопления техногенных веществ любых генетических типов» [1].

При определении типов техногенных фаций можно использовать разнообразие характеристики морской среды, так или иначе связанные с антропогенным воздействием на нее [2–4].

В число таких характеристик следует включить:

инженерно-геологические (плотность донных отложений, скорость погружения объекта в донные отложения и т.д.);

гидрофизические;

гидрохимические;

потенциальные поля;

геокриологические.

По каждому типу можно выделить группы:

по мобилизационным провинциям;

по положению на шельфе;

по глубине моря;

по составу донных отложений.

Этот список может быть продолжен.

Для морских акваторий, по-видимому, целесообразно выделить типы источников поступления техногенного материала: первичные или вторичные, расположенные на суше и существующие или образовавшиеся на море. В первом случае мы имеем дело с различными видами наземных производств, хозяйственной и бытовой деятельностью поселков, городов, сельским хозяйством, лесной промышленностью, поставляющими на шельф широкий спектр поллютантов в разных их соотношениях. Во втором случае - поступление поллютантов связано с разработкой морских месторождений твердых полезных ископаемых, с переотложением и вторичным переносом накопленных на дне загрязняющих веществ, как поступивших с суши, так и обязанных своим возникновением различным потенциально опасным объектам, расположенным на дне.

В современной литературе существует определенная непоследовательность в «геологической» классификации фаций шельфа. В первую очередь она выражена в смешении разнородных понятий, придании принципиально разным номинациям одинакового классификационного статуса. Так, например, в «Справочнике по литологии» [1] в одну группу объединены географические (прибрежной зоны, мелководной зоны, средних зон шельфа, умеренно-глубоководные и т.п.) и гидрофизические (донных течений) типы фаций.

Мы считаем нецелесообразным неограниченное увеличение фациального ряда. Выделение в пределах одной географической зоны десятков современных фаций делает такую классификацию непригодной к практическому использованию, а, следовательно, бессмысленной. Правильнее классифицировать техногенные фации, основываясь на их доминирующей характеристике, дополняемой остальными, менее значимыми характеристиками. Исходя из этого, можно прийти к некоторой фациальной формуле, позволяющей достаточно детально представить как современное состояние той или иной части акватории шельфа, так и моделировать его изменения в близком или относительно далеком будущем.

Экодинамические процессы, определяющие накопление и перенос техногенного материала, как поступающего с суши, так и имеющего морское происхождение, обусловлены режимом течений и влиянием потенциальных полей. Их генезис рассматривался нами ранее [3]. Экодинамические процессы (Эп) можно подразделить на: активные – Эп1, умеренные – Эп2 и слабые – Эп3. Соответственно могут быть выделены области активного накопления материала или активного его переноса. К вышеуказанному индексу добавим индекс, обозначающий характер процесса: Эп2а - аккумуляция; Эп2п – перенос.

К настоящему времени определены основные группы загрязнителей, связанные с углеводородными месторождениями. Назовем их углеводородные загрязнители (Уз). Ранее в опубликованных и фондовых

источниках приводились данные, характеризующие существующий ряд таких загрязнителей, но не объединенные в группы [3, 5–9].

На основании группирования можно дать классификацию таких загрязнителей по ассоциации тяжелых металлов: особо опасные – Уз1 (в группу входят: Co, As, Mn, Ba, Sr, B); опасные – Уз2 (в группу входят: Be, As, Zn, Mn, Pb, Mo, Sn, Si); стабильные фоновые – Уз3 (в группу входят: Fe, Ni, Cr, Cd, V); естественная ассоциация элементов, являющаяся показателем хорошей экологической обстановки (в группу-ассоциацию входят: As, Zn, Mr, Pb).

С углеводородными месторождениями на разных стадиях их освоения связаны также опасные физические явления: просадки донной поверхности, изменение температурного режима. Могут быть выделены соответствующие техногенные фации.

Разработка морских россыпей приводит в первую очередь к возникновению дефицита ряда элементов, находящихся в естественных парагенезисах. Кроме того, их разработка приводит к изменению физических характеристик среды, в т.ч. существенному физическому нарушению всего придонного слоя отложений.

Техногенные факторы, связанные с разработкой строительных материалов, весьма разнообразны и затрагивают геохимическую, экодинамическую, биогенную составляющие экосистемы. В числе процессов, формирующих фациальные особенности, следует указать: активное замутнение морской воды, изменение биоразнообразия, возникновение несвойственных естественным условиям ассоциаций элементов, изменение экодинамических, гидрофизических и гидрогеохимических характеристик. В рамках индексации можно, вероятно, выделить ряд соответствующих номинаций.

В индексированном виде техногенные фации, образовавшиеся в зонах разработки морских месторождений строительных материалов, могут быть подразделены на: Стпм (повышенной мутности); Стмм (малой мутности); Ствм (высокой мутности). Ствбн (высокого нарушения биогенного состояния экосистемы); Стнбн (низкого нарушения биоразнообразия), Ствмх (высокого нарушения механических характеристик); Стсмх (слабого нарушения механических характеристик), где аббревиатура (Ст) означает – фации строительных материалов техногенные.

Следует отметить также роль техногенных фаций, связанных с разработкой месторождений строительных материалов, в создании новых техногенных физико-химических барьеров как горизонтальных, так и вертикальных.

Морские техногенные фации (Тф) индексируются следующим образом: сформированные за счет материала, поступающего с суши – Тфмс, сформированные за счет первичных и вторичных процессов на море – Тфмм и за счет суммарного эффекта обоих процессов – Тфмо.

