



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



Материалы
XXIII
Международной
научной
конференции
(Школы)
по морской
геологии

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Том III

Москва
2019



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

**ГЕОЛОГИЯ
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

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

Москва, 18–22 ноября 2019 г.

Том III

**GEOLOGY
OF SEAS AND OCEANS**

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

Moscow, November 18–22, 2019

Volume III

Москва / Moscow
ИО РАН / IO RAS
2019

ББК 26.221

Г35

УДК 551.35

DOI:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3

Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: ИО РАН, 2019. – 306 с. DOI:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3.

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 III рассмотрены проблемы изучения рассеянного осадочного вещества геосфер, а также исследований по проблемам «Система Белого моря» и «Система Каспийского и Аральского морей».

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. III. – Moscow: IO RAS, 2019. –306 pp. doi:10.29006/978-5-9901449-7-2.ICMG-2019-3.

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 III includes reports devoted to the problems of investigations of dispersed sedimentary matter in geospheres, and the investigations on problems “White Sea system” and “Caspian and Aral seas system”.

Chief Editor

Academician A.P. Lisitzin

Editors Dr. N.V. Politova, Dr. V.P. Shevchenko

ISBN 978-5-9901449-7-2

ББК 26.221

© ИО РАН 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Рассеянное осадочное вещество геосфер

<i>Виноградова А.А., Котова Е.И., Иванова Ю.А.</i> Поступление загрязнений из атмосферы на поверхность Баренцева моря: тяжелые металлы и черный углерод	15
<i>Вологина Е.Г., Штурм М., Буднев Н.М.</i> Результаты экспериментов с седиментационными ловушками в Южном Байкале с марта 2013 г. по март 2015 г.	20
<i>Герасимова М.В., Митяев М.В.</i> Нерастворимые аэрозоли в свежеснеговом снеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018 г.	25
<i>Гурский Ю.Н., Сеницына В.В.</i> Пробоотборник для получения иловой воды из донных осадков <i>in situ</i>	30
<i>Дорохова Е.В.</i> Литодинамика прибрежной зоны Юго-Восточной Балтики (Российский сектор)	35
<i>Карнаухова Г.А.</i> Становление состава донных отложений в барьерных зонах Ангарских водохранилищ при управляемом уровненом режиме	39
<i>Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Баранов Б.В., Немировская И.А., Коченкова А.И.</i> Комплексные исследования седиментационной системы Западной Арктики в 75-рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в июне 2019 г.	44
<i>Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Лисицын А.П.</i> Вертикальные потоки осадочного вещества в Черном море	49
<i>Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Коченкова А.И.</i> Вертикальные потоки осадочного вещества в Лофотенской котловине Норвежского моря по данным АГОС 2017–2018 гг.	54
<i>Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Колтовская Е.В., Коченкова А.И.</i> Исследования потоков осадочного вещества на многолетнем трансокеаническом разрезе в зоне взаимодействия Северной Атлантики и прилегающей Арктики	59
<i>Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Лисицын А.П.</i> Гранулометрический состав и концентрация взвеси Баренцева моря в июле 2019 г.: первые данные измерений <i>in situ</i> анализатора частиц LISST-Deer	64

<i>Немировская И.А., Коновалов Б.В., Завьялов П.О., Онегина В.Д., Халиков И.С.</i> Загрязненность нефтью Российского сектора Черного моря	70
<i>Поповичева О.Б., Иванов А.С., Кобелев В.О.</i> Состав и распределение осажденного вещества по индустриальному и арктическим районам ЯНАО (водосбор Карского моря)	75
<i>Сафарова С.А.</i> Характеристика аэрозольных проблем и их решение	80
<i>Серебряный А.Н., Тарасов Л.Л., Кенигсбергер Г.В.</i> Вброс взвешенного вещества рекой Кодор на шельф Черного моря по данным ADCP	85
<i>Стародымова Д.П., Коченкова А.И., Клювиткин А.А., Новигатский А.Н.</i> Микроэлементный состав рассеянного осадочного вещества Лофотенской котловины (Норвежское море)	90
<i>Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Субетто Д.А., Белкина Н.А.</i> Особенности распределения редкоземельных элементов в современных голоценовых донных отложениях и плейстоценовых ленточных глинах Онежского озера	95
<i>Топчая В.Ю.</i> О сезонном изменении состава рассеянного вещества атмосферы, поступающего в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря	100
<i>Шевченко В.П., Белоруков С.К., Боев А.Г., Коробов В.Б., Лохов А.С., Стародымова Д.П., Яковлев А.Е.</i> Рассеянное осадочное вещество в снежном покрове водосбора Двинского залива Белого моря в марте 2019 г.	104

Система Белого моря, 4-D исследования

<i>Быкова Е.А., Лабунская Е.А., Краснова Е.Д., Чергинцев Д.А., Мамедова Д.Ф., Дьякова А.Р., Лунькова М.К., Вишневская А.И., Воронов Д.А.</i> Метод оценки плотности микроводорослей рода <i>Rhodomonas</i> в меромиктическом водоеме (лагуне на Зеленом мысе) в окрестностях Беломорской биостанции МГУ	110
<i>Вахрамеева Е.А., Кокрятская Н.М.</i> Гранулометрический состав донных отложений меромиктических озер (бассейн Белого моря)	115
<i>Гордеев В.В., Алексеева Т.Н., Коченкова А.И., Боев А.Г., Дара О.М., Лохов А.С., Белоруков С.К.</i> Сезонные вариации гранулометрического состава взвеси нижнего течения реки Северная Двина	119

- Емельянцева П.С., Воронов Д.А., Ермолаев Н.А., Жильцова А.А., Краснова Е.Д., Харитонов Д.А., Пацаева С.В.* Особенности распределения бактериохлорофилла по глубине в оз. Еловом (Белое море, Кандалакшский залив) в сентябре 2019 года 123
- Иглин С.М.* Сравнительная оценка заносимости каналов и размыва морского дна в устьевой области реки Северная Двина 128
- Иглин С.М., Лецев А.В.* Литодинамические процессы на акватории Кузнечевской протоки в зоне впадения протоки Большой Двинки и р. Ваганихи в устьевой области р. Северной Двины 132
- Колька В.В., Корсакова О.П., Толстобров Д.С., Лаврова Н.Б., Шелехова Т.С., Толстоброва А.Н.* Остров Олений (Кандалакшский залив Белого моря) как важный объект изучения блоковых неотектонических движений 137
- Коробов В.Б., Панченко Е.Д., Алабян А.М.* Типизация устьевых областей малых рек западного сектора Российской Арктики: постановка задачи 142
- Королева А.О., Шварев С.В., Никонов А.А.* Применение геолого-геоморфологических и геофизических методов в изучении Кандалакшского грабена (Западное Беломорье) 147
- Котова Е.И., Коробов В.Б.* Оценка степени влияния различных факторов на состав снежного покрова АЗРФ 152
- Коченкова А.И., Лохов А.С.* Сезонное распределение взвеси в устьевой области реки Северная Двина в 2018 г. 156
- Краснова Е.Д., Воронов Д.А.* Как формируется заглубленный максимум температуры в беломорских меромиктических водоёмах? 160
- Краснова Е.Д., Воронов Д.А.* Подводное меромиктическое озеро в бухте Биофильтров (Белое море, Кандалакшский залив, окрестности Беломорской биостанции МГУ) 165
- Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М.* Геохимия серы в озере Трехцветном (Кандалакшский залив Белого моря) 170
- Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М., Василенко А.Н., Воронов Д.А., Ефимов В.А., Краснова Е.Д.* Прогрессирующее сероводородное заражение озера Могильного по данным экспедиции 2019 года 175
- Лохов А.С., Мискевич И.В.* Моделирование аварийных разливов нефти в зонах приливных осушек Белого моря. 179

<i>Махнович Н.М.</i> Пространственное распределение макрозообентоса на осушках устья реки Тамицы (бассейн Белого моря)	184
<i>Мискевич И.В.</i> Особенности формирования гидролого-гидрохимического режима устьев рек Белого моря в зимний период	188
<i>Мискевич И.В.</i> Характеристика влияния приливов на мутность вод устьев рек Белого моря	193
<i>Мискевич И.В., Чульцова А.Л.</i> Оценка содержания общего азота и общего фосфора в растворимой форме в устьях малых рек Белого моря	198
<i>Мосеев Д.С.</i> Динамика развития маршей на юге Онежского залива Белого моря под влиянием галофитной растительности (на примере эстуария р. Кянда)	202
<i>Нецветаева О.П.</i> Межгодовая динамика кислородонасыщения вод Белого моря в изменяющихся условиях окружающей среды по данным многолетних наблюдений	207
<i>Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А., Зарецкая Н.Е., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А., Шилова О.С., Беличенко А.Е., Архипов В.В., Яковлева А.П.</i> Динамика западного берега Унской губы (Летний берег Белого моря) в голоцене и его заселение	212
<i>Ружникова Н.Н., Мискевич И.В.</i> Оценка роли малых рек в геохимических процессах Белого моря	217
<i>Савенко А.В., Савенко В.С., Покровский О.С.</i> Распространенность растворенных микроэлементов в водах рек Российской Арктики	222
<i>Толстиков А.В., Чернов И.А., Яковлев Н.Г.</i> Численное моделирование обмена веществом и энергией между районами Белого моря	227
<i>Чеканов К.А., Краснова Е.Д.</i> Характеристики фотосинтетического аппарата криптофитовых жгутиконосцев <i>Rhodomonas</i> sp. из хемоклина стратифицированной лагуны на Зеленом мысе (Белое море, Кандалакшский залив)	232
<i>Чупаков А.В., Покровский О.С., Морева О.Ю., Широкова Л.С., Неверова Н.В., Чупакова А.А., Котова Е.И., Воробьева Т.Я.</i> Сезонное распределение стока растворённого углерода, биогенных элементов и металлов в Белое море на примере реки Северная Двина	235

<i>Шилова О.С.</i> Особенности формирования диатомовых ассоциаций в осадках отделяющихся от моря водоемов Карельского берега Белого моря	240
--	-----

**Система Каспийского и Аральского морей,
4-D исследования**

<i>Амбросимов А.К.</i> О процессе образования осадочных волн на западном склоне Каспийского моря	246
<i>Амбросимов А.К.</i> Субмаринная разгрузка подземных вод из недр Каспийского моря	251
<i>Батурин Г.Н.</i> Элизионные образования в пределах Среднего Прикаспия	256
<i>Ковалев В.В.</i> Тектоногеофизическая модель короткопериодических изменений уровня Каспийского моря	261
<i>Путанс В.А., Мерклин Л.Р., Иванов А.Ю., Амбросимов А.К.</i> Признаки флюидодинамической активности на Северном и Среднем Каспии	266
<i>Романько А.Е., Имамвердиев Н.А., Прокофьев В.Ю., Викентьев И.В., Рашиди Б., Хейдари М., Савичев А.Т., Полещук А.В.</i> Тектономагматические особенности нескольких структур востока Ирана и юга Каспийского моря, некоторые данные по углеводородам (УВ) и проблемы	271
<i>Свиточ А.А., Янина Т.А.</i> Каспийские моллюски в неоплейстоцене Черного моря	276
<i>Янина Т., Сорокин В., Безродных Ю., Романюк Б.</i> Новокаспийская трансгрессия Каспийского моря (по материалам бурения)	280
<i>Amrahov R.R., Amrahova S.A., Mammadova X.R., Kerimova N.T., Shiraliyeva S.F.</i> Structure of the South Caspian uplift of the basement	284
<i>Gerivani H., Putans V., Ivanov A.</i> Hydrocarbon fluid seepage controlled by active tectonic: Observations in the Derbent Basin of the Caspian Sea	287
<i>Jamshidi S.</i> Summary Results of the Oceanographic Cruises in the Southern Boundary of the Caspian Sea	292

<i>Lahijani H.A.K., Naderi A. South Caspian Deep Sedimentation during Late Pleistocene and Holocene</i>	298
<i>Svitoch A.A., Yanina T.A., Khoshnavan H. The Caspian Sea during the Anthropocene</i>	299
<i>Yanina T., Svitoch A., Sorokin V., Semikolennykh D., Konstantinova N. The Caspian – Black Sea – Mediterranean Corridor: Water exchange and formation of a biodiversity during the Late Pleistocene</i>	302

CONTENTS

Dispersed sedimentary matter in geospheres

<i>Vinogradova A.A., Kotova E.I., Ivanova Yu.A.</i> Pollution inflow from the atmosphere onto the surface of the Barents Sea: heavy metals and black carbon	15
<i>Vologina E.G., Sturm M., Budnev N.M.</i> The results of experiments with sediment traps in the South Baikal from March 2013 to March 2015	20
<i>Gerasimova M.V., Mityaev M.V.</i> Insoluble aerosols in fresh snow in the north-west of the Kola Peninsula in 2018	25
<i>Gursky Yu.N., Sinitsyna V.V.</i> Sampler for separation of sludge water from bottom sediments in situ	30
<i>Dorokhova E.V.</i> Lithodynamic of the near-shore zone of the South-Eastern Baltic Sea (Russian sector)	35
<i>Karnaukhova G. A.</i> The formation of bottom sediments in the barrier zones in the Angara reservoirs with managed water level mode	39
<i>Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Baranov B.V., Nemirovskaya I.A., Kochenkova A.I.</i> Comprehensive studies of sediment system of the Western Arctic during 75 th cruise of the RV Akademik Mstislav Keldysh in June 2019	44
<i>Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Lisitzin A.P.</i> Vertical particle fluxes in the Black Sea	49
<i>Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N., Kochenkova A.I.</i> Vertical particle fluxes in the Lofoten Basin of the Norwegian Sea according to ADOS data of 2017–2018	54
<i>Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Politova N.V., Koltovskaya E.V., Kochenkova A.I.</i> Vertical particle flux studies along multiyear transoceanic section in Northern Atlantic and Arctic interaction area	59
<i>Lokhov A.S., Kravchishina M. D., Klyuvitkin A.A., Lisitzin A.P.</i> Grain size and concentration of suspended particulate matter in June 2019: first <i>in situ</i> data by particle size analyzer LISST-Deep	64

<i>Nemirovskaya I.A., Konovalov B.V., Zavialov P.V., Onegina V.D., Khalikov I.S.</i> Oil pollution in the Russian Black Sea sector	70
<i>Popovicheva O.B., Ivanov A.S., Kobelev V.O.</i> Composition and distribution of deposited particulate in snow coverage over industrial and arctic regions of YNAO (Kara sea basin)	75
<i>Safarova S.A.</i> Characterization of aerosol problems and their solution	80
<i>Serebryany A.N., Tarasov L.L., Kenigsberger G.V.</i> Discharge of suspended matter by the Kodor River to the Black Sea shelf according to ADCP data	85
<i>Starodymova D.P., Kochenkova A.I., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N.</i> Trace-element composition of dispersed sedimentary matter of Lofoten Basin (Norwegian Sea)	90
<i>Strakhovenko V.D., Ovdina E.A., Subetto D.A., Belkina N.A.</i> Peculiarities of Rare-Earth Distribution in the Modern Bottom Sediments and varvers clay of the Lake Onega	95
<i>Topchaya V.Yu.</i> Seasonal changes in the composition of atmospheric aerosol matter entering the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea	100
<i>Shevchenko V.P., Belorukov S.K., Boev A.G., Korobov V.B., Lokhov A.S., Starodymova D.P., Yakovlev A.Ye.</i> Dispersed sedimentary matter in snow cover of catchment area of Dvinsky Bay of the White Sea in March 2019	104
White Sea System, 4-D investigations	
<i>Bykova E.A., Labunskaya E.A., Krasnova E.D., Chergintcev D.A., Mamedova D. F., Dyakova A. R., Lunkova M. K., Vishnevskaya A.I.</i> Method of estimation of Rhodomonas sp. microalgae density in a meromictic lake (a lagoon on the Cape Zeleny) in the vicinity of the White Sea Biological Station of MSU	110
<i>Vakhrameeva E.A., Kokryatskaya N.M.</i> The granulometric composition of the bottom sediments of the meromictic lakes (White Sea basin)	115
<i>Gordeev V.V., Alekseeva T.N., Kochenkova A.I., Boyev A.G., Dara O.M., Lokhov A.S., Belorukov C.K.</i> Seasonal variations of grain-size composition of suspended matter of the lower Severnaya Dvina river	119

<i>Emeliantsev P.S., Voronov D.A., Ermolayev N.A., Zhiltsova A.A., Krasnova E.D., Kharitonov D.A., Patsaeva S.V.</i> The trait of depth bacteriochlorophyll distribution in lake Elovoe (Kandalaksha Bay, White Sea) in September 2019	123
<i>Iglin S.M.</i> Comparative assessment of sedimentation of channels and erosion of marine bottom in the estuarine area of the Northern Dvina River	128
<i>Iglin S.M., Leshchev A.V.</i> Lithodynamic processes in the water area of the Kuznechevskaya duct in the confluence zone of the Bolshaya Dvinka duct and the river Vaganikha in the Severnaya Dvina mouth zone	132
<i>Kolka V.V., Korsakova O.P., Tolstobrov D.S., Lavrova N.B., Shelekhova T.S., Tolstobrova A.N.</i> Oleniy Island (Kandaaksha Bay of the White Sea) as an important object for block neotectonic movements reserch	137
<i>Korobov V.B., Panchenko E.D., Alabyan A.M.</i> Typification of small estuaries in the western sector of Russian Arctic: statement of the problem	142
<i>Koroleva A.O., Shvarev S.V., Nikonov A.A.</i> The use of geological-geomorphological and geophysical methods in the study of the Kandalaksha graben (Western White Sea area)	147
<i>Kotova E.I., Korobov V.B.</i> Assessment of the degree of influence of various factors on the snow cover composition of the Russian Arctic	152
<i>Kochenkova A.I., Lohov A.S.</i> Seasonal distribution of a suspended matter in the mouth area of the Severnaya Dvina river to 2018	156
<i>Krasnova E.D., Voronov D.A.</i> How is a deep temperature maximum formed in the White Sea meromictic water bodies?	160
<i>Krasnova E.D., Voronov D.A.</i> Underwater meromictic lake in the Bay of Biofilters (White Sea, Kandalaksha Bay, surroundings of the White Sea Biological Station of Moscow State University)	165
<i>Losyuk G.N., Kokryatskaya N.M.</i> The geochemical cycle in the Lake Trekhtzvetnoe	170
<i>Losyuk G.N., Kokryatskaya N.M., Vasilenko A.N., Voronov D.A., Efimov V.A., Krasnova E.D.</i> Progressive hydrogen sulphide contamination of Lake Mogilnoe according to the expedition in 2019	175

<i>Lokhov A.S., Miskevich I.V.</i> Oil spill modeling in the foreshore area of White Sea.	179
<i>Makhnovich N.M.</i> Spatial distribution of macrozoobenthos on the drying zone of the Tamitsa estuary (White Sea basin)	184
<i>Miskevich I.V.</i> Features of the formation of hydrological and hydrochemical regime of the mouths of the rivers of the White Sea in winter	188
<i>Miskevich I.V.</i> Characteristics of the effect of tides on turbidity of the White Sea estuaries	193
<i>Miskevich I.V., Chultsova A.L.</i> Assessment of total nitrogen and total phosphorus in soluble form in the mouths of small rivers of the White Sea	198
<i>Moseev D.S.</i> Dynamics of development of the marshes in the south Onega Bay of the White Sea under the influence of the halophytic vegetation (for example, Kyanda estuary)	202
<i>Netsvetaeva O.P.</i> Interannual dynamics of the oxygen saturation of the White Sea waters depending on changing environmental conditions according to long-term observations	207
<i>Repkina T.Yu., Romanenko F.A., Zaretskaya N.E., Kublitskiy Y.A., Leontev P.A., Shilova O.S., Belichenko A.E., Arkhipov V.V., Yakovleva A.P.</i> Dynamics of the west coast of the Unska Bay (Letniy coast of the White Sea) and its settling in the Holocene	212
<i>Ruzhnikova N.N., Miskevich I.V.</i> Assessment of the role of small rivers in the geochemical processes of the White Sea	217
<i>Savenko A.V., Savenko V.S., Pokrovsky O.S.</i> Abundance of dissolved trace elements in the river waters of the Russian Arctic	222
<i>Tolstikov A.V., Chernov I.A., Iakovlev N.G.</i> Numerical modeling of matter and energy exchange for subregions of the White Sea	227
<i>Chekanov K.A., Krasnova E.D.</i> Characteristics of the photosynthetic apparatus of cryptophyte flagellates <i>Rhodomonas</i> sp. from the chemocline of a stratified lagoon at the cape Zeleny (White Sea, Kandalaksha Bay)	232
<i>Chupakov A.V., Pokrovsky O.S., Moreva O.Y., Shirokova L.S., Neverova N.V., Chupakova A.A., Kotova E.I., Vorobyeva T.Y.</i> Seasonal distribution of the flow of dissolved carbon, nutrients and metals into the White Sea as exemplified by the Severnaya Dvina River	235

Shilova O.S. Features of diatom associations in sediments of lakes separating from the sea, Karelian Coast, White Sea 240

Caspian and Aral seas System, 4-D investigations

Ambrosimov A.K. On the formation of sedimentary waves on the western slope of the Caspian Sea 246

Ambrosimov A.K. Submarine discharge of groundwater from the bowels of the Caspian Sea 251

Baturin G.N. Elision formations in the Middle Caspian Region 256

Kovalev V.V. Tectonic-geophysical model of short periodic changes of Caspian Sea level 261

Putans V.A., Merklin L.R., Ivanov A.Yu., Ambrosimov A.K. Signs of fluid dynamic activity on North and Central Caspy 266

Romanko A.E., Imamverdiyev N.A., Prokof'ev V.Yu., Vikentev I.V., Rashidi B., Heidari M., Savichev A.T., Poleshchuk A. V. Tectonic-magmatic peculiarities of several structures in east Iran and south Caspian Sea. Middle East, some data on hydrocarbons (oil, gas), and discussion 271

Svitoch A.A., Yanina T.A. Caspian mollusks in the Neopleistocene of the Black Sea 276

Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., Romanyuk B. Novocaspian transgression in the Caspian Sea (on the drilling materials) 280

Amrahov R.R., Amrahova S.A., Mammadova X.R., Kerimova N.T., Shiraliyeva S.F. Structure of the South Caspian uplift of the basement 284

Gerivani H., Putans V., Ivanov A. Hydrocarbon fluid seepage controlled by active tectonic: Observations in the Derbent Basin of the Caspian Sea 287

Jamshidi S. Summary Results of the Oceanographic Cruises in the Southern Boundary of the Caspian Sea 292

Lahijani H.A.K., Naderi A. South Caspian Deep Sedimentation during Late Pleistocene and Holocene 298

Svitoch A.A., Yanina T.A., Khoshhravan H. *The Caspian Sea during the Anthropocene* 299

Yanina T., Svitoch A., Sorokin V., Semikolennykh D., Konstantinova N. The Caspian - Black Sea – Mediterranean Corridor: Water exchange and formation of a biodiversity during the Late Pleistocene 302

**РАССЕЯННОЕ ОСАДОЧНОЕ
ВЕЩЕСТВО ГЕОСФЕР**

**DISPERSED SEDIMENTARY
MATTER IN GEOSPHERES**

Виноградова А.А.¹, Котова Е.И.², Иванова Ю.А.¹

(¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, e-mail: anvinograd@yandex.ru; ²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail: esorp@yandex.ru)

Поступление загрязнений из атмосферы на поверхность

Баренцева моря: тяжелые металлы и черный углерод

Vinogradova A.A.¹, Kotova E.I.², Ivanova Yu.A.¹

(¹A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow; ²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk)

Pollution inflow from the atmosphere onto the surface of the

Barents Sea: heavy metals and black carbon

Ключевые слова: Баренцево море, загрязнение, поток из атмосферы, тяжелые металлы, черный углерод

Оценены средние (за 2010-2015 гг.) потоки тяжелых металлов и черного углерода на поверхность Баренцева моря. Для Pb и Cd учтен вклад стран зарубежной Европы и ветрового поднятия пыли и почвенных частиц. Обсуждаются сезонные и пространственные вариации потоков загрязнений из атмосферы в воды моря.

Введение. Состав вод морей формируется веществом, попадающим в воду в результате абразии берегов, приносимым водами морских, океанических течений и системы наземного стока, а также поступающим на поверхность моря из атмосферы. Арктика – регион Северного полушария, удаленный от основных мест проживания и активности человека и все же подверженный антропогенному воздействию. Микроэлементы (в частности, тяжелые металлы – ТМ) и черный углерод (black carbon – ВС) могут переноситься воздушными потоками на аэрозольных частицах субмикронного размера на расстояния в несколько тысяч километров. В результате, даже для арктических территорий оказывается значимым вынос антропогенных ТМ атмосферными потоками из районов их максимальных эмиссий в атмосферу (крупные города и промышленные комплексы средних и северных широт) [1]. Изменения радиационных свойств атмосферы за счет присутствия в ней ВС также регистрируются в Арктике в условиях современных климатических сдвигов на планете [2]. Для территорий, покрытых снегом и льдом в течение значительной части года, осаждение ВС на поверхность может менять ее альбедо и, следовательно, влиять на радиационные параметры и радиационный баланс системы атмосфера-поверхность.

Цель данной работы – оценить годовые потоки ТМ и ВС из атмосферы на поверхность Баренцева моря, рассмотреть их возможные сезонные и пространственные вариации.

Подходы и методы. Исходные данные – средняя (за 2010–2015 гг.) плотность годовых потоков тяжелых металлов Pb, Cd, As, Zn, Ni, Cr, Cu (по работам [3,4]) и ВС (оценки данной работы) для трех пунктов на побережье Баренцева моря: на Кольском п-ове (КП), на территории Ненецкого заповедника (НЗ) и на архипелаге Земля Франца-Иосифа (ЗФИ).

Методика оценок дальнего переноса воздушных масс и примесей на субмикронных аэрозолях подробно описана в [5]. Анализ дальнего переноса воздушных масс проводился по массивам траекторий, рассчитанных на сайте (<https://www.arl.noaa.gov/ready/HYSPLIT.php>) с помощью модели HYSPLIT4.

Тяжелые металлы. Расчеты концентраций ТМ в приземном слое атмосферы опирались на данные об антропогенных эмиссиях ТМ на территории России за 2010 год из [6]. Более свежие данные о выбросах ТМ в атмосферу в достаточном объеме в литературе отсутствуют.

При расчетах потоков ТМ из атмосферы на поверхность моря (ПМ) применялась методика, предложенная в [7]. Оценки выполнялись в предположении экспоненциального убывания потоков ТМ с юга на север. Полученные оценки приведены в табл. 1. Видно, что больше всего ТМ (кроме цинка) из атмосферы поступает в воды западной части Баренцева моря, цинком больше загрязнена восточная часть (см. подробнее [7]).

Таблица 1. Средние за 2010-2015 годы потоки ТМ из атмосферы на поверхность моря (ПМ) – по частям и суммарно (т/год)

Часть ПМ	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu
Запад	29	0,23	8,6	3,4	184	3,0	287
Восток	3,3	0,24	1,8	8,7	32	1,6	42
Середина	17	0,23	5,4	6,1	117	2,3	178
Сумма	50	0,70	16	18	333	6,9	507

Таблица 2. Средняя плотность потоков ТМ на единицу поверхности арктических морей России, кг/км²/год.

Море	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu
Баренцево	0,035	0,00049	0,011	0,013	0,23	0,0048	0,36
Белое	0,22	0,0040	0,083	0,18	0,80	0,13	1,4
Карское	0,0085	0,00016	0,0013	0,0069	0,17	0,0012	0,17
Лаптевых	0,0028	0,00004	0,00003	0,0001	0,06	0,00006	0,06

Сравнение плотностей потоков ТМ из атмосферы на поверхности четырех северных морей России можно сделать по данным табл. 2. Видно, что в результате атмосферного переноса больше всех загрязняется Белое море, которое расположено ближе к многочисленным источникам ТМ в

Европе. Баренцево море на втором месте в отношении загрязнения единицы площади поверхности тяжелыми металлами через атмосферу.

Другие источники ТМ. Находящиеся в приземной атмосфере тяжелые металлы имеют не только антропогенное происхождение, но входят в состав терригенного вещества и появляются в аэрозолях за счет ветрового поднятия и перевевания частиц почвы и пыли [8,9]. В воздухе над европейской территорией России концентрации ТМ ещё увеличиваются из-за трансграничного атмосферного переноса от источников стран зарубежной Европы (<http://www.msceast.org>) [10,11]. Используя данные ЕМЕР, выполнены расчеты поправок за счет этих процессов для потоков свинца и кадмия. В Баренцевом море они составили около 50% Pb для всей поверхности моря, заметно убывая с запада на восток, и в среднем около 40% Cd, увеличиваясь с запада на восток (рисунок).

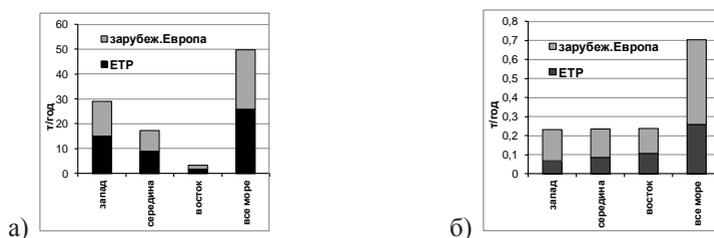


Рисунок. Вклады европейской территории России (ЕТР) и зарубежной Европы в потоки из атмосферы в воды Баренцева моря: а – свинец; б – кадмий.

Остальные рассматриваемые ТМ не изучаются в рамках программы ЕМЕР, для них исходные и полученные в данной работе оценки заведомо занижены, т.к. учитывают лишь антропогенные источники России.

Сравнение с составом морских вод. Считается, что воды сравнительно неглубокого (в среднем 200 м) Баренцева моря за зиму полностью перемешиваются за счет конвекции, а течениями обновляются за 1–2 года [12]. Оценки [7] показывают, что концентрации Cd, Ni и Cu, создаваемые в воде лишь атмосферными выпадениями, на несколько порядков ниже измеренных значений [13]. Даже в местах наибольшего загрязнения (вблизи Кольского п-ова) роль атмосферного канала в загрязнении вод моря мала.

Весной, в период таяния льдов, в воды моря попадает все вещество, накопленное за зимний период во льду и в снеге на его поверхности. В предположении, что поверхностный слой воды равен 20 м, а время таяния льда 1 месяц, в весенний месяц таяния льда концентрации рассматриваемых ТМ в воде вблизи рассматриваемых пунктов должны быть в 2–10 (среднее 8) раз выше, чем расчетные среднегодовые значения. Весной вблизи побережья Кольского п-ова возможно повышение вклада атмосферы в концентрации

Ni и Cu в морской воде до 4,5% и 3,5%, соответственно, по сравнению со средними (по всему морю) концентрациями этих металлов в воде. Однако вблизи Кольского побережья измеренные концентрации этих элементов тоже заметно выше средних, и относительный вклад атмосферного канала все равно невелик.

Черный углерод. Величины концентрации BC в приповерхностном слое атмосферы получены с сайта (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) реанализа спутниковой информации MERRA-2 (v.5.12.4). Оценивать поток BC в воды моря в целом за год смысла не имеет, поскольку эта характеристика особенно интересна для случая высокого альбеда поверхности (снег, лёд) – с точки зрения изменения отражающей способности поверхности при осаждении поглощающего BC и влияния на радиационные характеристики в системе атмосфера-поверхность. Расчеты потоков черного углерода для районов КП, НЗ и ЗФИ на основе данных спутниковой информации выполнялись для января и апреля (табл. 3).

Таблица 3. Первичные данные и результаты по черному углероду: [BC] – средняя концентрация BC в приземном воздухе, K – скорость осаждения на поверхность из [5], F – рассчитанная плотность потока BC на единицу поверхности.

Место, месяц Параметр	КП		НЗ		ЗФИ	
	Январь	Апрель	Январь	Апрель	Январь	Апрель
[BC], нг/м ³	115	71	90	66	35	34
K, см/с	0,16	0,87	0,09	0,11	0,09	0,11
F, мг/м ² /мес	0,47	1,6	0,21	0,19	0,08	0,1

Потоки BC на поверхность в окрестности КП высоки, причем в апреле выше (больше дождей), чем в январе. Удаленный район ЗФИ меньше загрязнен черным углеродом, как и тяжелыми металлами [3,4]. Плотность потока BC на поверхность примерно в 10 раз меньше в северной части моря, чем южной.

Работа выполнена в рамках госзадания (тема «Мировой океан») и при частичной поддержке РФФИ (грант № 17-05-00245).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. AMAP Assessment report: Arctic pollution issues. Oslo, Norway: AMAP, 1998. 859 p.
2. AMAP Assessment report: Black carbon and ozone as Arctic climate forcers. Oslo, Norway: AMAP, 2015. 116 p.
3. 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.
4. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Перенос воздушных масс и загрязнений к арктическим островам России (1986–2016): долговременные, межгодовые и сезонные вариации // Геофизические процессы и биосфера. 2017. Т. 16. № 4. С. 5–20.
 5. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 4. С. 5–20.
 6. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / А.Ю. Недре (ред.). СПб: НИИ Атмосфера, 2011. 560 с.
 7. Виноградова А.А., Котова Е.И. Загрязнение северных морей России тяжёлыми металлами: поток из атмосферы и речной сток // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18. № 1. С. 22–32.
 8. Travnikov O., Ilyin I., Rozovskaya O., Varygina M., Aas W., Uggerud H.T., Mareckova K., Wankmueller R. Long-term Changes of Heavy Metal Transboundary Pollution of the Environment (1990-2010) // EMEP Status Report 2/2012. 63 p.
 9. Ilyin I., Rozovskaya O., Travnikov O., Varygina M., Aas W. Heavy Metals: Transboundary Pollution of the Environment // EMEP Status Report 2/2014. MSC-E&CCC, 2014. 71 p.
 10. Виноградова А.А. Потоки свинца и кадмия из атмосферы на поверхность на европейской территории России – по данным международной программы *ЕМЕР* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12. С. 111–115.
 11. Виноградова А.А., Котова Е.И. Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России // Живые и биокосные системы. 2018. № 23; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-23/article-2>.
 12. Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г. и др. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: ПИНРО, 2016. 260 с.
 13. Новиков М.А., Драганов Д.М. Комплексный методический подход к определению фоновых значений содержания микроэлементов в водных массах Баренцева моря на примере Cd, Co, Cu и Ni // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. Вып. 34. № 2. С. 37–48.

The inflows (averaged through 2010-2015) of heavy metals and black carbon onto the Barents Sea surface were estimated. For Pb and Cd, the results take into account emissions from the territory of foreign Europe and from the process of wind-blowing dust and soil particles. Seasonal and spatial variations in pollution inflows from the atmosphere to the sea water are discussed.

Вологина Е.Г.¹, Штурм М.², Буднев Н.М.³

(¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, e-mail: vologina@crust.irk.ru;

²Швейцарский федеральный институт науки и технологии окружающей среды, г. Дюбендорф, e-mail: Michael.Sturm@emeriti.eawag.ch; НИИ прикладной физики, ИГУ, г. Иркутск, e-mail: nbudnev@api.isu.ru)

Результаты экспериментов с седиментационными ловушками в Южном Байкале с марта 2013 г. по март 2015 г.

Vologina E.G.¹, Sturm M.², Budnev N.M.³

(¹Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk; ²Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf; ³Applied Physics Institute, Irkutsk State University, Irkutsk)

The results of experiments with sediment traps in the South Baikal from March 2013 to March 2015

Ключевые слова: озеро Байкал, современное осадконакопление, седиментационные ловушки, потоки вещества, диатомеи, терригенный материал.

Детально исследованы потоки осадочного вещества в водном столбе Южной котловины озера Байкал. Данные получены с помощью седиментационных ловушек, установленных на двух буйковых станциях. Общий поток осадочного материала был значительно выше в 2014 г. (период исследования – с марта 2014 г. по март 2015 г.). В составе осадочного вещества доминировали створки диатомей рода *Synedra*.

Изучение осадочного материала в водной толще озера Байкал стало возможным благодаря использованию седиментационных ловушек [1–6]. Материалом для данной работы послужили пробы осадочного вещества, отобранного на двух притопленных буйковых станциях, расположенных в 1.5 и 4 км от северного берега Южной котловины в районе расположения Байкальского нейтринного телескопа. Координаты станций – 51°47.379' с.ш., 104°24.890' в.д. и 51°46.076' с.ш., 104°24.948' в.д., глубины озера в точках исследования – 550 и 1366 м соответственно. Осадочный материал отбирался с помощью двухстаканных седиментационных ловушек [6], установленных на разных глубинах озера, почти непрерывно в течение двух лет – с марта 2013 г. по март 2014 г. и с марта 2014 г. по март 2015 г. Всего на станциях было размещено по 10 таких ловушек.

В первый год отбор проб на мелководной станции осуществлялся с 12 марта 2013 г. по 8 марта 2014 г. (361 день). На глубоководной станции пробы отбирались с 10 марта 2013 г. по 9 марта 2014 г. (364 дня). Во второй год пробоотбор на мелководной станции проводился с 9 марта 2014 г. по 14 марта 2015 г. (370 дней). По техническим причинам, проба из самой верхней ловушки (Z1) была утеряна. Отбор проб на глубоководной станции выполнялся с 11 марта 2014 г. по 15 марта 2015 г. (369 дней).

Отобранный материал был высушен посредством вымораживания (freeze-dried) на приборе FD ALPHA и взвешен на аналитических весах. Все пробы были просмотрены под световым микроскопом марки SK14 (увеличение $\times 100$). Определялся качественный состав взвеси – основные виды диатомей; наличие спикул губок, зёрен пыльцы, терригенного материала и др. Рассчитаны общие потоки осадочного вещества в граммах на 1 м² в год (г/м²/год).

Осадочный материал представлен, главным образом, створками диатомовых водорослей, преимущественно, видов родов *Synedra*, *Aulacoseira* и *Cyclotella*. При этом в пробах, отобранных с марта 2013 г. по март 2014 г. доминируют *Aulacoseira* и *Synedra*, а с марта 2014 г. по март 2015 г. – *Synedra*. Кроме того, в отобранном материале присутствуют незначительная примесь пелита, единичные минеральные зерна алевритовой размерности и частицы пыльцы; иногда наблюдаются фрагменты рачков-бокоплавов (род *Gammarus*) и спикулы губок. В пробах, отобранных на мелководной станции, примесь терригенного материала больше, чем в материале с глубоководной станции, здесь также отмечаются единичные зерна песчаной размерности (главным образом, слюдистые частицы).

Общий поток осадочного вещества в седиментационных ловушках, установленных на мелководной станции с 12 марта 2013 г. по 8 марта 2014 г. изменяется от 52.3 до 102 г/м²/год и в среднем составляет 68.3 г/м²/год (рис. 2а). Максимальное значение потока соответствует самой нижней ловушке, установленной на глубине 548 м, что скорей всего связано с взмучиванием поверхностных илов на границе раздела осадок–вода. С 9 марта 2014 г. по 14 марта 2015 г. общий поток вещества значительно выше, чем в предыдущий год. Он варьирует от 128 до 257 г/м²/год и в среднем равен 203 г/м²/год (рис. 2б). Максимальная величина потока также отмечается в самой нижней ловушке.

Результаты, полученные для глубоководной станции, приведены на рисунке 3. Общий поток осадочного вещества с 10 марта 2013 г. по 9 марта 2014 г. изменяется от 46.6 до 66.1 г/м²/год при среднем значении 56.8 г/м²/год (рис. 3а). С 11 марта 2014 г. по 15 марта 2015 г. общий поток материала возрастает. Он варьирует от 161 до 237 г/м²/год и в среднем составляет 213 г/м²/год (рис. 3б). Максимальные значения потоков в тот и другой год соответствуют самой нижней ловушке (глубина 1350 м).

Таким образом, повышенные потоки осадочного вещества были зафиксированы в 2014 году (период исследования – с марта 2014 г. по март 2015 г.) как на мелководной, так и на глубоководной станциях. В 2013 году (период исследования – с марта 2013 г. по март 2014 г.) потоки материала на мелководной станции были выше, чем на глубоководной. В 2014 году эта тенденция проявлена слабее.