По типу техногенных объектов, расположенных на дне, мы выделяем: фации особо опасных объектов – зоны затопления химических отходов (включая радиоактивные); фации повышенной опасности – снаряды с химическим оружием; малоопасные – затонувшие корабли, подводные сооружения; неопасные – брошенные на дне остатки кабелей и т.п.

В последнее время западные исследователи [5–9] проводят большую работу по систематизации основных видов химических загрязнений. Принятое ими деление на 4 или 5 основных групп загрязнителей может быть использовано при фациальных построениях. В этом случае мы выделим фации химических загрязнений Хгз, индексировав их по 4 группам.

Расположенные в береговой зоне или в непосредственной близости от нее сельскохозяйственные угодья; бумажные, химические, деревообделочные комбинаты поставляют в акваторию шельфа определенные группы загрязнителей, среди которых преобладают органические соединения, вступающие в реакции с тяжелыми металлами и создающие тем самым весьма опасные группы вторичных загрязнителей. Они также могут быть введены в классификацию техногенных фаций и соответственно индексированы. При этом можно детально рассмотреть соответствующие геохимические ассоциации или ограничиться индексацией, основанной на их генетической природе. Нам представляется правильным использование дифференциации по причинному принципу. Например, фации, возникновение которых обусловлено воздействием прибрежного сельскохозяйственного комплекса – Фтс; бумажного комбината – Фтбк и т.д.

Классификация должна также содержать элемент прогноза возможного техногенного воздействия в будущем, т.к. на любой, даже не содержащей полезных ископаемых акватории может производиться строительство продуктопроводов или зон складирования отходов. Трансрегиональный вынос химических компонентов через речные сети или воздушным путем создает на морском дне области их накопления; высокая скорость сорбции тяжелых металлов тонкими осадками делает потенциально опасными огромные территории морского дна, а процессы его трансформации обеспечивают возникновение вторичных полей загрязнения и т.д. Классификация техногенных фаций делается на основании выделения доминирующего фациального признака и последующего введения в формулу остальных, ранжированных авторами произвольно. Формула может выглядеть например так: Эп2а Уз2 Стмм Ствбн Ствмх Тфмо, где: Эп2а- умеренные эодинамические процессы, Уз2 – опасные загрязнители (в группу входят: Be, As, Zn, Mn, Pb, Mo, Sn, Cu), Стмм – малая мутность, обусловленная разработкой строительных материалов, Ствбн – высокое нарушение биогенного состояния экосистемы, Ствмх – высокое нарушение механических характеристик отложений, Тфмо – сумма 2-х процессов:

поступление материала с суши + преобразования донных отложений.

Важнейшим приложением предлагаемой классификации является принципиально новая методика в построении экогеологических карт. Сейчас при построении морских экогеологических карт доминируют авторские подходы. Примерами являются геоэкологические атласы, созданные и частично опубликованные в последние годы: Атлас геоэкологических карт Баренцева моря; Геоэкологический атлас восточной части Финского залива; Геоэкологическим атлас участков прибрежно-шельфовой зоны Белого, Баренцева, Карского морей и др. Создаются специализированные геоэкологические карты моно-, или полиэлементного загрязнения, опасных геоэкологических процессов (обычно подразделенных на экзо- и эндогенные); экогеодинамические и т.п. Делаются попытки оценить устойчивость шельфовых экосистем к техногенным воздействиям или ранжировать геоэкологическую обстановку в системе условных баллов. Все эти варианты картографирования, на наш взгляд, не решают основной задачи – многофункционального отражения геоэкологической информации в виде соответствующей модели – экогеологической карты.

Основываясь на фациальном подходе к экогеологической проблеме и полученном за последнее десятилетие фактическом материале, позволяющем группировать необходимые характеристики, мы обосновали построение ряда многослойных ГИС-карт техногенных фаций. Представляется, что данный вариант построения позволяет решить проблему экогеологического картирования на шельфе.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Справочник по литологии. М., Недра, 1983. 435 с.
2. Опекунов А. Ю., Холмянский М.А. Естественные электрические поля и процессы техноседиментогенеза в формировании современных донных отложений водных объектов северо-западного региона // Российский геофизический журнал. 2000. Вып. 17–18. С. 42–54.
3. Опекунов А.Ю., Холмянский М.А., Куриленко В.В. Введение в экогеологию шельфа. СПб.: СПб ГУ, 2000.170 с.
4. Холмянский М.А. Техногенные фации морских акваторий // Школа экологической геологии и рационального недропользования. СПб.: СПб ГУ, 2005. С. 24–31.
5. Allsopp O., Erry B., Santillo D., Johnston P. POPs in the Baltic // A review of organic pollutants in the Baltic Sea. Keln, 2001. 90 p.
6. ECB 2000: European Union Risk Assessment // Report CAS № 85535-84-8. 2000. 32 p.
7. ECB 2001: European Union Risk Assessment // Report CAS № 117-81-7. 2001. 43 p.
8. ECB 2002: European Union Risk Assessment // Report CAS № 85535-84-9. 2002. 38 p.
9. Clean Baltic within Reach? // Solna, WWF. 2004. 71 p.

Technological facies are defined for the marine waters, the classification of which is based on the definition of the dominant facies feature and the subsequent introduction of other features ranked according to their technogenic significance in the facial formula.