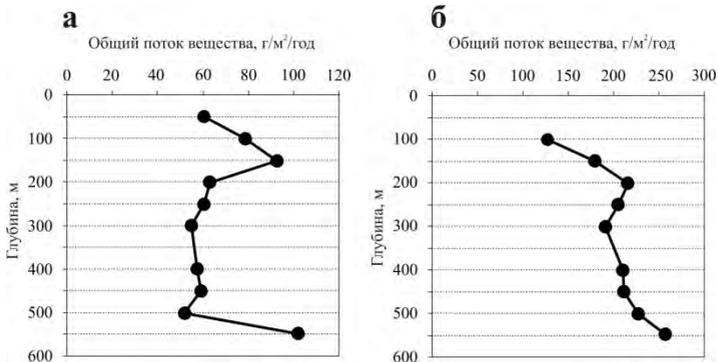


Рисунок 1. Общие потоки осадочного вещества (г/м²/год) на разных глубинах Южного Байкала (глубина озера 550 м) в периоды с 12 марта 2013 г. по 8 марта 2014 г. (а) и с 10 марта 2013 г. по 9 марта 2014 г. (б)

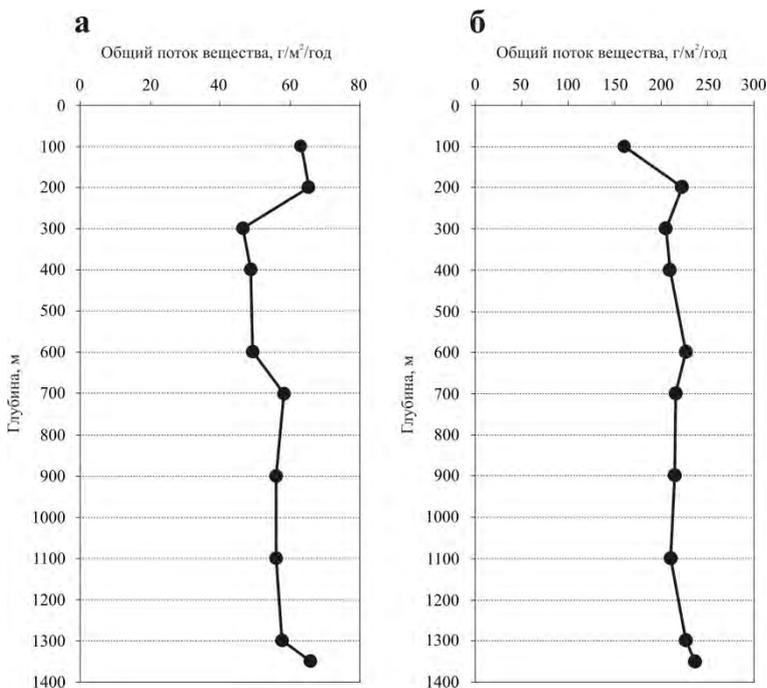


Рисунок 2. Общие потоки осадочного вещества (г/м²/год) на разных глубинах Южного Байкала (глубина озера 1366 м) в периоды с 10 марта 2013 г. по 9 марта 2014 г. (а) и с 11 марта 2014 г. по 15 марта 2015 г. (б).

Данные, полученные для глубоководной станции в 2014 году, хорошо согласуются с результатами измерения потоков осадочного вещества в седиментационных ловушках, установленных в этой же точке в 2000 году (период исследования – с 8 марта 2000 по 8 марта 2001 г.) [6]. Известно, что 2000 год был «мелозирным годом», когда происходил значительный всплеск урожайности видов рода *Melosira* (в настоящее время переименован в род *Aulacoseira*) [7–9]. Виды этого рода являются планктонными и холодноводными [10]. Однако в 2014 году в составе диатомей доминировали виды рода *Synedra*. Диатомовый анализ донных осадков, вскрытых буровым керном BDP-96 на подводном Академическом хребте озера Байкал, показал приуроченность пиков численности *Synedra* к теплым изотопным стадиям [11]. Кроме того известно, что род *Synedra* характерен для мелководных эвтрофных озёр со значительным содержанием биогенов [12]. Мы предполагаем, что доминирование *Synedra* в осадочном материале в 2014 году связано с более теплыми климатическими условиями, которые вызывают более короткие периоды ледяного покрова на Байкале.

Работы проводились в рамках соглашения о научном сотрудничестве между Институтом земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН), Институтом прикладной физики Иркутского государственного университета (НИИПФ ИГУ) и Швейцарским федеральным институтом науки и технологии окружающей среды (EAWAG) и гранта РФФИ № 17-45-388053.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачёв М.А., Лихошвай Е.В., Колман С.М., Кузьмина А.Е. Измерение потока седиментации диатомей в озере Байкал с помощью автоматических ловушек // Доклады Академии наук. 1996. Т. 350. № 1. С. 87–91.
2. Mackay A.W., Battarbee R.W., Flower R.J. et al. The deposition and accumulation of endemic planktonic diatoms in the sediments of Lake Baikal and an evaluation of their potential role in climate reconstruction during the Holocene // Terra Nostra. 2000. № 9. P. 34–48.
3. Ryves D.B., Jewson D.H., Sturm M. et al. Quantitative and qualitative relationships between planktonic diatom communities and diatom assemblages in sedimenting material and surface sediments in Lake Baikal, Siberia // Limnol. Oceanogr. 2003. V. 48. № 4. P. 1643–1661.
4. Muller B., Maerki M., Schmid M. et al. Internal carbon and nutrient cycling in Lake Baikal: Sedimentation, upwelling and early diagenesis // Global and Planetary Change. 2005. V. 46. P. 101–124.
5. Sturm M., Vologina E.G., Budnev N.M., Schurter M. Results of 20 years of sediment trap monitoring. Particle dynamics in ocean-like Lake Baikal // 9th Symposium for European Freshwater Sciences 2015 «Freshwater sciences

- coming home». Geneva, Switzerland, 5–10 July 2015. Vol. abstract. P. 165.
6. Вологина Е.Г., Штурм М. Потоки осадочного вещества в Южном Байкале. Результаты экспериментов с седиментационными ловушками // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 9. С. 1314–1323.
 7. Кожова О.М. О периодических изменениях в развитии фитопланктона озера Байкал // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. 1961. Т. 11. С. 28–43.
 8. Антипова Н.Л. О колебаниях численности видов мелозеры в планктоне озера Байкал // Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. 1963. Т. 13. С. 235–241.
 9. Евстафьев В.К., Бондаренко Н.А., Мельник Н.Г. Анализ многолетней динамики основных звеньев трофической цепи в пелагиали озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2010. Т. 3. № 1. С. 3–11.
 10. Черняева Г.П., Рассказов С.В., Рассказов Г.С., Лямина Н.А. Распределение *Aulacosira Baicalensis* (K. Meyer) Simonsen (Bacillariophyta) в позднекайнозойских озёрах Восточной Сибири // Сборник научных трудов XII Всероссийской Палинологической конференции. Санкт-Петербург, ВНИГРИ, 29 сентября – 4 октября 2008 г. Т. 1. С. 214–217.
 11. Хурсевич Г.К., Карабанов Е.Б., Прокопенко А.А. и др. Детальная диатомовая биостратиграфия осадков озера Байкал в эпоху Брюнес и климатические факторы видообразования // Геология и геофизика. 2001. № 1–2. С. 108–129.
 12. Bradbury J.P., Bezrukova Ye.V., Chernyaeva G.P. et al. A synthesis of post-glacial diatom records from Lake Baikal // J. Paleolimnol. 1994. V. 10. P. 213–252.

The sedimentary fluxes in the water column of the South Baikal were studied in detail from March 2013 to March 2015. The data were obtained using sediment traps installed at two mooring stations. At both stations the total flux of sedimentary material was significantly higher in 2014 (the study period – from March 2014 to March 2015). The particulate matter was dominated by the diatoms of the genus *Synedra*.

Герасимова М.В., Митяев М.В.

(Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск,
e-mail: gerasimova@mmbi.info)

Нерастворимые аэрозоли в свежеснеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018 г.

Gerasimova M.V., Mityaev M.V.

(Murmansk marine biological institute KNC RAS, Murmansk)

Insoluble aerosols in fresh snow in the north-west of the Kola Peninsula in 2018

Ключевые слова: концентрация аэрозолей, поток аэрозолей, свежеснег, Кольский полуостров, северная тайга, лесотундра, тундра

С января по май 2018 г. на северо-западе Кольского полуострова проведено исследование концентраций твердых нерастворимых частиц в свежеснеге и потока твердых аэрозолей на поверхность земли в зимний период. Средняя концентрация твердых нерастворимых частиц в свежеснеге составила 4.04 ± 0.24 мг/л ($n=47$), что выше фоновых значений для западной Арктики. Поток твердых аэрозольных частиц в среднем составлял 2.10 ± 0.09 мг·м² за один снегопад.

Высокоширотное положение Кольского полуострова обуславливает выпадение твердых атмосферных осадков в течение 180–200 дней в году. На природный уровень концентраций аэрозолей накладываются выбросы промышленных агломераций, как Мурманской области, так и отдаленных районов [8]. Наиболее загрязнен снежный покров в окрестностях центров цветной металлургии, переработки апатит-нефелинового сырья и крупных городов [1, 4, 12]. Считается, что в снежном покрове Кольского полуострова накапливаются и перераспределяются токсичные химические соединения и элементы, впоследствии влияющие на природные комплексы полуострова [6].

В последние десятилетия внимание ученых приковано к атмосфере как источнику переноса различного рода поллютантов [2]. Особенно это актуально в Арктическом регионе, чутко реагирующем на антропогенное загрязнение [1, 4, 11]. Цель работы в проведении исследований поставки твердых аэрозолей в зимний период 2018 г на север Кольского полуострова.

Материалы и методы

В период с 2 января по 1 мая 2018 г. были отобраны пробы свежеснега вдоль четырех автомобильных магистралей: Мурманск-Серебрянская ГЭС, Мурманск-Никель, Мурманск-Лота и Мурманск-Санкт-Петербург. Отбор снега проводился на следующий день после снегопада на расстоянии не менее 500 м от автомобильных дорог, чистым пробоотборником в полиэтиленовые пакеты. В лаборатории снег исследовался стандартным методом [8].

Плотность и водородный показатель свежеснег

Плотность свежеснег на севере Кольского полуострова в январе-мае 2018 г. изменялась от 0.087 до 0.288 г/см³, в среднем составляя 0.160±0.006 г/см³ (n=82). В это время pH талой снеговой воды изменялся от 5.70 до 8.53, при среднем значении 6.87±0.14 (n=47). К западу от Кольского залива среднее значение pH – 7.24±0.21 (n=16), к востоку – 6.65±0.24 (n=20) (за зоной влияния городских инфраструктур). В г. Мурманск, поселков Североморск-3, Тулома, Лопарское pH в среднем 6.77±0.22 (n=11).

Концентрация нерастворимых частиц в свежеснег

Концентрация нерастворимых аэрозольных частиц изменялась от 1.01 до 40.51 мг/л (в среднем 4.04±0.24 мг/л, n=47). Фоновый диапазон концентраций в 2018 г., составлял 1.9–8.5 мг/л, что выше фоновых содержаний аэрозолей в снежном покрове Арктики [7–9, 10], но ниже, чем в северных импактных районах [1, 4, 15].

Концентрация нерастворимых частиц в свежеснег имеет трех модальное распределение: первая мода – 1.15 мг/л (такие содержания характерны для отдаленных районов Арктики [7]); второе – 3.77 мг/л, возможно, местный фон; третье – 5.70 мг/л, вероятно, отражает влияние местных техногенных источников.

Исследования зависимости концентрации аэрозольных частиц от плотности снег выявили следующее. В талой снеговой воде из пушистого снег (плотность <0.20 г/см³) прослеживается сильная прямая зависимость концентрации аэрозолей от плотности снег ($r=0.742$, $n=34$), а в талой снеговой воде из плотного и мокрого снег (плотность >0.20 г/см³), зависимость обратная ($r=-0.904$, $n=7$).

По концентрации нерастворимых частиц в свежеснег можно выделить 3 фоновых и 2 импактных района. Импактные районы пространственно приурочены к населенным пунктам Мурманской области. Первый расположен в инфраструктуре устья реки Тулома и Кольского залива. Второй – к горнопромышленному комплексу и городским инфраструктурам на западе Мурманской области. В импактных районах основная масса аэрозольного вещества представлена техногенными продуктами (сферы сгорания, зола, угольная пыль). Концентрация аэрозольных частиц в среднем составляла 10.22±3.48 мг/л (n=14).

Выделение фоновых районов достаточно условно, так как концентрация аэрозольных частиц в них достоверно не отличается, но это разные природно-ландшафтные комплексы. Северо-западный район (средняя концентрация 3.26±0.60 мг/л, n=6) объединяет тундры и лесотундры западной части Мурманского берега. Восточный район (средняя концентрация 2.83±0.32 мг/л, n=20) объединяет тундры и лесотундры восточной части Мурманского берега. Западный район (средняя концентрация 3.66±0.51 мг/л, n=7) приурочен к ландшафтам северной тайги Центрально-Кольского блока [5]. Вещественный

состав нерастворимых частиц резко отличен, хотя повсеместно наблюдаются сферы сгорания, преобладают мелкие неопределимые частицы (<1 мкм) различного цвета (желтых, зеленых, розовых тонов), а так же белые (светло-серые) и прозрачные частицы. Также встречаются волокна органического вещества и мельчайшие обломки минералов (в основном чешуйки слюды).

Поток твердых аэрозольных частиц со свежеснегоснежным снегом

Другим важным аспектом было определение общего объема аэрозольного вещества поступающего на единицу площади за единицу времени. Такие расчеты делаются на квадратный метр (или километр) в год (сутки), аналогично расчету вертикального потока вещества в аквальных ландшафтах озера и морей [9, 14].

Нами проведена оценка данного показателя методом отнесения количества аэрозольного вещества к площади отбора снега за снегопад и фиксация всех снегопадов по данным гидрометеослужбы. Так, с 2 января по 1 мая 2018 г. количество снегопадов изменялось от 82 до 94 (на разных участках), в среднем 86 снегопадов за 120 суток. Поток нерастворимых аэрозолей изменялся от 0.4 до 13.28 мг·м⁻² за снегопад, в среднем 2.10±0.09 мг·м⁻² (n=47). Поток нерастворимых аэрозолей имеет одномодальное распределение с модой близкой к математическому ожиданию среднего.

В выделенных импактных районах вертикальный поток аэрозолей изменялся от 0.73 до 13.28 мг·м⁻², в среднем 3.40±0.83 мг·м⁻² (n=14) за снегопад. В восточном фоновом районе – 1.63±0.18 мг·м⁻² (n=20), в северо-западном – 1.18±0.23 мг·м⁻² (n=6), в западном – 1.89±0.11 мг·м⁻² (n=7).

Дана оценка общего потока аэрозолей на север Кольского полуострова в 124–159 мг·м⁻² за 120 суток, или 1.03–1.33 мг·м⁻²·сут⁻¹. Это сопоставимо с данными В.П. Шевченко с соавторами [6], которые оценили вертикальный поток аэрозолей в Арктике в 600 мг·м⁻²·год⁻¹, что выше оценок зарубежных исследователей [13].

Вероятно, помимо местных источников аэрозольного вещества, они могут поступать из внутренних районов полуострова. Так в период наблюдения, преобладали ветра южных румбов (около 60%). При этом геоморфологические особенности территории предопределяют возможность поступления аэрозолей в г. Мурманск (из внутренних районов) с южными ветрами вдоль депрессии озеро Имандра-река Кола между хребтом Волчьей Тундры и северным отрогом Хибинских гор.

Заключение

Фоновый диапазон концентраций нерастворимых аэрозолей в январе-мае 2018 г. на севере Кольского полуострова составлял 1.9–8.5 мг/л. В удаленных районах Арктики фоновые концентрации аэрозолей в снежном покрове не превышают 3 мг/л [3, 6, 8, 10, 11], следовательно, можно предположить, что 4–5 мг твердых аэрозолей, в каждом литре талой воды, являются продуктами

региональных природных и антропогенных процессов. Мурманск – крупнейший региональный центр, сюда поступают и отсюда вывозятся продукты цветной металлургии, угольной промышленности. Поэтому не удивительно, что и концентрация и поток твердых аэрозолей в его окрестностях максимальный для всей территории. Другой район с высокими концентрациями аэрозолей расположен на западе территории, центр цветной металлургии. Восточный район по концентрации аэрозолей сопоставим с фоновыми районами Арктики.

Подводя итог, отметим главное: концентрация аэрозолей в снеге в 2018 г. в среднем – 4.04 ± 0.24 мг/л, поток аэрозолей на поверхность земли – 2.10 ± 0.09 мг·м⁻² за снегопад или 1.03 – 1.33 мг·м⁻²·сут⁻¹.

Работа выполнена в рамках темы НИР ММБИ КНЦ РАН: 9-18-03 (№ госрегистрации АААА-А18-118030690060).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болтенко Е.Л., Евсеев А.В., Корзун А.В., Сухова Т.Г. Химический состав снежного покрова, как показатель загрязнения на Кольском полуострове // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 1991. № 5. С. 60–64.
2. Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В. и др. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск: Изд. ТГУ. 1993. 157 с.
3. Виноградова А.А., Полиссар А.В. Элементный состав аэрозоля в атмосфере центральной части Российской Арктики // Известия РАН. Сер. Физика атмосферы и океана. 1995. Т. 32. С. 264–274.
4. Игамбердиев В.М., Терешенков О.М., Кутыев Х.А., Попова Е.Н. Оценка современного состояния природной среды: Норильский промышленный район // Народное хозяйство Республики Коми. 1994. № 1. С. 54–61.
5. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 2014. 226 с.
6. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р. и др. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 106–118.
7. Шевченко В.П., Воробьев С.Н., Кирпотин С.Н. и др. Исследования нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 6. С. 499–504.
8. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
9. Шевченко В.П., Иванов Г.И., Буровкин А.А. и др. Потоки осадочного материала в проливе Святой Анны и восточной части Баренцева моря // ДАН. 1998. Т. 359. № 3. С. 400–403.

10. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А. и др. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 6/7. С. 551–576.
11. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А. и др. Аэрозоли Арктики и их влияние на окружающую среду // Аэрозоли Сибири. Новосибирск: Изд. СО РАН. 2006. С. 148–184.
12. Caritat P., Dyrds M., Niskavaara H. et al. Snow composition in eight catchments in the Central Barents Euro-Arctic region // Atmospheric Environment. 1998. V. 32. № 14/15. P. 2609–2626.
13. Darby D.A., Naidu A.S., Mowatt T.C., Jones G. Sediment composition and sedimentary processes in the Arctic Ocean // The Arctic Seas – Climatology, Oceanography, Geology and Biology / Y.Herman (Ed.). New York. 1989. P. 657–720.
14. Duce R.A., Liss P.S., Merrill J.T. et al. The atmospheric input of the trace species to the world ocean // Global Biogeochem. Cycles. 1991. V. 5. № 3. P. 193–259.
15. Viklander M. Substances in urban snow. A comparison of the contamination of snow in different parts of the city of Lulee, Sweden // Water, Air, and Soil Pollution. 1999. V. 114. P. 377–394.

From January to May 2018, in the north-west of the Kola Peninsula, the concentrations of solid insoluble particles in freshly fallen snow and the flow of solid aerosols to the ground surface during the winter period were studied. The average concentration of solid insoluble particles in freshly fallen snow was 4.04 ± 0.24 mg/l ($n=47$), which is higher than background values for the western Arctic. The flow of solid aerosol particles averaged 2.10 ± 0.09 mg·m⁻² per snowfall.

Гурский Ю.Н., Синицына В.В.

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

Пробоотборник для получения иловой воды из донных осадков *in situ*

Gursky Yu.N., Sinitsyna V.V.

(P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Sampler for separation of sludge water from bottom sediments *in situ*

Ключевые слова: пробоотборник, иловая вода, оголовье, набор грузов, набор фильтров, наконечник, приёмный сосуд, обратный клапан

Предложен вариант прибора, предназначенного для отбора проб иловой воды из морских и пресноводных отложений *in situ*. Приводится исторический обзор методов и аппаратуры для выделения иловой воды из донных отложений. Дан рисунок пробоотборника, описание его деталей и способов работы с прибором. Подана заявка на изобретение № 2019100674 от 1.01.2019.

Проблема изучения химического состава иловых вод в морских и пресноводных отложениях имеет большое значение, поскольку информация, полученная на основе исследования жидкой фазы донных отложений, позволяет судить как об истории развития и эволюции бассейна седиментации, так и о процессах метаморфизации иловых вод. В связи с этим важную роль играет методическая сторона исследований и способы выделения и анализа иловых вод [3, 4].

Существуют методы изучения иловой воды без выделения её из осадков, связанные с применением потенциометрических зондов и ионоселективных электродов (соленость, температура, давление, рН, Eh, S²⁻, и др.).

Но более результативными оказались методы, связанные с отделением их от твердой фазы осадка. В.И. Вернадский также отдавал предпочтение этим методам. Он считал, что «... для илов необходимы анализы вод, выделенных центрифугами или отжатых»... [2, стр. 511].

Такие методики разработал С.В. Бруевич в лаборатории химии моря ВНИРО и экспедициях 1935–40 гг. на Каспии [1]. Приборы для отпрессовывания (прессформы), предложенные П.А. Крюковым в 1947 г. [5], нашли широкое применение при отжати почвенных, иловых, горных растворов и в различных модификациях используются в России и за рубежом [8, 9, 10]. Эта техника позволяет получать давление в прессформе до 10000 кг/см². Однако в практике морских работ редко применяется давление более 200–400 кг/см². Эти методы использовались и для получения поровых вод из кернов скважин глубоководного бурения.

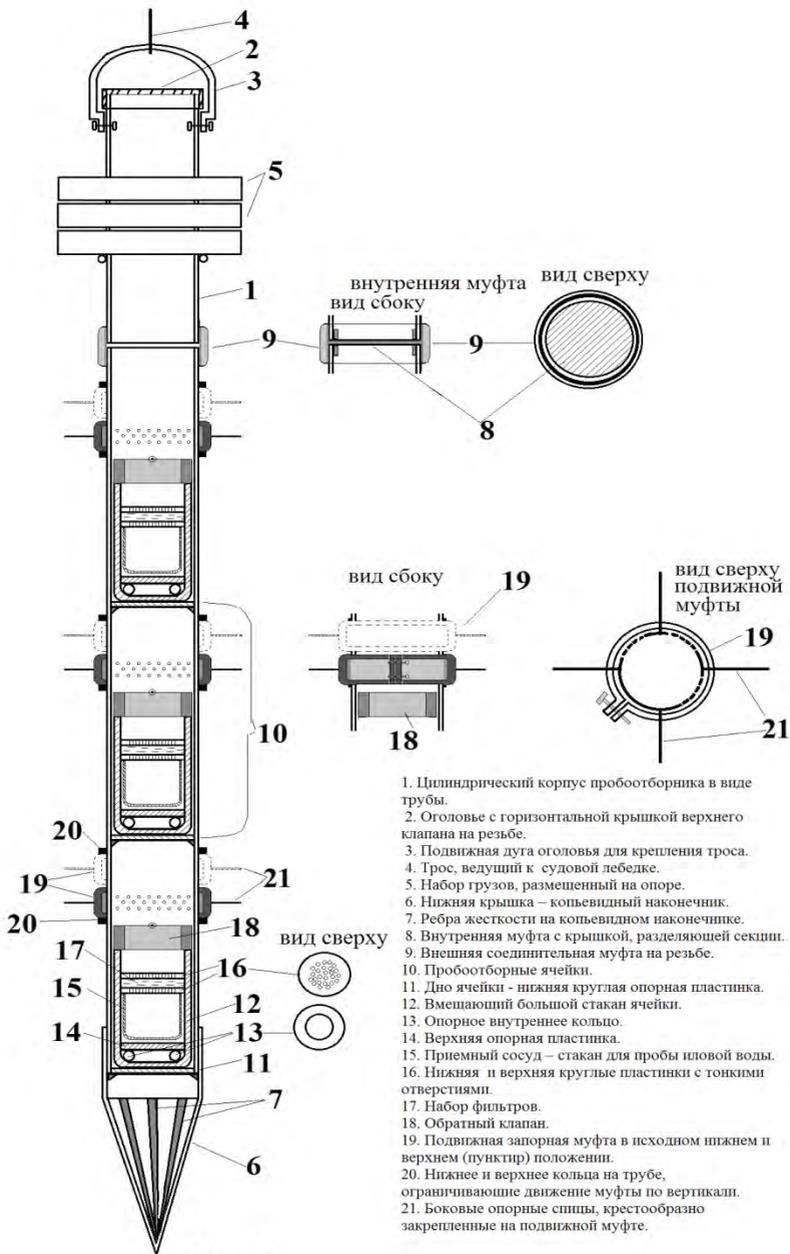
В ИО РАН использовался пневмопресс конструкции А. Г. Розанова [6]. О.В. Шишкина применяла его в своих последних экспедициях [7]. В XV рейсе НИС «Академик Петровский» в Средиземном море мы работали с пневмопрессом, сочетая его применение с отпрессовыванием осадков. Этот прибор при давлении до 10 атм позволяет одновременно выделять 5 проб иловой воды и их термостатирование, чтобы приблизить температуру в пробе к состоянию системы *in situ*.

В нашей работе для получения иловых вод в основном применялась техника отпрессовывания. Была разработана конструкция прессформы с двусторонним отводом иловой воды и увеличенной вдвое площадью фильтрации [3]. Эта прессформа отличается от прежних моделей большей высотой цилиндра и поршня, улучшенной конструкцией прокладок. Для её изготовления вместо бронзы, латуни или нержавеющей стали был использован титан, что облегчило её вес, а для прокладок вместо резины применен фторопласт. Как правило, отпрессовывание проводили при давлении до 200 кг/см². Были усовершенствованы и приборы для отжатия иловой воды в виде модернизированных прессов и домкратов [3].

Выделение иловой воды с помощью прессов и прессформ имеет ряд преимуществ. Но есть и слабые стороны этого процесса. Они связаны с тем, что пробу иловой воды мы получаем в условиях судовой, или стационарной лаборатории, при давлении и температуре, которые существенно отличаются от состояния жидкой фазы в системе донных отложений *in situ*. Попытки решить эту проблему предпринимались и российскими и зарубежными учеными [6, 9]. Однако до сих пор не удавалось изобрести пробоотборник для получения иловой воды *in situ*, который мог бы работать в естественных условиях природной среды в широком диапазоне температуры и давления, которые бы соответствовали условиям нахождения исследуемой пробы в донных осадках. Нами был продуман и предложен вариант такого прибора, который был рассмотрен и одобрен комиссией из специалистов Ученого Совета Института океанологии РАН. 10.01.2019 была подана и принята заявка на изобретение под № 20191100674. Было получено УВЕДОМЛЕНИЕ О ПРИЕМЕ И РЕГИСТРАЦИИ ЗАЯВКИ.

Далее мы приводим чертеж и описание данного прибора. Пробоотборник изображен на рис. 1. Он представляет трубу (1), состоящую из нескольких секций, соединенных специальными муфтами на резьбе (9). Верхняя секция подобно прямооточной трубке имеет оголовье (2) и набор грузов (5), помогающих пробоотборнику врезаться в осадок. Оголовье включает клапан с горизонтальной крышкой на резьбе и подвижную дугу для крепления троса (3, 4), идущего к судовой лебедке. Набор грузов содержит 3 круглых пластины с отверстиями под диаметр трубы и опоры на трубе под грузами. Нижняя секция (6) также содержит набор грузов (3-4), помещенных

внутри её и в копьевидном наконечнике. Желательно, чтобы нижняя часть пробоотборника была тяжелее верхней, для того, чтобы он не ложился, а вертикально входил в осадок. Секции соединяют муфты (9) с резьбой. Внутренняя часть пробоотборника предназначена для отбора проб иловой воды с различных по возрасту и глубине горизонтов. Секции (10) включают ячейки, разделенные внутренними муфтами с перегородками, или круглыми пластинками, опирающимися на 4 крестообразных выступа в трубе. В ячейках размещен высокий стакан (12), по внутреннему диаметру трубы, в котором на дне помещено опорное кольцо, состоящее из упругого мягкого материала (13), предназначенное для смягчения удара при вхождении пробоотборника в осадок. На нем помещена нижняя круглая опорная пластинка, на которой ставится приемный сосуд – стакан, объемом 200-300 мл, для сбора пробы иловой воды (15). Внутренний стакан закрыт набором фильтров для очистки воды, помещенных между двумя круглыми пластинками с тонкими сетчатыми отверстиями, не доходящими примерно 5 мм до стенок стакана (16, 17). Над высоким стаканом, вмещающим сосуд для иловой воды и приспособления для её фильтрации, в трубу вставлен *обратный клапан для воды* (18). Это устройство прямого действия, обеспечивающее движение воды только в одну сторону и не позволяющее ей двигаться в обратном направлении. Оно состоит из корпуса, рабочего органа и прижимного элемента. Разные варианты обратных клапанов описаны в Яндексe. Он служит для сохранения пробы иловой воды. Между ним и пластинкой над фильтрами можно добавить прижимную пружину. Выше обратного клапана, примерно на 9-12 мм, в стенках трубы сделаны небольшие отверстия, диаметром 2-3 мм, в три ряда, в шахматном порядке, шириной не более 5 – 7 см, в зависимости от диаметра трубы. Мы рекомендуем диаметр 100 мм. Отверстия располагаются на горизонтальном уровне ячеек на трех участках так, чтобы не ослабить её прочность. Трубу на уровне отверстий охватывает двухслойная подвижная эластичная муфта. Внутренний слой должен быть упругим, пластичным и гладким, наружный слой - более жестким, но гибким. Эта запорная муфта (19), надежно закрывающая отверстия в трубе, крепится вокруг трубы на стяжках, позволяющих отрегулировать прочность крепления и возможность вертикального движения муфты вверх при вхождении трубки в осадок и опускания вниз при выходе из осадка. Поверхность трубы под муфтой на всю высоту её перемещения, ограниченную закрепленными кольцами, при подготовке к работе обтягивается *фильтрующей воду тонкой пленкой*. На поверхности муфты закреплены упругие, крестообразно расположенные спицы, металлические, или пластиковые. При спуске пробоотборника они легко преодолевают водную толщу, но при вхождении в осадок поднимают муфту, открывая отверстия в трубе для доступа наружной иловой воды из осадка внутрь для фильтрации и отбора. При подъеме пробоотборника из



Фиг. 1

осадка они опускают муфту вниз, закрывая отверстия в трубе. В верхней части трубы пробоотборника под грузами и выше внутренней муфты (8) может быть помещена дополнительная ячейка (10) для отбора придонной воды (на фиг. 1 она не показана). В этой ячейке можно удалить части 13-17. Придонная вода будет собираться в большой пластиковый стакан (12). Давление, отделяющее иловую воду от осадка, в данном случае создаёт сама окружающая среда под дном водоёма, зависящая от глубины станции: на 100 м -10 атм, на 1000 м – 100 атм, на 4000 м – 400 атм и т.д. При спуске пробоотборника, вероятно, как и при спуске прямоточной трубки, потребуется остановка в 30-40 м над дном, а потом свободный ход. При вхождении в осадок нужна выдержка около 30 минут для фильтрации иловой воды и затем подъём пробоотборника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бруевич С.В., Виноградова Е.Г. Химический состав грунтовых растворов Каспийского моря // Гидрох. мат-лы. 1947. Т. 13. С. 129–186.
2. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т. 2. История природных вод. Л.: ОНТИ. Химтеоретиздат. Ч. 1. Вып. 1 1933-36. 562 с.
3. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Методы изучения и процессы формирования химического состава иловых вод в отложениях Черного, Азовского и др. морей. Т.1. М.: ГЕОС, 2003. 332 с.
4. Гурский Ю.Н. Распределение микроэлементов в иловой воде и донных осадках Черного моря. Вестн. М. ун-та. Сер. 4. Геол. 2019. № 1. С. 13–24.
5. Крюков П.А. Методы выделения почвенных растворов // М.-Л.: АН СССР, 1947. Т. 4. Вып. 2. С. 152–234.
6. Розанов А.Г., Мищенко В.В. и др. Пневмопресс – установка для получения иловых вод // Океанология. 1978. Т. 18. Вып. 2. С. 353–357.
7. Шишкина О.В. Геохимия морских и океанических иловых вод. М. Наука, 1972. 228 с.
8. Manheim F.T. A hydraulic squeezer for obtaining interstitial water from consolidated and unconsolidated sediments // U.S. Geol. Surv. Profess. Papers. N 550-C. 1966. P. 256–261.
9. Sayles F.L. et al. A sampler for the *in situ* collection of marine sedimentary pore waters // Deep-Sea Res. 1976. V. 23. P. 259–264.
10. Siever R. A squeezer for extracting interstitial water // J. Sed. Petrology. 1962. V. 32. P. 329–331.

A variant of the device designed for sampling silt water from marine and freshwater sediments *in situ* is proposed. The historical review of methods and equipment for separation of silt water from bottom sediments is given. The picture of the sampler, the description of its details and ways of work with the device is made. Filed an application for the invention № 2019100674 from 1.01.2019.

Дорохова Е.В.

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

Литодинамика прибрежной зоны Юго-Восточной Балтики (Российский сектор)

Dorokhova E.V.

(¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Lithodynamic of the near-shore zone of the South-Eastern Baltic Sea (Russian sector)

Ключевые слова: поверхностные осадки, критические скорости эрозии, литодинамическое районирование, Балтийское море

На основе гранулометрических данных с использованием новой детальной карты типов поверхностных отложений выполнен расчет критических скоростей эрозии в прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики. Полученные результаты позволили выделить шесть литодинамических зон.

В настоящей работе для изучения процессов динамики осадков использован подход, основанный на классических работах [1, 2]. В этих исследованиях показано, что существует критическая скорость потока, при которой частицы осадка начинают движение. Она может быть определена как критическая скорость напряжения сдвига или критическая скорость эрозии (u_{cr}^*). Эта скорость зависит от скорости течения и гидравлической шероховатости. Существуют методы определения критической скорости эрозии на основе ее взаимосвязи с размерами частиц осадка.

В нашей работе критические скорости определены по объединенной диаграмме Шилдса-Хьюльстрема согласно формулам, представленным в [3]. Критическая скорость эрозии рассчитана по среднему диаметру осадка на основе данных гранулометрического анализа в отобранных образцах поверхностных осадках (898 проб), и экстраполирована равномерной сеткой на весь район исследования в соответствии с новой детальной картой типов осадка. Рассчитанные критические скорости эрозии позволили выполнить литодинамическое районирование и выделить шесть зон, характеризующихся специфической динамикой поверхностных отложений (рис.).

Зона 1 занимает подводный береговой склон Самбийского полуострова до глубин 20 м. Она характеризуется чередованием низких критических скоростей в центральных частях бухт (1.2–2 см/с) и высокими вплоть до максимальных значениями критических скоростей в районах мысов и выступов берега, что свидетельствует о формировании морфо-литодинамических ячеек. Границами ячеек служат продолжения мысов и выступов берега на

подводном берегу склоне и соответствуют относительным возвышенностям дна. Они представлены валунно-глыбовыми отмостками и грубозернистыми отложениями: гравелистым песком, гравием. Согласно концепции литодинамических ячеек ведущую роль здесь играют процессы рефракции и дифракции волн, вызывающие конвергенцию волновой энергии у мысов и ее дивергенцию в вершинах бухт в результате литорального градиента сил.

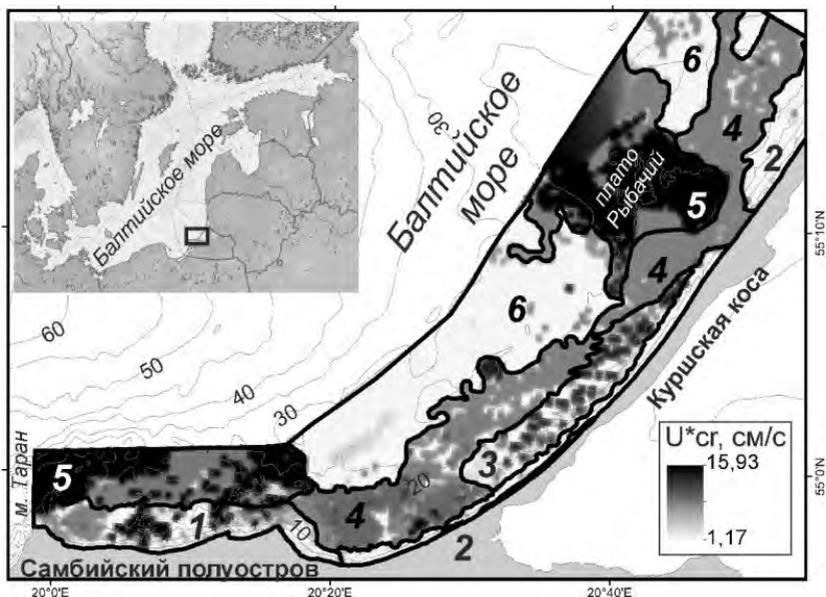


Рисунок. Критические скорости эрозии (u^*_{cr}) осадков в районе исследования. Цифрами обозначены литодинамические зоны.

Зона 2 характеризуется преобладанием минимальных критических скоростей (1,2–1,9 см/с), т.е. характеризуется наиболее подвижными отложениями. Осадки этой зоны представлены тонко- и мелкозернистыми песками. Зона 2 соответствует зоне максимального волнового воздействия и области формирования профиля равновесия пляжа. Интенсивное волновое воздействие способствует выработке профиля равновесия подводной части пляжа, при котором силы способствующие перемещению осадочного материала к берегу (асимметрия волновых скоростей) и от берега (сила тяжести, компенсационные течения) находятся в равновесии [4, 5].

Зона 3 располагается на глубинах 10–20 м южной части подводного берегового склона Куршской косы. Это зона расположена в районе выходов на поверхность дна реликтовых лагунных илов [6]. Она характеризуется мозаичным распределением низких (1.2–1.3 см/с) и высоких (до 8

см/с) критических скоростей. Этот участок дна имеет сложный рельеф, обусловленный чередованием вытянутых перпендикулярно берегу гребней, поверхность которых представлена мелкозернистыми пеками, и ложбин, покрытых гравием и галькой [7]. Очевидно, что существование относительно глубоких промоин не может быть обусловлено современными гидродинамическими процессами. Вероятно, эти формы рельефа дна являются реликтовыми, что объясняет нехарактерное для мелководной зоны мозаичное распределение критических скоростей. Однако первоначально сформированный сложный рельеф может поддерживаться современными литодинамическими процессами, схожими с процессами в районах подводных береговых валов [8].

Зона 4 характеризуется повышенными критическими скоростями – 2–5 см/с на глубинах 10 (20)–25 м и представлена гравелистыми песками и песчаным гравием с ареалами тонкозернистых песков. Высокие критические скорости обусловлены процессами эрозии морского дна и вымыванием подвижных мелкозернистых осадков. Длительное существование постоянного уровня моря (около 5000 лет [9]) привело к «подтягиванию» наиболее подвижных отложений с характерных глубин к берегу благодаря преобладанию поперечного транспорта наносов и асимметрии волновых скоростей. Кроме того, известно, что в ходе трансгрессии моря образуются эрозионные поверхности, представленные грубозернистыми «остаточными» (“lag”) отложениями, испытавшими процессы размыва при более низких уровнях моря [10].

Зона 5 характеризуется высокими критическими скоростями эрозии (до 15 см/с) и представлена грубообломочными отложениями, маркирующими подводные выходы дочетвертичных пород в районе м. Таран, и морены на плато Рыбачий. Согласно лито-фациальной карте [11] в настоящее время эти отложения испытывают интенсивный размыв. Однако, несмотря на крайне редкие измерения придонной гидродинамики в данном районе, известно, что на глубинах более 17–20 м волновое воздействие на дно значительно снижается. Интенсивных постоянных придонных течений в этом районе также не наблюдается. Следовательно, высокие критические скорости эрозии в этих районах обусловлены не современными литодинамическими процессами, а генезисом этих отложений.

Зона 6 характеризуется мелкозернистыми песками с низкими критическими скоростями эрозии (1.2–1.3 см /с). Вероятно, эти осадки образованы около 7 тыс. лет назад, когда береговая линия располагалась приблизительно на глубинах 20–25 м [12] и также являются реликтовыми. Они сформированы в результате волновой аккумуляции на мелководье у древнего аккумулятивного берега и слабо подвержены процессам современной литодинамики.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН, тема 0149-2019-0013.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hjulstrom F. Studies in the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris // *Geol. Inst. Univ. Uppsala Bull.* 1935. N. 25. P. 221–528.
2. Shields A. Anwendung Der Ahnlichkeits-Mechanik Und Der Turbulenzforschung Auf Die Geschiebebewegung. Preuß Versuchsanstalt Wasserbau Schifffahr Berlin Mitteil 2b. 1936.
3. Bobertz B., Harff J., Bohling B. Parameterisation of clastic sediments including benthic structures // *Journal of Marine Systems.* 2009. V. 75. N. 3–4. P. 371–381.
4. Zenkovich V.P. processes of coastal development. Edited by J.A. Steers and D.G. Fry. Edinburgh and London: Oliver and Boyd, 1967.
5. Dean R.G. Equilibrium beach profiles : characteristics and applications // *Journal of Coastal Research.* 1991. V. 7. N. 1. P. 53–84.
6. Sergeev A.Y., Zhamoida V.A., Ryabchuk D.V. et al. Genesis, distribution and dynamics of lagoon marl extrusions along the Curonian Spit, Southeast Baltic Coast // *Boreas.* 2017. V. 46. N. 1. P. 69–82.
7. Kocheschkova O., Ezhova E., Dorokhov D., Dorokhova E. Benthic communities and habitats in the near shore zone of the Curonian Spit (the South–Eastern Part of the Baltic Sea) // *Baltica.* 2014. V. 27. P. 45–54.
8. Долотов Ю.С. Динамические обстановки прибрежно-морского рельефообразования и осадконакопления. М.: Наука, 1989. С. 501–554.
9. Uścinowicz S. A Relative Sea-Level Curve for the Polish Southern Baltic Sea // *Quaternary International.* 2006. V. 145–146. P. 86–105.
10. Cattaneo A., Steel R.J. Transgressive deposits: a review of their variability // *Earth-Science Reviews.* 2003. V. 62. N. 3–4. P. 187–228.
11. Zhamoida V.A., Sivkov V.V., Ryabchuk D.V. Map of the Bottom Surface Sediments. In *Atlas of Geological and Environmental Geological Maps of the Russian Area of the Baltic Sea*, edited by O.V. Petrov, 62. SPb.: VSEGEI. 2010.
12. Блажчишин А.И. Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в балтийском море. Калининград: Янтарный сказ, 1998.

Critical shear stress velocities are calculated on the base of grain size data and new detail map of sediment distribution for the near-shore zone of the South-Eastern Baltic Sea. Obtained results allow to distinguish six lithodynamic zones.

Карнаухова Г.А.

(Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, e-mail: karnauh@crust.irk.ru)

Становление состава донных отложений в барьерных зонах Ангарских водохранилищ при управляемом уровненом режиме

Karnaukhova G. A.

(Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk)

The formation of bottom sediments in the barrier zones in the Angara reservoirs with managed water level mode

Ключевые слова: донные отложения, барьерные зоны, Ангарские водохранилища, уровеньный режим

Представлены результаты изучения состава донных отложений в барьерных зонах «берег-водохранилище» и «река-водохранилище» в условиях управляемого уровненого режима Ангарских водохранилищ. Установлено, что такой режим приводит к чередованию региональных трансгрессий и регрессий и изменению элементного состава донных отложений в барьерных зонах.

В пределах водоемов существуют специфические области, особенностями которых является сверхбыстрый вертикальный поток осадочного материала, его активная седиментация и геохимическая дифференциация, а по другие стороны от этих областей наблюдаются уже другие условия осадконакопления и распределения химических элементов. Такие области являются одним из типов барьерных зон (БЗ) [1, 2]. Довольно обширный материал об общих и частных закономерностях развития барьерных зон и связанного с ними осадконакопления в природных водоемах опубликован к настоящему времени [3–6]. Создание крупнейших искусственных водоемов способствовало формированию в них областей, подобных природным водоемам, областей со сверхбыстрыми скоростями накопления донных осадков и высокими содержаниями химических элементов. Проводимые нами многолетние исследования на Ангарских водохранилищах показали, что в этих крупнейших искусственных водоемах также существуют барьерные зоны (БЗ), главными из которых являются «берег-водохранилище» и «река-водохранилище» [7, 8].

БЗ «берег-водохранилище» представлена прибрежной отмелью и ее подводным склоном, формирование которых происходит на участках водохранилищ, где генетическим типом формирующихся берегов является абразионный тип. Нижняя граница барьерной зоны совпадает с границей аккумуляции отложений волнового поля и проходит по подножию прибрежной отмели. Протяженность барьерной зоны составляет более 2100

км, площадь – 75 км² или 1% площади Ангарских водохранилищ. БЗ «река–водохранилище» находится на участке прерванной каскадности между Иркутским и Братским водохранилищами.

Становление состава донных отложений в БЗ происходит под влиянием многих факторов, к числу которых относится состав пород осадочного чехла Сибирской платформы, геохимическая специализация которых определяет элементный состав материала питающих источников, а также уровенный режим водохранилищ. Особенностью Ангарских водохранилищ является наложение техногенного регулирования режима их уровней на их природный ход, что способствует проявлению ярко выраженного чередования региональных трансгрессий и регрессий, нестабильно-прерывистого характера поступления осадкообразующего материала и формирования донных отложений. Трансгрессии приходятся на периоды эксплуатации водохранилищ при НПУ (нормальный подпорный уровень) или близким к нему уровням. Регрессии связаны с техногенной сработкой водной призмы водохранилищ, налагающейся на периоды маловодий в Байкальском регионе [9, 10]. Эксплуатация водохранилищ в условиях управляемого уровенного режима приводит к трансгрессивно-регрессивному типу осадконакопления в барьерных зонах. Первыми на изменения уровенного режима водохранилищ реагируют барьерные зоны вариациями скоростей осадконакопления, изменениями условий миграции химических элементов, трансформацией их состава в донных отложениях.

При *трансгрессии* ежегодно в результате размыва берегов в водохранилища поступает более 224 млн. т абразионного материала или 98% от суммарного поступления. При этом непосредственно на осадконакопление в водохранилищах расходуется около 179.3 млн. т., из которых в БЗ «берег водохранилище» остается 132.8 млн. т [10]. Абразионный материал создает аккумулятивные призмы, в которых величина ежегодно отлагающегося слоя песков (мм/год) составляет 19–89, крупных алевритов – 28–500, мелкоалевритовых илов – 16.

Периодические поступления в барьерную зону во время штормов дополнительных порций осадочного материала абразионного происхождения, способствуя аккумуляции широкого спектра элементов в этом поясе осадконакопления. В осадках отмели остается в среднем около 6% органического вещества, около 2% железа и 12% фосфора, 24–29% микроэлементов от суммы поступления в составе абразионного материала. Быстрее из взвешенного потока выпадают Mn, V, Zn, Ni. Содержания элементов не отличаются большим разбросом по типам донных осадков барьерной зоны. Среди микроэлементов по концентрации ванадия лидируют крупные алевриты (107 мг/кг). Наименее обогащены элементами пески, в которых самую низкую концентрацию имеет Pb (17 мг/кг) (табл.). С ростом

в осадках количества тонкодисперсных частиц возрастает и содержание элементов. Наиболее обогащенными являются мелкоалевритовые илы, в которых концентрация (мг/кг) составляет: Ni – 45, Co – 35, Zn – 68. Содержание меди является стабильным во всех типах осадков. Характерными являются пониженные содержания железа и органического вещества, поскольку происходит их вытеснение минеральными частицами. Железо и органическое вещество (ОВ) в большей мере концентрируются в осадках с лидирующей алевритовой фракцией, в меньшей – в песках.

В БЗ «река–водохранилище» осаждается 64% твердого речного стока реки Ангары и ее притоков Иркута, Китоя, Белой, поставляя ежегодно около 1.4 млн. т терригенного материала, как в виде потоков волочения (23%), так и во взвешенном состоянии (77%). Пески в БЗ представлены типичным русловым аллювием и формируют осадок слоем от 19 мм/год. Скорость аккумуляции (мм/год) крупных алевритов составляет 11, мелкоалевритовых илов – 25, алевритово-глинистых илов – 5. Пески являются слабыми накопителями органического вещества (0.81%), Co (15 мг/кг), Pb (10 мг/кг) и хорошими аккумуляторами Cu (40 мг/кг) и Ni (40 мг/кг). Особенно активно элементы концентрируются в алевритово-глинистых илах (мг/кг): Co – 20, Cu – 40, Zn – 60, Pb – 30, Mn – 400 и ОВ – 53.8%. Железо быстрее накапливается в мелкоалевритовых илах (4.52%) (см. табл.).

Во время *регрессий*, когда водохранилища эксплуатируются при уровнях ниже НПУ, такой источник как абразионные берега отсутствуют. При дефиците материала абразии берегов происходит подрезка и размыв ранее сформированных отмелей, перемещение размытого материала за их пределы. Идет процесс волнового нивелирования и выравнивания рельефа дна и формирование прибрежных отмелей на новых, более низких, батиметрических отметках. Основными типами донных осадков в БЗ «берег-водохранилище», по-прежнему, остаются пески, крупные алевриты, мелкоалевритовые илы. Скорость аккумуляции составляет (мм/год) у песков 19, крупных алевритов – 11, мелкоалевритовых илов – 25. Характерным при низких уровнях воды становится активное накопление во всех типах донных осадков Ni, Cu, Mn, Zn, а также в крупных алевритах и мелкоалевритовых илах – Co, Zn, Pb, Fe и органического вещества. И только концентрация ванадия снижается во всех типах осадков.

Протяженность БЗ «река-водохранилище» сокращается до 50 км, площадь – до 75 км². Скорость накопления (мм/год) песков составляет 15, крупных алевритов – 115, мелкоалевритовых илов – 85, алевритово-глинистых илов – 50. В условиях регрессий происходит активизация перехода элементов из воды в донные осадки, однако, осаднение идет на площадь гораздо меньшую, чем при трансгрессии. Во всех типах осадков в 2 раза и более возрастает концентрация Ni и Zn по сравнению с их

содержаниями во времена трансгрессий. В песках, крупных алевролитах и мелкоалевритовых илах возрастает также и количество Mn (в 3 раза и более). В составе мелкоалевритовых и алевроитово-глинистых илов динамично накапливаются Cu и Co, содержание которых в песках и крупных алевролитах остается неизменным. Единственным типом осадков, в которых отмечается рост содержания органического вещества, являются пески. Другие типы осадков обеднены органикой, а также и железом по сравнению с осадками периода трансгрессий.

Таблица. Элементный состав донных отложений в основных барьерных зонах Ангарских водохранилищ при трансгрессиях и регрессиях

Тип осадка	Содержание элемента								
	мг/кг							%	
	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	V	Mn	Fe	OB
Барьерная зона «берег-водохранилище»									
Трансгрессия									
Песок	45	32	33	63	17	102	320	0.94	3.25
Крупный алевроит	40	32	32	65	22	107	380	2.43	8.58
Мелкоалевритовый ил	45	35	32	68	26	104	420	1.64	5.04
Регрессия									
Песок	60	31	51	59	15	85	540	3.59	0.74
Крупный алевроит	63	33	61	102	24	100	540	1.20	10.76
Мелкоалевритовый ил	73	36	68	82	17	100	680	2.80	7.43
Барьерная зона «река-водохранилище»									
Трансгрессия									
Песок	40	15	40	40	10	100	300	3.64	0.81
Крупный алевроит	20	17	35	55	22	150	350	3.09	12.8
Мелкоалевритовый ил	40	20	32	50	25	120	300	4.52	26.0
Алевроитово-глинистый ил	30	20	40	60	30	100	400	2.35	53.8
Регрессия									
Песок	80	13	50	86	16	93	870	3.02	10.66
Крупный алевроит	100	17	36	110	17	120	930	3.39	11.84
Мелкоалевритовый ил	120	26	80	140	46	130	1420	4.05	15.77
Алевроитово-глинистый ил	100	40	70	200	40	100	200	1.55	15.49

Таким образом, барьерные зоны «берег-водохранилище» и «река-водохранилище» являются важнейшими областями концентрации осадкообразующего материала, поступающего в Ангарские водохранилища. Скорости осадконакопления, фракционный и элементный составы донных отложений в БЗ существенно меняются в различные временные отрезки, что обусловлено, в значительной степени, наличием региональных трансгрессий и регрессий, связанных с управляемым режимом эксплуатации водохранилищ, который определяет пространственное положение барьерных зон, питающие источники, темпы осадконакопления и элементный состав донных осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Процессы терригенной седиментации в морях и океанах. М.: Наука, 1991. 271 с.
2. Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане. Осадко- и рудообразование, геоэкология. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 416 с.
3. Аникеев В.В., Дударев О.В., Колесов Г.М. и др. // Геохимия. 2001. № 1. С. 71–94.
4. Лисицын А.П. // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–743.
5. Емельянов Е.М. // Геохимия осадочного процесса в Балтийском море. М.: Наука, 1986. С. 5–25.
6. Лисицын А.П. // Геология морей и океанов. Тезисы VII Всесоюзной школы морской геологии. Т. 1. М.: ИО АН СССР, 1984. С. 220–222
7. Карнаухова Г.А. Седиментационная система реки Ангары после зарегулирования стока // ДАН. 2007. Т. 413. № 4. С. 507–509.
8. Карнаухова Г.А. Литолого-геохимическая барьерная зона реки Ангары // ДАН. 2007. Т. 415. № 2. С. 223–224.
9. Карнаухова Г.А. Трансгрессивно-регрессивные циклы осадконакопления в водохранилищах Ангарского каскада как следствие «навязанного» уровня режима // Осадочная геология Урала и прилежащих регионов: сегодня и завтра. Материалы 12 Уральского литологического совещания, Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. С. 122–124.
10. Карнаухова Г.А. Управляемый уровень режим как ведущий фактор цикличности трансгрессивно-регрессивного осадкообразования в водохранилищах Ангарского каскада // International Conference «Freshwater Ecosystems – Key Problems». 10–14 September, 2018, Irkutsk: LLC «Megaprint», 2018. С. 178–179.

The results of studying the composition of bottom sediments in the barrier zones “shore-reservoir” and “river-reservoir” in the conditions of controlled level regime of Angara reservoirs are presented. It is established that such a regime leads to alternation of regional transgressions and regressions and changes in the elemental composition of bottom sediments in the barrier zones.

**Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Баранов Б.В.,
Немировская И.А., Коченкова А.И.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
e-mail: klyuvitkin@ocean.ru)

**Комплексные исследования седиментационной системы
Западной Арктики в 75-рейсе НИС «Академик Мстислав
Келдыш» в июне 2019 г.**

**Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Baranov B.V.,
Nemirovskaya I.A., Kochenkova A.I.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Comprehensive studies of sediment system of the Western
Arctic during 75th cruise of the RV Akademik Mstislav Keldysh
in June 2019**

Ключевые слова: эндогенное вещество, гидротермальные источники, гидрологическая структура, придонные течения, осадочное вещество, вертикальный поток, водная взвесь, Норвежское море, Гренландское море, Баренцево море

Представлены первые результаты мультидисциплинарных исследований в Северной Атлантике и прилегающей Арктике (Норвежское, Гренландское и Баренцево моря) в июне 2019 г. в 75-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш». Основная цель работы – продолжение исследований современной седиментационной системы и получение материала для высококоразрешающих реконструкций палеоклиматических изменений в этом районе океана.

Северная Атлантика и Западная часть Евразийской Арктики играют ключевую роль в системе формирования климата Земли вследствие ее влияния на баланс тепла на границе океан–атмосфера и глобальную циркуляцию. Процессы, определяющие температуру в Арктике, являются одними из наиболее чувствительных элементов окружающей среды. Большая часть морской воды в Северном Ледовитом океане приходит из Атлантического океана через пролив Фрама и Баренцево море. В теплые годы возрастают объем и дальность проникновения теплых атлантических вод в Арктику, а вместе с ними тепла и вещества, как в северном направлении через пролив Фрама, так и в восточном направлении через Баренцево море вплоть до морей Сибирской Арктики.

Северная Атлантика, Норвежско-Гренландский бассейн и Баренцево море – главная система, формирующая климат Европы. Все это определяет актуальность получения нового материала для изучения процессов водообмена, современных условий и процессов осадконакопления и реконструкций климатических изменений в прошлом на основе комплексных

геохимических и микропалеонтологических исследований на границе контакта Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики [1].

Основные цели экспедиции:

1. Сопряженные седименто-биогеохимические и геологические исследования системы рассеянное осадочное вещество приводного слоя атмосферы и водной толщи – верхний слой осадка – подстилающая толща донных отложений; количественная оценка процессов и потоков, что является качественно новым этапом в исследовании среды и климата Арктики.

2. Получение новых данных о пространственном распределении и вертикальной структуре рассеянного осадочного вещества Норвежского, Гренландского и Баренцева морей; анализ межгодовой изменчивости в зависимости от океанологических и гидрометеорологических условий.

3. Оценка степени загрязнения экосистемы морей антропогенными углеводородами по данным изучения органических соединений состава донных осадков.

Основными задачами экспедиции были изучение концентрации и состава аэрозолей, включая сажевый углерод; изучение рассеянного осадочного вещества в водной толще; оценка вертикальных потоков вещества с помощью седиментационных ловушек и изучение состава частиц, составляющих этот поток; изучение подстилающей толщи донных отложений: микропалеонтологические, геохимические, биогеохимические, петрографические, геохронологические исследования; изучение степени влияния гидротермальных полей хребта Мона на условия и процессы седименто- и рудогенеза; изучение пирокластики (четвертичной и современной) в донных осадках и отложениях Норвежско-Гренландского бассейна; изучение петрографии грубообломочного материала для оценки влияния ледового разноса и роли криосферы в общей седиментационной системе Западной Арктики; петрографические и литохимические исследования на хребте Мона: Fe-Mn корки, сульфиды, баритовые рудные “столбы” и др. как показатели особых физико-химических условий седиментации, а также базальтовые брекчии, милониты и т.д.; изучение строения верхней осадочной толщи с помощью акустического профилирования; изучение высачивания природных и поступления антропогенных углеводородов; выявление природных и техногенных геохимических аномалий в донных отложениях; исследование процессов трансформации нефтяных углеводородов, состава микробных сообществ донных осадков и поиск углеводородокисляющих микроорганизмов.

Экспедиция была начата в п. Калининград и завершена в п. Архангельск и проходила с 27 мая по 30 июня 2019 г. В экспедиции пройдено 5800 морских миль. Район работ представлен на рисунке.

Исследования проводились на дрейфовых станциях, разрезах в мелководных шельфовых и глубоководных районах Норвежского, Гренландского и Баренцева морей на глубинах 50–3800 м.

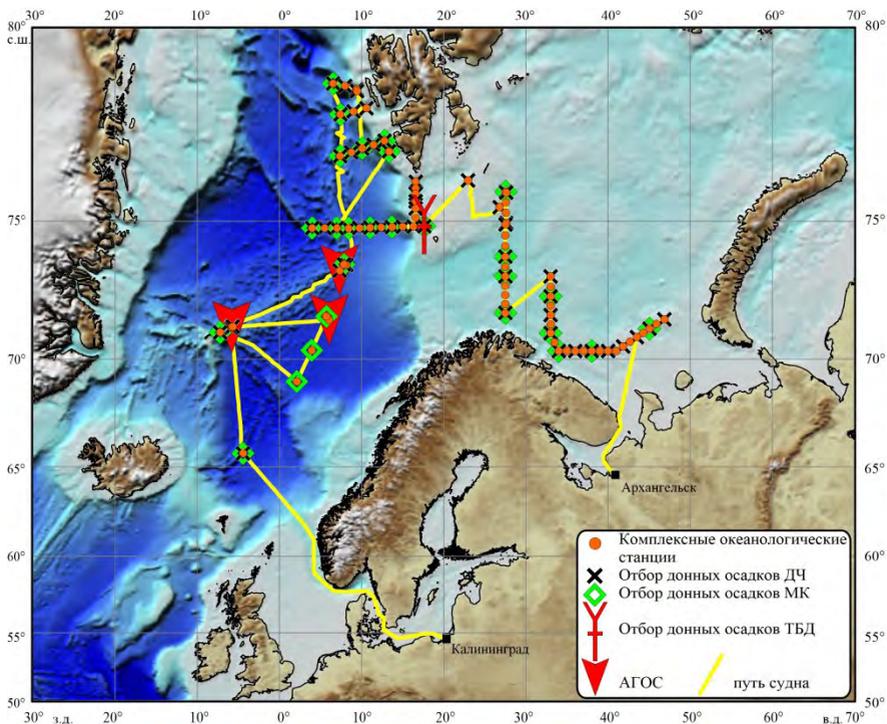


Рисунок. Маршрут экспедиции и выполненные работы.

За период экспедиции было выполнено 91 океанографическая станция. За время экспедиции судном пройдено 5800 морских миль.

В ходе экспедиционных исследований было выполнено:

Гидрофизические зондирования CTD-зондом SBE911 с получением данных по температуре, солености, флуоресценции, мутности и кислороду (89 зондирований); отбор проб воды для изучения водной взвеси с поверхности и в толще моря с помощью океанографического комплекса SBE911 (68 станций); выделение органических соединений из взвеси (для анализа в стационарной лаборатории) – 77 проб; отбор проб зоопланктона сетью Джеди (41 станция); отбор проб поверхностных донных осадков дночерпателем «Океан-50» на литологические, геохимические и экологические исследования (80 станций); отбор проб поверхностных донных осадков мультикорером Mini Muc K/MT 410 на литологические, геохимические и экологические исследования (80 станций); отбор проб донных осадков гравитационным геологическим пробоотборником ГПП-8-147 (ТБД) на литологические, геохимические и экологические исследования (1 станция); определение влажности осадков – 147 проб; выделение органических соединений из донных осадков – 132 пробы; собрано и обработано 20 проб макробентоса; постановка, поиск

и подъем временных и ранее поставленных (71-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», август 2018 г.) автоматических глубоководных седиментационных обсерваторий АГОС с седиментационными ловушками и измерителями течений (подняты и поставлены 3 АГОС); батиметрическая съемка по маршруту движения судна – 3760 миль (6963 км).

Район исследований охватывал различные морфологические и структурные области Северной Атлантики. Они включали в себя активные срединно-океанические хребты Мона и Книпович, отмерший хребет Аегис, глубоководные котловины Норвежского и Гренландского морей, континентальный склон архипелага Шпицберген, желоба трог на континентальной окраине Баренцева моря. Для этих структур были составлены как генеральные, так и локальные батиметрические профили, а для участков детальных исследований в пределах гидротермальных полей подготовлены батиметрические карты.

Выполнен ряд разрезов по гидрологическим параметрам субширотного и субмеридионального простирания, что позволит оценить сезонный перенос атлантических вод в арктический бассейн, выявить положение и влияние Полярного фронта на структуру вод, планктонное сообщество и, соответственно, на особенности формирования водной взвеси в исследуемое время года.

В гидрофизической структуре вод отмечается режим, характерный для весенне-летнего сезона.

Наиболее высокие концентрации взвеси визуально установлены в верхнем перемешанном слое, в придонном нефелоидном слое. В поверхностных водах наибольшие концентрации взвеси зафиксированы в акваториях, прилегающих к кромке льда, в зоне действия Полярного фронта, а также в относительной близости берега.

Отбор проб донных осадков дночерпателем, мультикорером и ТБД выполнен на 80 станциях. Отобраны пробы на литологические, геохимические и экологические исследования.

За время экспедиции в Норвежском море были поставлены и подняты три АГОС, в составе которых для изучения вертикальных потоков вещества задействованы четыре 12-стаканные седиментационные ловушки Лотос-3 и 38 интегральных МСЛ-110.

Успешно выполнены работы на четырех гидротермальных полях, расположенных в пределах разломной зоны Ян-Майен (650 м глубина моря) в южной части хребта Мона – заполярного участка Срединно-Атлантического хребта (САХ). У дна выявлены аномалии температуры, плотности, концентрации кислорода, растворенного метана, углекислого газа, взвеси и других параметров. Отобраны пробы воды, взвеси, гидротермально измененные пески, образцы гидротермальных построек, железистые конкреции в районе диффузных потоков, а также марганцевые

корки, образующие сплошные покровы гидроксидов марганца и железа на вулканических поднятиях.

Исследовали обширное гидротермальное поле Локи Касл на севере хребта Мона (глубина 2400 м). Также отобраны пробы воды, взвеси, металлоносные донные осадки, образцы гидротермальных построек.

Впервые проводится сравнение гидротермальной минерализации полей низкосрединного хребта Мона ($71^{\circ}15' - 73^{\circ}30'$ с.ш.) и ранее изученных полей САХ на отрезке $14^{\circ}45' - 37^{\circ}30'$ с.ш. Подтверждается влияние глубины океана и РТ-условий на формирование гидротермальных пород. Впервые получены данные о потоках рассеянного осадочного вещества на гидротермальных полях юга хребта Мона.

Выполнен отбор донных осадков и проб воды в местах выходов метаносодержащих растворов и газовых струй из осадочных толщ (холодные метановые сипы) на бровке шельфа вдоль западного побережья арх. Шпицберген, а также в желобе Стурфьорд и на северной периферии Медвежинского желоба.

В желобе Квейтола к северо-западу от о. Медвежий отобрана колонка донных осадков длиной 7,05 м. Вскрыта толща донных осадков дрейфа Квейтола, насыщенных органическим веществом (присутствовал запах сероводорода) с включениями целых раковин двусторчатых моллюсков (перспективных для установления абсолютного возраста осадков радиоуглеродным методом) и их фрагментов. Колонка представляет интерес для исследования климатических колебаний, миграций Полярного фронта и палеопродуктивности изученной акватории Арктики за последние ~7 тыс. лет.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну за общее руководство работами, а также капитану Ю.Н. Горбачу, команде и всему научному составу за помощь в экспедиции. Финансирование судосудок осуществлялось из средств госзадания «Перевозка пассажиров и (или) грузов при обеспечении научных исследований». Финансирование участия научного состава экспедиции осуществлялось в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № 0149-2019-0007, а также по теме грантов РФФИ № 19-17-00234 и РФФИ № 19-05-00787.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // *Мировой океан*. Т. II. / Отв. ред. Л.И. Лобковский, Р.И. Нигматулин. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.

First results of multidisciplinary researches of the Northern Atlantic and adjacent Arctic Ocean on June 2019 during the 75th cruise of the RV *Akademik Mstislav Keldysh* are presented. Main goal is studying the modern sedimentation system and obtaining material for high-resolution reconstructions of climate changes in this region of the ocean.

Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Лисицын А.П.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,

e-mail: klyuvitkin@ocean.ru)

Вертикальные потоки осадочного вещества в Черном море

Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Lisitzin A.P.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Vertical particle fluxes in the Black Sea

Ключевые слова: седиментационные ловушки, осадочное вещество, вертикальный поток, водная взвесь, Черное море, сероводород

Представлены результаты исследований вертикальных потоков осадочного вещества в Черном море по материалам годовой работы автоматической глубоководной седиментационной обсерватории (АГОС).

Исследование рассеянного осадочного вещества и его компонентов необходимо для понимания процессов современного осадконакопления и расшифровки показаний такого природного палеоклиматического самописца, как донные осадки, которые формируются в процессе осаждения и дальнейшего преобразования взвеси в осадочную толщу [1].

Взвесь формируется преимущественно в верхней части водной толщи в результате взаимодействия вещества различных геосфер (литосферы, атмосферы, гидросферы, криосферы, биосферы) [2]. Сложные процессы осадконакопления в Черном море определяются сочетанием различных источников осадочного материала (продукция фитопланктона, твердый и растворенный сток рек, аэрозольная поставка, абразия берегов, местами донная эрозия), а также различных механизмов его переноса и осаждения. Исключительная особенность Черного моря – это сероводородное заражение его глубоководной части, что не может не оказывать влияние на процессы формирования потока рассеянного осадочного вещества.

Работы по изучению короткопериодной изменчивости осадочного процесса в прибрежных районах Черного моря проводятся относительно регулярно [3–7]. Долгосрочные исследования вертикальных потоков осадочного вещества в открытой части моря активно проводились в 80-х годах XX века [8, 9]. Основная цель нашей работы – получение новых данных о сезонной изменчивости вертикальных потоков осадочного вещества, его состава и трансформации в ходе осаждения на дно по материалам годовой экспозиции седиментационных ловушек в центральной части Черного моря (рисунок).

Материал собирался в течение года с ноября 2015 г. по ноябрь 2016 г. с помощью седиментационных ловушек (СЛ) на шести горизонтах в составе АГОС у подножия северо-западного склона глубоководной котловины Черного моря при глубине моря 1800 м [10].

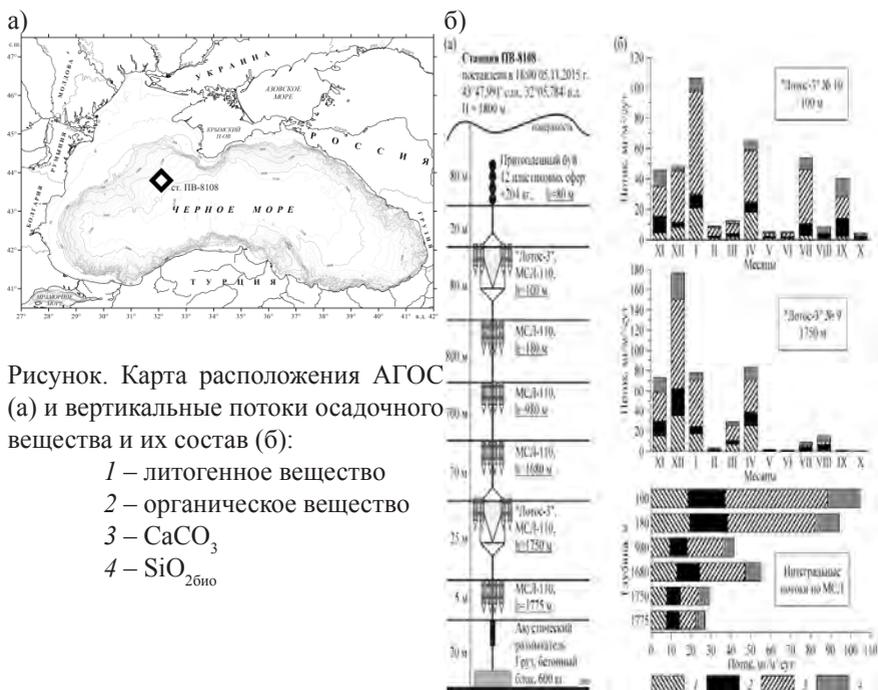


Рисунок. Карта расположения АГОС (а) и вертикальные потоки осадочного вещества и их состав (б):

- 1 – литогенное вещество
- 2 – органическое вещество
- 3 – CaCO_3
- 4 – $\text{SiO}_{2\text{бно}}$

Использованы два типа СЛ: 12-стаканные «Лотос-3» (ОКБ ОТ РАН) и интегральные МСЛ-110 (ИО РАН). Пробосборники заполняли раствором дихлорида ртути (до 1% от насыщенного раствора) с соленостью, в 2,5 раза превышающей соленость морской воды (~50‰).

В лабораториях ИО РАН и ИНМИ РАН определяли суммарное количество материала в каждой пробе для расчета вертикального потока, а также содержание основных взвесеобразующих элементов (Si , Al , $\text{C}_{\text{орг}}$, $\text{C}_{\text{карб.}}$, $\delta^{13}\text{C-C}_{\text{орг}}$).

Содержание литогенного вещества $\text{ЛВ} = \text{Al} \cdot 10$, $\text{CaCO}_3 = \text{Скарб} \cdot 8.33$, органическое вещество $\text{ОВ} = 2 \cdot \text{Сорг}$, аморфный кремнезем ($\text{SiO}_{2\text{бно}}$) рассчитывали методом терригенной матрицы по разнице содержаний валового SiO_2 и литогенного [11].

Состав частиц ловушечного материала изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЕМ) VEGA-3sem TESCAN (Чехия) с системой рентгеноспектрального микроанализа Oxford INCA Energy 350 (Великобритания).

Вертикальные потоки осадочного вещества варьировали от 2 до 183 $\text{мг}/\text{м}^2/\text{сут}$ при среднем значении 45 $\text{мг}/\text{м}^2/\text{сут}$. Величина интегральных потоков убывала с глубиной более чем в 2 раза (рисунок, б). Такие значения, в целом, характерны для Черного моря. Так, в ходе черноморского ловушечного

эксперимента в 1982–1985 гг. в южной части моря зафиксированы более высокие средние потоки 95 мг/м²/сут близ турецкого побережья (40 км) под воздействием стока рек и несколько ниже на значительном удалении от берега (80 км) 15–37 мг/м²/сут (в зависимости от горизонта) [8]. В июне 2007 и 2011 гг. в районе г. Геленджика среднее значение суммарного потока составляло 44 и 67 мг/м²/сут, соответственно [6, 7].

Выделяются три основных сезонных максимума осаждающегося вещества: осенне-зимний, весенний и летний. Наиболее интенсивный из них – осенне-зимний.

Состав вещества потоков. Распределение вертикальных потоков основных взвесеобразующих компонентов по сезонам (ЛВ, CaCO₃, ОВ, SiO_{2(био)}) в целом повторяло распределение величин потоков. Однако соотношение этих компонентов в ловушечном веществе значительно варьирует в течение года (рисунок, б).

В осаждающемся материале преобладало биогенное вещество (CaCO₃+ОВ+SiO_{2(био)}), достигая в отдельных пробах ~100%. Содержание CaCO₃ в подповерхностном слое составляло в среднем 55%, с максимумами (85–99%) зимой, а также в июле и сентябре. В придонном слое – в среднем 25%, достигая 40–64% в ноябре–марте.

CaCO₃ – основной потокообразующий компонент открытой части Черного моря, что подтверждают данные литературы по юго-западной части моря [3]. Для прибрежных районов CaCO₃ – второй по значимости компонент после ЛВ и остается главным в составе биогенной части потока [7–9]. Для примера в Каспийском море содержание CaCO₃ в потоке не превышало 30% [11].

Основными карбонатконцентрирующими биогенными частицами в составе потоков в Черном море являются кокколитофориды *Emiliana huxleyi*, что соответствует данным многолетних исследований фитопланктона [12]. Этот вид встречался повсеместно во всех пробах, а в декабре и январе преобладал в пробах ловушечного вещества, соответствуя, очевидно, поздне-осеннему пику их цветения [13].

Июньский пик цветения *Emiliana huxleyi* [12] фиксируется увеличением содержания CaCO₃ в потоке в июле в подповерхностном слое.

Доля ОВ в составе потока относительно невелика, и составляет в среднем 24% и 12% для подповерхностного и придонного слоев, соответственно. В формирование потока наибольший вклад ОВ вносит летом (август–сентябрь), достигая 75% в сентябре в подповерхностном слое. Небольшое увеличение содержания ОВ также наблюдалось зимой (ноябрь–декабрь).

Значение изотопного состава C_{орг} варьировало в пределах -25.2 ÷ -29.2‰ в подповерхностном слое и -24.3 ÷ -28.8‰ в придонном. Преимущественно изотопно-легкий состав Сорг указывает на преобладание терригенного ОВ в осадочном веществе. В пробах часто встречались пыльца и волокна наземных растений.

Содержание $\text{SiO}_{2\text{био}}$ составляло в среднем 15% с ярко выраженным синхронным максимумом в подповерхностном (до 31%) и в придонном (до 39%) слоях в марте–апреле. Повышенное содержание $\text{SiO}_{2\text{био}}$ наблюдалось в июле–сентябре (27–30%) и в ноябре–декабре (20%). Весенний максимум (март–апрель) $\text{SiO}_{2\text{био}}$ обусловлен преобладанием диатомовых водорослей в составе осаждающегося вещества. Было показано, что весенний пик их цветения наблюдается в феврале–апреле [14, 15].

Содержание ЛВ в составе потока в течение года изменялось слабо и варьировало, в основном, в пределах 10–20%, увеличиваясь в осенне-зимние и весенние месяцы. В формировании потока в подповерхностном слое наибольшее значение ЛВ имело в декабре–феврале (до 21%) и в апреле–мае (до 28%), в придонном – в декабре–апреле (до 24%). Относительно низкое содержание ЛВ в осаждающемся веществе обусловлено удалением от берега. Для сравнения, в июне 2011 г. на северо-восточном склоне моря (вблизи Геленджика) содержание ЛВ в потоке достигало 80% [7]. Сходные величины наблюдались в южной части моря, находящейся под влиянием стока рек Турции [9].

По данным СЕМ ЛВ представлено в основном агрегатами частиц пелитовой размерности (<10 мкм), встречаются отдельные алевритовые зерна кварца, полевых шпатов (до 20 мкм). Встречаемость минеральных частиц возрастает весной.

В слое 180 м в следовых количествах обнаруживается аутигенный пирит в виде агрегатов – фрамбоидов (до 5 мкм), т.е. в зоне сероводородного заражения моря, что ранее отмечалось в работе [3]. С глубиной содержание пирита возрастает до 8%, также увеличивается размер фрамбоидов – до 10 мкм.

Пирит в виде отдельных индивидов сферической морфологии и в фрамбоидах был обнаружен авторами не только в ловушечном веществе, но и во взвеси, собранной методом фильтрации. Во взвеси пирит фиксировался в сероводородной зоне, а также за ее пределами в придонном слое на шельфе.

Проведенные исследования позволили выявить синхронный сезонный ход изменчивости величин потока вещества в глубинном и подповерхностном слоях с максимумами в ноябре–январе, марте–апреле и июле–сентябре. При этом зимний пик потока обусловлен цветением кокколитофорид, а весенний – цветением диатомовых водорослей. Летний максимум значительно ниже зимнего и весеннего, т.е. весьма вероятно, что наиболее интенсивное осадконакопление в центральной части Черного моря происходит зимой–весной.

В составе осаждающегося вещества преобладает биогенный материал (микроводоросли, органические волокна, пыльца наземных растений, споры), доля ЛВ возрастает в весенне-летние месяцы. Основной потокообразующий компонент – биогенный CaCO_3 .

Величина интегрального потока в водной толще уменьшалась с глубиной. При этом в составе потока возростала доля ЛВ и $\text{SiO}_{2\text{био}}$ на фоне незначительного уменьшения содержания биогенного CaCO_3 .

Работы выполнены в рамках Госзадания ИОРАН № 0149-2019-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. В кн.: Мировой океан. Т. II. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
2. Лисицын А.П. В кн.: Глобальные изменения природной среды – 2001. Новосибирск: Издательство СО РАН, филиал “Гео”. 2001. С. 163–249.
3. Tambiev S.B. // SCOPE/UNEP Sonderband Heft 62. Hamburg, 1987. P. 41–54.
4. Денисов В.И., Черноусов С.Я. // Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2007. С. 23–25.
5. Русаков В.Ю., Шимкус К.М., Зернова В.В. и др. // Океанология. 2003. Т. 43. № 3. С. 459–468.
6. Ключиткин А.А., Новигатский А.Н., Филиппов А.С., Якушев Е.В. // Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2007. С. 31–33.
7. Ключиткин А.А., Островский А.Г., Новигатский А.Н., Лисицын А.П. // Доклады Академии наук. 2016. Т. 469. № 3. С. 356–360.
8. Hay B.J., Honjo S., Kempe S. et al. // Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1990. Vol. 37(6), 911–928.
9. Honjo S., Hay B.J., Manganini S.J. et al. // SCOPE/UNEP Sonderband Heft 62. Hamburg, 1987. P. 19–39.
10. Ключиткин А.А., Козина Н.В., Реджепова З.Ю. и др. // Океанология. 2017. Т. 57. № 5. С. 838–840.
11. Лисицын А.П., Лукашин В.Н. // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464. № 2. С. 220–226.
12. Микаэлян А.С., Силкин В.А., Паутова Л.А. // Океанология. 2011. Т. 51. № 1. С. 45–53.
13. Суханова И.Н. // Докл. РАН. 1995. Т. 340. № 2. С. 256–259.
14. Георгиева Л.В., Сеничкина Л.Г. // Экология моря. 1996. Вып. 45. С. 6–13.
15. Finenko Z.Z. // The Black Sea Environment. Hdb Env Chem. 2008. Vol. 5. Part Q. P. 351–374.

The results of studies of vertical particle fluxes of sedimentary matter in the Black Sea are presented based on the annual work of the automatic deep-water sedimentation observatory (ADOS).

**Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н.,
Коченкова А.И.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
e-mail: klyuvitkin@ocean.ru)

**Вертикальные потоки осадочного вещества в Лофотенской
котловине Норвежского моря по данным АГОС 2017–
2018 гг.**

**Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N.,
Kochenkova A.I.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Vertical particle fluxes in the Lofoten Basin of the Norwegian
Sea according to ADOS data of 2017–2018**

Ключевые слова: седиментационные ловушки, осадочное вещество, вертикальный поток, водная взвесь, Норвежское море

Представлены результаты исследований вертикальных потоков осадочного вещества в Лофотенской котловине Норвежского моря по материалам годовой работы автоматической глубоководной седиментационной обсерватории (АГОС).

Изучение осадочного вещества от его формирования до отложения на дно – важнейшая задача современной седиментологии. Рассеянное осадочное вещество, взвешенное в многокилометровой толще вод океанов, является тем материалом, из которого, в конечном счете, образуются донные осадки и осадочные породы [1]. Потоки осадочного вещества в океане – это одна из основных количественных характеристик осадкообразования, которая позволяет в динамике изучать процессы седиментации осадочного вещества, преобразование его при прохождении водной толщи, оценивать количество и состав вещества, поступающего на дно.

Северная Атлантика и Норвежско-Гренландский бассейн – главная система, формирующая климат Европы. Все это определяет актуальность получения нового материала для изучения процессов водообмена, современных условий и процессов осадконакопления на границе контакта Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики.

Материал для исследования собирался в течение 380 суток с 22.07.2017 г. по 06.08.2018 г. с помощью автоматической глубоководной седиментационной обсерватории (АГОС) в Лофотенской котловине (рис. 1). Район исследования приурочен к основной струе теплого Норвежского течения. Для сбора осаждающегося материала использовались 12-стаканные конические седиментационные ловушки «Лотос-3» с площадью сбора 0.5 м² производства

ОКБ ОТ РАН, которые позволяют получить непрерывный во времени (до года и более) ряд проб осаждающего вещества с заданной экспозицией (1 месяц). «Лотос-3» были установлены под верхним деятельным слоем (550 м) и в придонном слое (50 м от дна). Для исключения биологической трансформации собираемого вещества флаконы-пробосборники ловушек заполнялись раствором HgCl_2 (1% от насыщенного раствора). Соленость фиксирующего раствора доводилась добавлением NaCl до двухкратной солености морской воды на горизонте постановки ловушки (~70 епс) для исключения вымывания фиксирующего раствора из пробосборников.

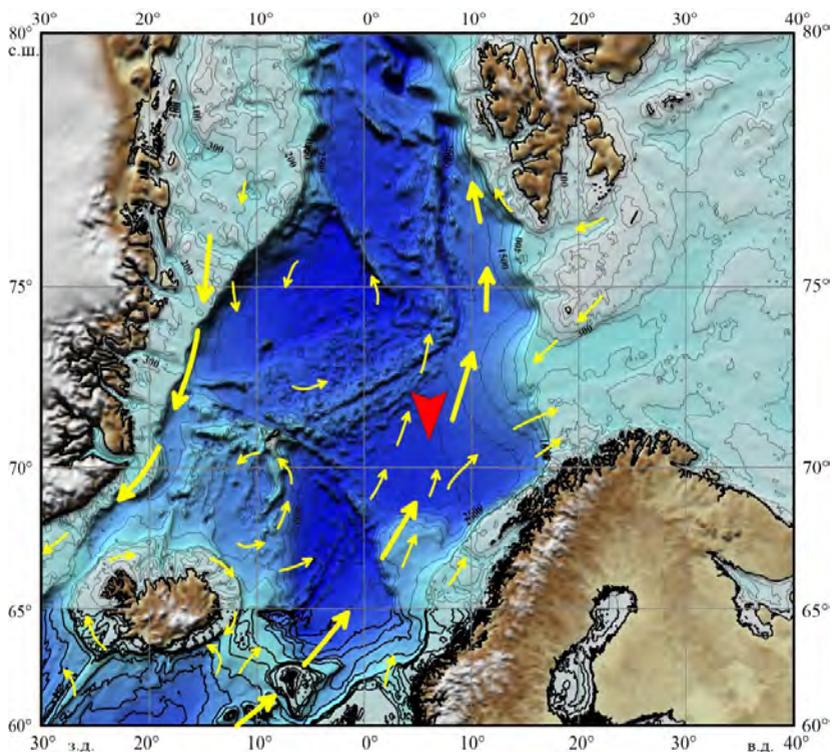


Рисунок 1. Положение станции и основные течения по [2].

При постановке и подъеме ловушек с помощью судовых зондирующих систем (SBE911 и др.), оснащенных батометрами Нискина, проводился отбор проб морской воды для изучения водной взвеси. Дальнейшая обработка собранного осадочного материала и взвеси проводилась по единой для всех проб методике. Каждую ловушечную пробу предварительно промывали через сито с размером ячеек 1 мм (для удаления заплывшего зоопланктона), а затем фильтровали под вакуумом через предварительно взвешенные

ядерные фильтры диаметром 47 мм и размером пор 0.4 мкм для определения величины суммарных потоков и дальнейших исследований состава вещества. Одновременно вели фильтрацию через прокаленные при температуре 450°C стекловолнистые фильтры Whatman GF/F для определения содержания общего, органического ($C_{\text{орг}}$) и карбонатного ($C_{\text{карб}}$) углерода.

Химический состав осадочного вещества определялся в Лаборатории физико-геологических исследований ИО РАН. Определение основных компонентов химического состава проб взвеси (Si, Al, P) проводилось фотометрическим методом по методике ГЕОХИ РАН [3] в модификации А.Б. Исаевой для взвеси (точность 2–5%), аналитик Е.О. Золотых. Углерод определяли методом кулонометрического титрования на анализаторе АН-7529 (Россия), точность 5–10%, аналитик Л.В. Демина.

Данные о химическом составе вещества позволили идентифицировать основные взвесеобразующие компоненты:

- 1) литогенное вещество (ЛВ) рассчитывали по содержанию Al, исходя из среднего состава земной коры [4];
- 2) органическое вещество (ОВ), индикатором которого является Сорг, определялось умножением значения этой величины на 2 [5, 6];
- 3) CaCO_3 рассчитывали умножением на $100/12 C_{\text{карб}}$, который, в свою очередь, вычисляли по разнице $C_{\text{общ}}$ и $C_{\text{орг}}$;
- 4) аморфный кремнезем ($\text{SiO}_{2\text{ам}}$) определялся методом терригенной матрицы по разнице содержаний валового кремнезема и терригенного.

Сумма ЛВ, ОВ, CaCO_3 и $\text{SiO}_{2\text{ам}}$ составляла в среднем 100% при незначительном отклонении в пределах 15%.

Анализ материала многостаканных ловушек показал значительную изменчивость потока вещества в течение года в подповерхностном слое, и относительную однородность потока в придонном слое (рис. 2). При этом в подповерхностном слое (что уже отмечалось ранее в наших исследованиях [7]), годовой ход потоков достаточно плавный и, очевидно, совпадает с жизненным циклом фитопланктона. Потоки вещества в подповерхностном слое максимальны в сентябре (191.4 мг/м²/сут), и относительно высоки в прилегающие месяцы (август – 59.7 мг/м²/сут, октябрь – 37.2 мг/м²/сут). В остальное время величины потоков колеблются в пределах 6.6–14.7 мг/м²/сут, достигая своего минимума в марте–апреле (2.6 мг/м²/сут).

В придонном слое поток определяется, очевидно, изменчивостью придонного нефелоидного слоя, мощность которого по данным STD-зондирования с использованием нефелометра составляет более 300 м. Концентрация взвеси, полученная фильтрационным методом в августе 2018 г., также возрастает в придонном слое относительно промежуточных «чистых» вод (0.11 и 0.05 мг/л соответственно). Величины потоков здесь в среднем значительно выше, чем в подповерхностном слое (221.0 и 30.6 мг/м²/сут соответственно).

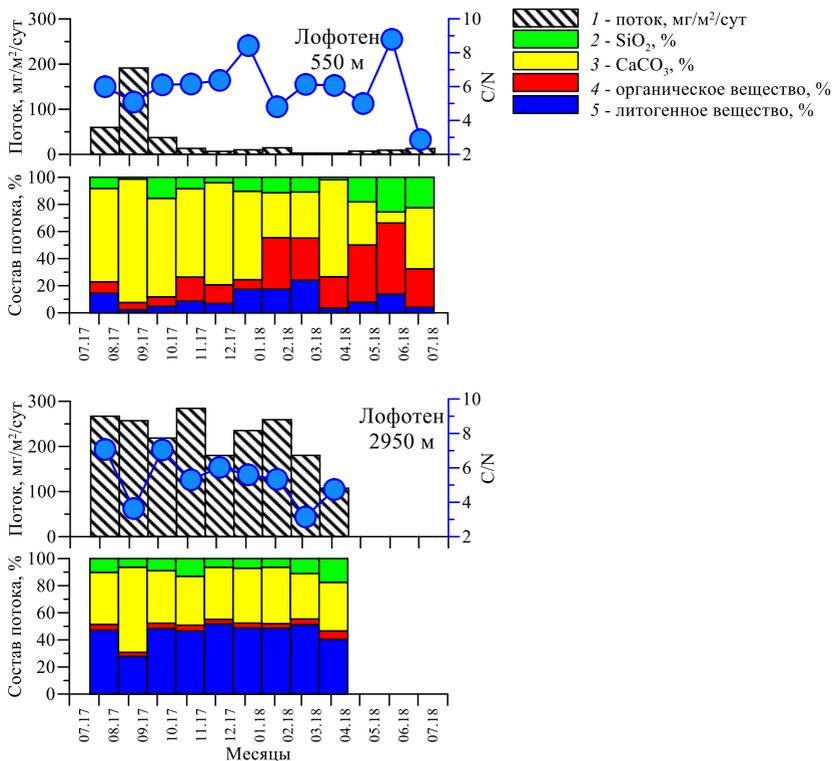


Рисунок 2. Внутригодовая изменчивость вертикальных потоков вещества (мг/м²/сут) в Лофотенской котловине и основные компоненты потока.

В составе потоков в подповерхностном слое преобладает «биогенная триада взеси» = карбонат кальция + органическое вещество + аморфный кремнезем, причем при максимальных потоках наибольшую роль играет взвешенный карбонат кальция. Значение C/N-отношения изменялось от 2,9 до 8,8, в большинстве случаев находясь в пределах 5–6,5.

Доля литогенного материала не превышает 20%, при этом максимум приходится на сезоны, характеризующиеся минимальными суммарными потоками вещества.

В придонном слое доля литогенного вещества резко возрастает и достигает 50% от суммарного вещества ловушек, минимум литогенного вещества зафиксирован в сентябре 2019 г. и совпадает с резким увеличением величины потока в подповерхностном слое. И так же возрастает содержание в потоке взвешенного карбоната кальция.

За исключением сентября 2019 г., состав потоков в придонном слое практически не изменяется, что подтверждает происхождение существенной

доли вещества потока из придонного нефелоидного слоя за счет взмучивания и переотложения верхнего слоя донных осадков. C/N отношение, в целом, ниже, его изменчивость проявляется слабее.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну за общее руководство работами, а также капитану Ю.Н. Горбачу, команде и всему научному составу за помощь в экспедициях.

Сбор и анализ проб выполнен при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 19-05-00787 и № 19-05-00022. Работа выполнена в рамках госзадания по теме № 0149-2019-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. Т. II. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли / Под ред. Лобковского Л.И. и Нигматулина Р.И. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
2. Jansen E., Erlenkeuser H. Ocean circulation in the Norwegian Sea during the last deglaciation: isotopic evidence // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1985. V. 49. P. 189–206.
3. Гельман Е.М., Старобина И.З. Фотометрические методы определения породообразующих элементов в рудах, горных породах и минералах. ГЕОХИ АН СССР, Центральная лаборатория, Сектор химических методов анализа. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1976. 69 с.
4. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on geochemistry*. 2014. V. 4. P. 1–51.
5. Bauerfeind E., Nothig E.-M., Beszczynska A. et al. Particle sedimentation patterns in the eastern Fram Strait during 2000–2005: Results from the Arctic long-term observatory HAUSGARTEN // *Deep-Sea Res. I*. 2009. V. 56. P. 1471–1487.
6. Fischer G., Romero O., Merkel U. et al. Deep ocean mass fluxes in the coastal upwelling off Mauritania from 1988 to 2012: variability on seasonal to decadal timescales // *Biogeosciences Discuss*. 2015. V. 12. P. 17643–17692.
7. Ключиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Колтовская Е.В. Исследования потоков осадочного вещества на многолетнем трансокеаническом разрезе в зоне взаимодействия Северной Атлантики и Арктики // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 3. С. 454–465.

The results of studies of vertical particle fluxes of sedimentary matter in the Lofoten basin of the Norwegian Sea are presented based on the annual work of the automatic deep-water sedimentation observatory (ADOS).

**Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В.,
Колтовская Е.В., Коченкова А.И.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
e-mail: klyuvitkin@ocean.ru)

**Исследования потоков осадочного вещества на
многолетнем трансокеаническом разрезе в зоне
взаимодействия Северной Атлантики и прилегающей
Арктики**

Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Politova N.V.,

Koltovskaya E.V., Kochenkova A.I.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Vertical particle flux studies along multiyear transoceanic
section in Northern Atlantic and Arctic interaction area**

Ключевые слова: седиментационные ловушки, осадочное вещество, вертикальный поток, водная взвесь, море Ирмингера, Исландский бассейн, хребет Рейкьянес

Приводятся новые данные о потоках осадочного вещества и основных его компонент на меридиональном разрезе по 59°30' с.ш. в Северной Атлантике под воздействием разнонаправленного переноса водных масс по материалам двухгодичной работы трех автоматических глубоководных седиментационных обсерваторий (АГОС).

Процессы осадконакопления в Северной Атлантике определяются сочетанием различных источников поступления осадочного материала (первичная продукция фитопланктона, аэрозольная поставка, абразия берегов, ледниковый сток, айсберговый и ледовый разнос, донная эрозия и переотложение донных осадков, поставка эндогенного вещества из спрединговой зоны хребта Рейкьянес), а также различных механизмов его переноса и осаждения.

Исключительная особенность Северной Атлантики – это сложная динамическая система формирования и переноса водных масс, тепла, соли, растворенных элементов и газов в толще океанских вод в зоне взаимодействия Атлантического и Северного Ледовитого океанов. Столь сложная гидрологическая структура вод изучаемого региона активно воздействует на процессы формирования потока рассеянного осадочного вещества. Возрастает роль латерального переноса вещества.

Материал для исследования собирался в течение двух лет с июля 2015 г. по июль 2017 г. с перезарядкой в июле 2016 г. на четырех автоматических глубоководных седиментационных обсерваториях (АГОС) в Северной Атлантике на разрезе по 59°30' с.ш. Положение АГОС приведено на рис. 1.

Использованы два типа СЛ: 12-стаканые «Лотос-3» (ОКБ ОТ РАН) и интегральные МСЛ-110 (ИО РАН).

Для определения источника переноса вещества и для учета латеральной компоненты потока вещества в составе АГОС на горизонтах установки многостаканных ловушек по мере возможности устанавливались акустические измерители течений Nortek Aquadopp и Teledyne RD Instruments DVS.

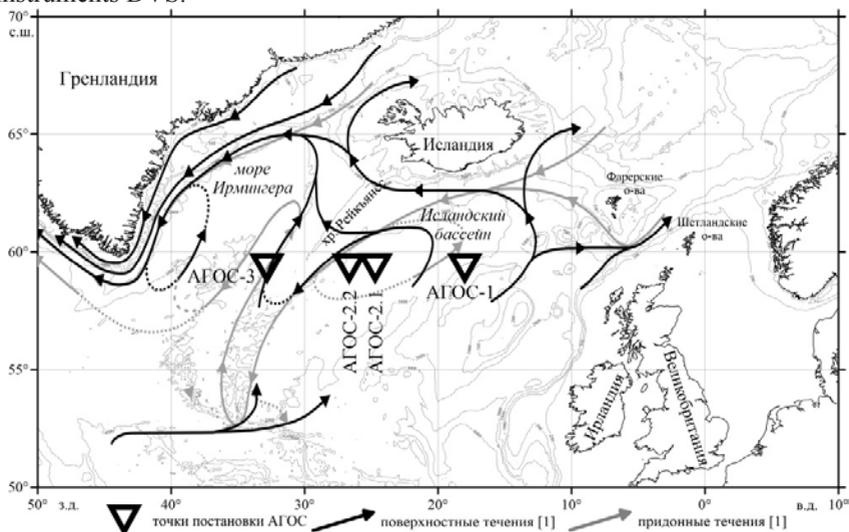


Рисунок 1. Карта-схема района работ.

Полученные данные показали (рис. 2), что придонные течения на склонах хребта Рейкьянес противоположны направлению Северо-Атлантического течения на поверхности океана. Напротив, вне Субарктического круговорота направление течений сохраняется до дна. Наиболее мощный и постоянный поток зафиксирован в придонном слое на восточном склоне хребта Рейкьянес средней струе Северо-восточной глубинной воды (СВГВ) в нижнем звене атлантической ветви глобального конвейера. Движение водных масс в точке работы АГОС-1 привязано, скорее всего, к рециркуляции СВГВ.

В слое промежуточных вод на восточном склоне хребта Рейкьянес имеет место мощный реверсивный (относительно Северо-Атлантического течения) поток вод на юго-запад с высокой средней скоростью 16 см/с.

Интересно, что согласно общепринятой схеме придонной циркуляции в Северной Атлантике [1], генеральный перенос водных масс в районе АГОС-3 направлен на северо-восток, однако по данным наших измерений он проходит в противоположном направлении – на юго-запад (рис. 2).

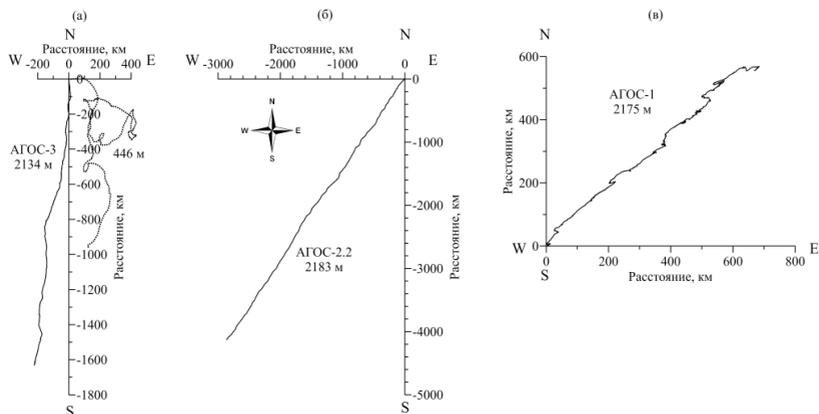


Рисунок 2. Суммарный векторный перенос водных масс через точку измерения течений АГОС-3 (а), АГОС-2 (б) и АГОС-1 (в).

Таким образом, можно говорить, что придонные потоки осадочного вещества на склонах хребта Рейкьянес (АГОС-2 и АГОС-3) формируются в условиях переноса водных масс и, соответственно, взвеси, в юго-западном направлении вдоль хребта со стороны Фареро-Исландского и Гренландско-Исландского порогов. У подножия европейского континентального склона имеет место обратно направленный перенос.

По результатам обработки материала, собранного интегральными ловушками МСЛ-110, величина годовых потоков вещества изменялась от 14.9 до 123.9 г/м²/год. В пространственном отношении в среднем наибольшие потоки зафиксированы на западной оконечности европейского шельфа, наименьшие – в море Ирмингера на западном склоне хр. Рейкьянес (рис. 3).

Для вертикального распределения интегральных потоков характерны максимумы вещества в подповерхностном слое и у дна и минимум в промежуточных водах на горизонтах 1300–1700 м. В общем, вертикальное распределение потоков хорошо иллюстрирует классическую схему рециклинга в толще вод океана [2, 3]: максимум в верхнем деятельном слое, далее – минимум, связанный с растворением осаждающегося биогенного материала, и максимум в придонном нефелоидном слое за счет взмучивания верхнего слоя донных осадков течениями.

В подповерхностном слое годовой ход потоков и изменение состава осаждающегося вещества определяется первичной продукцией фитопланктона. Хорошей иллюстрацией служат спутниковые данные по распределению хлорофилла в районе работы АГОС, приведенные на рис. 4. Это также нашло отражение в увеличении потоков летом 2016 г. за счет более интенсивного цветения – межгодовая изменчивость.

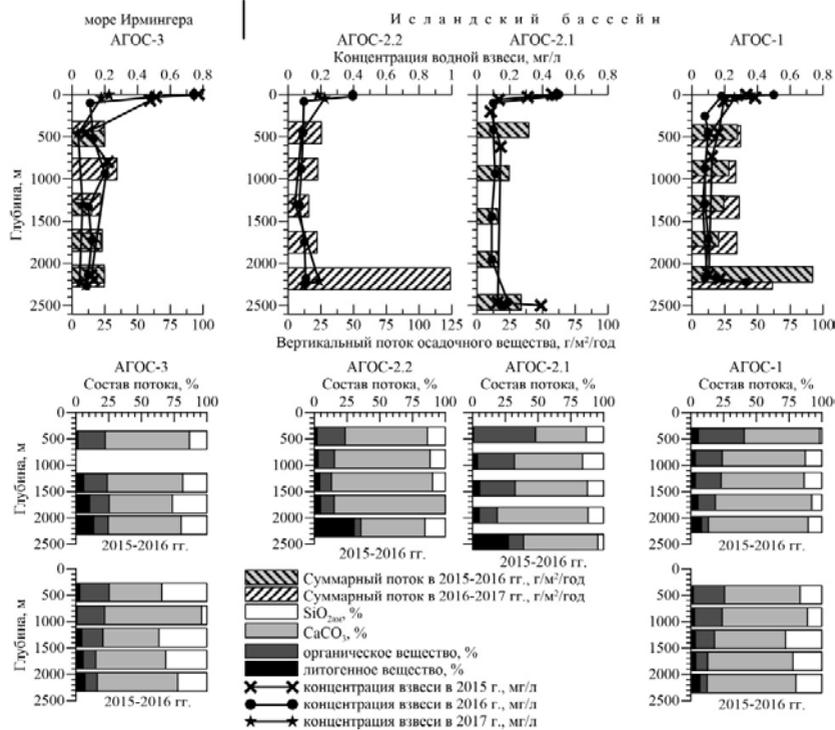


Рисунок 3. Вертикальная изменчивость интегральных годовых потоков осадочного вещества и концентрации водной взвеси в момент постановки и поднятия АГОС на разрезе по 59°30' с.ш. по данным ловушек МСЛ-110.

В составе осаждающегося вещества преобладает биогенная компонента, доля которой уменьшается с глубиной за счет растворения, а зимой еще из-за ослабления биологической активности верхнего деятельного слоя. Роль литогенного вещества максимальна в придонном слое, в том числе за счет поставки материала со дна, а также возрастает зимой в подповерхностном слое при уменьшении потока биогенного материала.

Сезонная изменчивость состава осаждающегося вещества наиболее ярко проявляется в подповерхностном слое. Так, в летние месяцы значительно увеличивается поток CaCO_3 и $\text{SiO}_{2\text{ам}}$. Зимой в несколько раз увеличивается доля литогенного вещества, в основном за счет минимизации потока биогенного материала. В придонном слое изменчивость состава потоков практически не выражена, что подтверждает происхождение существенной доли вещества из придонного нефелоидного слоя за счет взмучивания и переотложения верхнего слоя донных осадков.

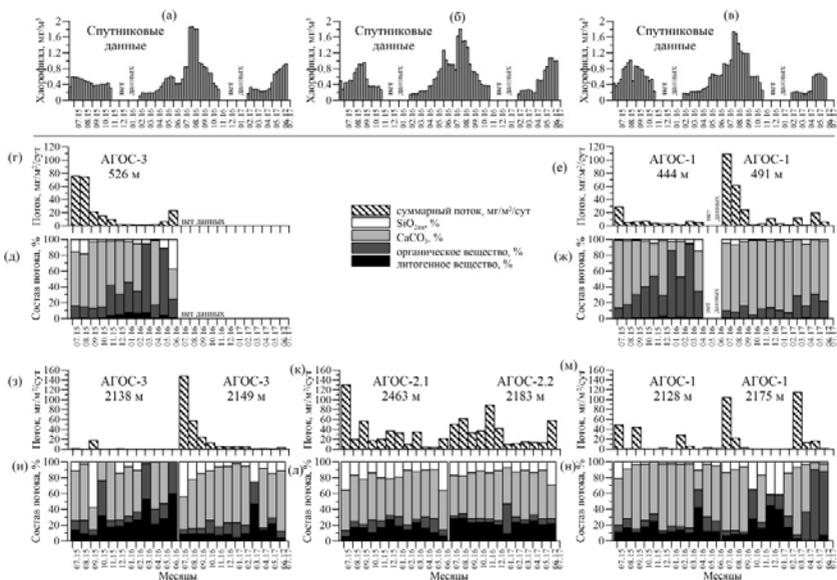


Рисунок 4. Сезонная изменчивость хлорофилла в поверхностном слое океана в местах работы АГОС по спутниковым данным, изменчивость потоков и их состав по данным ловушек Лотос-3.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну за общее руководство работами, а также капитанам, командам и всему научному составу за помощь в экспедициях.

Сбор и анализ проб выполнен при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 19-05-00787. Интерпретация материала выполнена в рамках Госзадания ИО РАН № 0149-2019-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Danialt N., Mercier H., Lherminier P. et al. The northern North Atlantic Ocean mean circulation in the early 21st century // *Progress in Oceanography*. 2016. V. 146. P. 142–158.
2. Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы «живого океана» // *Геология и геофизика*. 2004. Т. 45. № 1. С. 15–48.
3. Лисицын А.П. // *Мировой океан*. Т. II. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.

New data on the particle fluxes of sedimentary matter and its main components at the meridional section along 59°30'N in the North Atlantic under the influence of multidirectional transfer of water masses are given on the material collected for 2 years using sediment traps installed as part of 3 automatic deep-water sedimentary observatories.

**Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А.,
Лисицын А.П.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
e-mail: a.s.lohov@yandex.ru)

**Гранулометрический состав и концентрация взвеси
Баренцева моря в июле 2019 г.: первые данные измерений
in situ анализатора частиц LISST-Deep**

Lokhov A.S., Kravchishina M. D., Klyuvitkin A.A., Lisitzin A.P.
(Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

**Grain size and concentration of suspended particulate matter
in June 2019: first *in situ* data by particle size analyzer LISST-
Deep**

Ключевые слова: взвесь, гранулометрический состав, LISST-Deep.

В статье описан опыт применения лазерного анализатора частиц LISST-Deep с целью исследования морской взвеси *in situ*. Представлены первые данные по объемной концентрации и гранулометрическому составу взвешенного вещества Баренцева моря, полученные в ходе 75-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” в июне 2019 г. Выполнена оценка степени адекватности отображения информации о составе полидисперсной системы баренцевоморской водной толщи, содержащей частицы широкого диапазона размеров, разного состава и формы; проведена интеркалибрация полученных данных.

Изучение гранулометрического состава морской взвеси – одна из фундаментальных задач седиментологии. Знание о крупности частиц необходимо для исследования дисперсной системы водоема, определяющей во многом свойства (оптические, акустические, физико-химические и др.) дисперсионной среды – морской воды. Кроме того, гранулометрический состав играет важную подсобную роль при интерпретации данных о химическом и минеральном составе взвеси. Главным образом, генезис взвеси предопределяет крупность ее частиц. Новые возможности получения массовой информации о гранулометрическом составе взвеси позволят в дальнейшем косвенно судить о генезисе и закономерностях распределения частиц в водной толще.

Одной из задач 75-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” стало изучение объемной концентрации и гранулометрического состава взвеси Баренцева моря в раннелетний сезон для целей познания седиментогенеза на самых ранних этапах этого многофакторного процесса формирования типов донных осадков. Для решения поставленной задачи выполнено зондирование водной толщи анализатором частиц LISST-Deep (Sequoia Scientific Inc.,

США) на 42-х комплексных станциях. Для всех станций (глубина моря до 500 м) были получены приемлемые профили.

Зондирующее устройство LISST-Deep (Laser In-Situ Scattering and Transmissometry) – единственный прибор, позволяющий проводить прямые измерения концентрации и гранулометрического состава морской взвеси *in situ* при глубине моря до 3000 м. Реализуется комбинированный лазерно-оптический метод (базирующийся на теориях лазерной дифракции Фраунгофера и рассеяния света по Ми), где используется красный 670 нм твердотельный диодный лазер. Измерения выполняются с частотой 1 Гц. Прибор позволяет получать следующие характеристики взвеси: гранулометрический состав, объемная концентрация, прозрачность, функция оптического объемного рассеяния. Диапазон измерения частиц составляет от 1,25 до 250 мкм с дискретностью 32 интервала по десятичной логарифмической шкале. LISST-Deep дополнительно оснащен датчиком температуры и датчиком грубой оценки давления (точность до 0.8 м). Поэтому анализатор устанавливался горизонтально на зондирующем комплексе SBE9p и сопрягался с CTD-зондом SBE 9+ (Sea Bird Electronics, США) с помощью Sea Bird кабеля для более точного сопоставления с данными CTD.

Недостатком LISST-Deep при изучении природных взвесей является допущение о сферической форме частиц, что может вызывать возражения при определении точного смысла объема, измеренного и рассчитанного по встроенному алгоритму анализатора. Однако ни один из существующих методов гранулометрического анализа нельзя назвать универсальным.

Согласно данным [1], серия приборов Sequoia Scientific Inc., основанных на принципе лазерной дифракции, демонстрирует высокую точность и хорошую воспроизводимость результатов: погрешность определения объема частиц составляет ~10%, возрастая по мере увеличения их крупности.

На рисунке 1 представлены примеры вертикального распределения объемной концентрации и гранулометрического состава взвеси в водной толще на ст. 6189 в Медвежинском желобе (74° 11.981' с.ш., 27° 29.983' в.д.) и ст. 6209 на юге Мурмано-Тиманского мегавала (70° 19.979' с.ш., 38° 0.227' в.д.), полученных с помощью LISST-Deep и лабораторного анализатора частиц Multisizer™ 3 (счетчик Коултера®, Beckman Coulter, США), а также мутности, измеренной нефелометрическим датчиком WET Labs, США. На графике гранулометрического состава представлен вклад каждой из 32-х изученных фракций в суммарную объемную концентрацию взвеси и дана кривая медианного диаметра (Md) частиц.

Кондуктометрический метод, который реализуется с помощью счетчика Коултера, принято считать эталонным при определении размеров частиц (ISO 13319), поскольку это единственный метод, позволяющий проводить непосредственное измерение объема частиц. Концентрации, измеренные

на этом счетчике, получены путем анализа дискретных проб воды из батометров. Анализировались частицы диаметром от 2 до 60 мкм, но с более высокой дискретностью (300 интервалов).

При сопоставлении данных LISST-Deer и счетчика Коултера по одним и тем же горизонтам в отдельных случаях очевидны расхождения в объемных концентрациях, полученных этими анализаторами. Во-первых, расхождения обусловлены оптическими принципами измерения коэффициентов преломления и поглощения лазерного луча при его попадании на частицы, что лежит в основе метода лазерной дифракции, который реализуется LISST-Deer. Во-вторых, и тот и другой методы не имеют возможности учитывать форму частиц взвеси, часто далекой от сферической. Тем не менее, при сравнении данных, полученных разными методами, по выборке 126 значений, коэффициент парной корреляции составил 0,79 (для выборки концентраций частиц диаметром 2–60 мкм измеренной с помощью LISST-Deer этот коэффициент составил 0,84), что демонстрирует достаточно высокую зависимость между этими числовыми рядами, не смотря на различия в анализируемом диапазоне частиц. Этот факт подтверждает данные литературы, что во взвеси (той, что формирует дисперсную фазу морской воды, а не “морской снег” и пеллеты, составляющие вертикальный поток вещества, которые изучаются другими методами) численно преобладают пелитовые и субколлоидные фракции, в то время как частицы диаметром крупнее 20 мкм встречаются относительно редко [2]. Характерная особенность спектра взвеси в океане – это резкое увеличение числа малых частиц [3], что отражает рисунок 2.

Сопоставление данных LISST-Deer и интенсивности рассеяния света (нефелометрия) по датчику WET Labs демонстрирует больше расхождений, чем сравнение двух анализаторов объемов частиц, основанных на разных принципах измерения. Главный вклад в рассеяние света в морской воде вносят частицы определенного диапазона размеров, как для терригенных, так и для биогенных частиц [3]. Оптимальный размер частиц, при котором дисперсная система сильнее всего рассеивает свет, составляет по грубым оценкам <5 мкм для терригенных и <10 мкм для биогенных частиц. Нефелометрия позволяет получать надежные данные о придонных нефелоидных слоях посредством измерения нефелометрической мутности, но часто не дает объективной информации о взвеси фотического слоя. Поэтому LISST-Deer можно считать более универсальным анализатором при исследовании взвеси всей водной толщи.

Ст. 6189 интересна максимумом концентрации в фотическом слое на глубине 25 м, где Md объемов частиц составил 67 мкм, что обусловлено вкладом в состав взвеси, главным образом, биогенных частиц (фитопланктона). На горизонте 32 м очевидно преобладание по объему более крупных частиц и пик частиц размером 20–40 мкм (рис. 2).

Ст. 6209 примечательна наличием придонного нефелоидного слоя мощностью ~20 м. У дна (5 м от дна) концентрация составила 2,3 мкл/л, а Md объемов частиц – 30 мкм (рис. 1B). В этом слое преимущественно терригенная взесь включает также органо-минеральные агрегаты и детрит, что подтверждается данными счетчика Коултера (рис. 2).

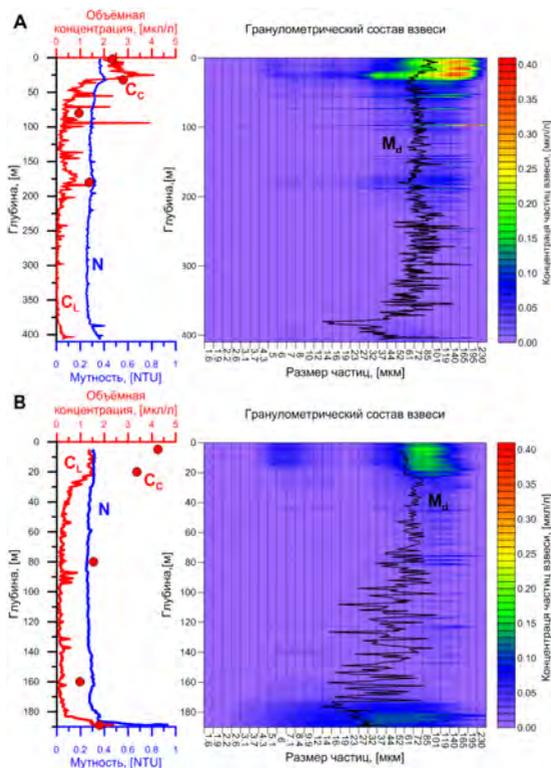


Рисунок 1. Вертикальные профили мутности (N), объемной концентрации взвеси по данным LISST-Deer (C_L) и счетчика Коултера (C_C), а также гранулометрического состава (32 фракции по LISST-Deer) и Md частиц на ст. 6189 (A) и ст. 6209 (B).

На рис. 3 дан пример распределения объемных концентраций взвеси на кросс шельфовом разрезе по 27,5° в.д. от Медвежинского желоба до Нордкапского желоба. Разрез построен по >4 тысячам точек измерений LISST-Deer, что за счет усреднения данных позволяет получить достоверное отображение информации о распределении концентрации взвеси, как общей, так и по 32-м фракциям. Наибольшие концентрации взвеси (до 4 мкл/л) приурочены к верхнему деятельному слою, достигая максимальной величины вблизи Полярного фронта, что обусловлено обилием фитопланктона в этой части моря. Придонный нефелоидный слой на разрезе выражен слабо. В

Баренцевом море нефелоидные слои распространены существенно меньше [4], имеют небольшую мощность и низкую концентрацию взвеси по сравнению с морями Сибирской Арктики.

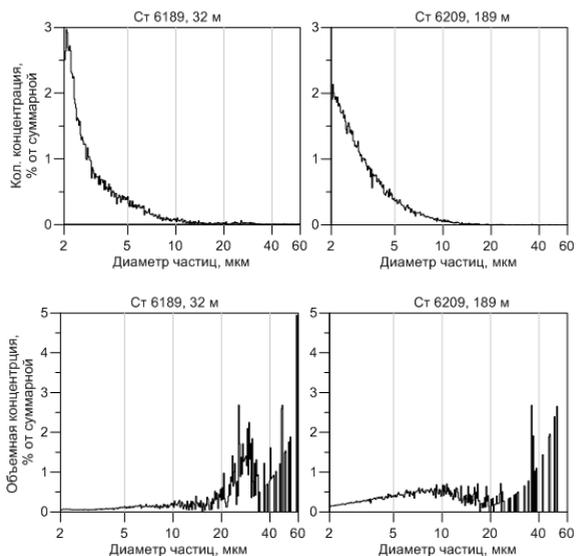


Рисунок 2. Гистограммы гранулометрического состава взвеси по количеству (вверху) и по объему (внизу) по данным счётчика Коултера.

Применение LISST-Депр в практике океанологических исследований впервые открывает беспрецедентные возможности для получения массовой информации о пространственно-временной изменчивости концентрации морской взвеси и ее гранулометрического состава. Анализатор пока еще не получил широкого распространения в фундаментальной науке [5, 6]. Нам удалось продемонстрировать практическую ценность совместных измерений различных свойств взвеси разными методами.

Современная приборная база дает широкие возможности для изучения морской взвеси. В 75-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” исследования взвеси выполнены четырьмя независимыми методами: три инструментальных (лазерная дифракция, кондуктометрический, нефелометрический) и экспериментальный (фильтрация через мембранные фильтры под вакуумом). Дополнение этих данных результатами изучения обилия и видового состава фитопланктона, химического и минерального состава взвешенных частиц позволяет реализовать комплексный подход к исследованию рассеянного осадочного вещества водной толщи. Впервые удалось получить всеобъемлющую информацию о начальных этапах седиментогенеза в Баренцевом море.

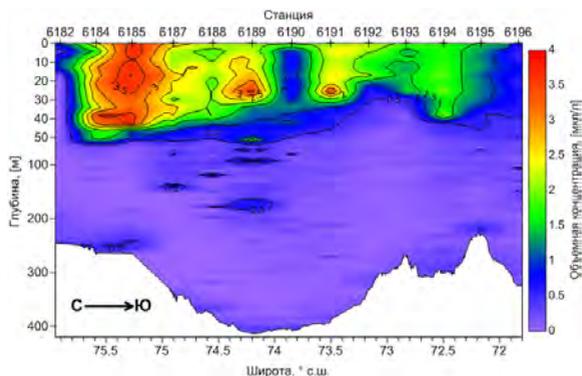


Рисунок 3. Распределение объемной концентрации взвеси в юго-западной части Баренцева моря на кросс шельфовом меридиональном разрезе от $75^{\circ} 54,071' \text{ с.ш.}$ и $27^{\circ} 33,415' \text{ в.д.}$ до $71^{\circ} 50,000' \text{ с.ш.}$ и $27^{\circ} 29,885' \text{ в.д.}$ по данным LISST-Deep, июнь 2019 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0007). Экспедиционные исследования поддержаны Российским научным фондом (проект № 19-17-00234).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gartner J.W. et al. Laboratory and field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations // *Marine Geol.* 2001. V. 175. N 1–4. P. 199–219.
2. Honjo S. Material fluxes and modes of sedimentation in the mesopelagic and bathypelagic zones // *J. of Marine Res.* 1980. V. 38. P. 53–97.
3. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 278 с.
4. Копелевич О.В. и др. Оптические методы в океанологии и морской геологии // *Новые идеи в океанологии.* Т. 1. М.: Наука, 2004. С. 118–167.
5. Karageorgis A.P. et al. Spatial and seasonal variability of particulate matter optical and size properties in the Eastern Mediterranean Sea // *J. of Marine Syst.* 2012. P. 105–108.
6. Durrieu de Madron X. et al. Deep sediment resuspension and thick nepheloid layer generation by open-ocean convection // *J. Geophys. Res. Oceans.* 2017. V. 122. P. 2291–2318.

Paper reviews the experience of using the LISST-Deep laser particle size analyzer for the study of marine suspended particulate matter (SPM) *in situ*. We present the first data on the volume concentration and grain size of SPM in the Barents Sea obtained during the 75th cruise of the RV *Akademik Mstislav Keldysh* in June 2019. We carried out the assessment of the adequacy of information display on the polydispersity system composition of Barents Sea water body, what contain the particles of the wide grain size spectrum, different genesis and shape. The intercalibration of the data obtained was conducted as well.

**Немировская И.А., Коновалов Б.В., Завьялов П.О.,
Онегина В.Д., Халиков И. С.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва; e-mail: nemir44@mail.ru)

Загрязненность нефтью Российского сектора Черного моря

Nemirovskaya I.A., Konovalov B.V., Zavialov P.V.,

Onegina V.D., Khalikov I.S.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Oil pollution in the Russian Black Sea sector

Ключевые слова: загрязнение, углеводороды (алифатические и полициклические ароматические), взвесь, донные осадки, Феодосия, Керчь, Туапсе

Результаты изучения углеводородов (УВ) в воде и донных осадках прибрежных районов российского сектора Черного моря установили, что к наиболее загрязненным районам относится порт Туапсе и район Керченского пролива.

Черное море по танкерным перевозкам нефти и нефтепродуктов (далее нефтепродуктов) занимает одно из главных мест в Мировом океане. Только через порт Новороссийск ежегодно переправляется 32 млн. т нефтепродуктов, а в ближайшие 10 лет объем перекачки с учетом увеличения экспорта каспийских месторождений может увеличиться втрое. С целью определения загрязненности нефтепродуктами российского сектора Черного моря проведено изучение алифатических углеводородов (УВ) и полициклические ароматических углеводородов (ПАУ) в 2015-2019 гг. во взвеси и в донных осадках в районе Керченского пролива (в том числе в Феодосийском заливе) и в районе Туапсе в сопоставлении с распределением взвеси, $C_{\text{орг}}$, хлорофилла «а», липидов. Исследования проводили методами, используемыми при анализе нефтяных загрязняющих веществ: УВ – ИК-методом, состав алканов – методом газовой хроматографии, содержание и состав ПАУ – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

В районе г. Туапсе в мае 2018 г. наиболее высокое содержание УВ установлено в порту (275 мкг/л, 17 мкг/мг взвеси). Однако на станции, расположенной на выходе из порта, концентрация УВ составила уже 41 мкг/л, а на мористых станциях – 16 мкг/л (рис. 1а). Высокое содержание УВ в составе липидов (82%) и в составе $C_{\text{орг}}$ (40%), а также состав алканов свидетельствовали на загрязнение поверхностных вод в района порта нефтью. Здесь наблюдалось плавное распределение гомологов (значения СРІ колебались в интервале 1.1–1.25), характерное для нефтяных УВ. Небольшой пик $n\text{-C}_{17}$ в поверхностных водах указывало на вклад фитопланктона.

В пробах, отобранных в районе пос. Головинка концентрации УВ были ниже: 19–63 мкг/л, в среднем 36 мкг/л; наиболее высокое содержание

наблюдалось на станциях, наиболее приближенных к устью реки. Еще ниже содержание УВ в районе пос. Лазаревское: 16–32 мкг/л, в среднем 25 мкг/л, а в реках Псезуапсе и Шахе – в среднем 20 мкг/л.

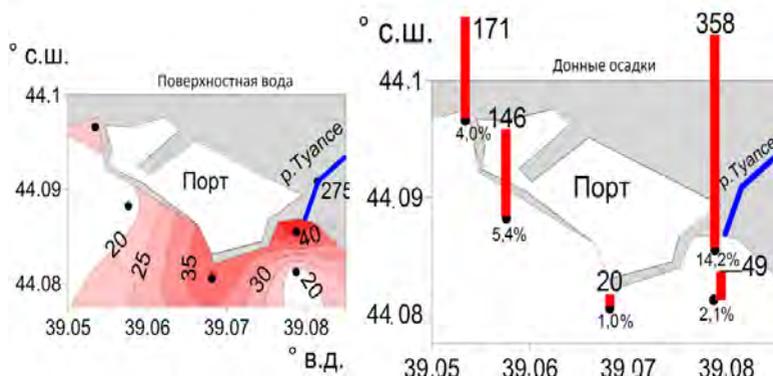


Рисунок 1. Содержание УВ: (а) – в поверхностных водах (мкг/л); б – в донных осадках (мкг/г, над столбцами) и в составе $C_{орг}$ (под столбцами) в районе порта Туапсе в мае–июне 2018 г.

В песчаных донных осадках в районе Туапсе (рис. 1б) концентрации УВ изменялись от 20 до 358 мкг/г. Максимальная величина была установлена также на станции в районе порта, а при выходе из порта их концентрации уменьшались до 20 мкг/г. При этом распределение гомологов указывало на их природное происхождение, так как в низкомолекулярной области доминировали алканы фитопланктона и микробальные, а в высокомолекулярной – серия нечетных терригенных гомологов $n-C_{25}-n-C_{35}$.

Содержание ПАУ в донных осадках этого района изменялось от 78 до 282 нг/г. В их составе повышена доля метилированных гомологов нафталинов (Н, МеН), содержание которых составляло 12–14% от суммы, что указывает на нефтяной состав аренов в осадках. Влияние пирогенных поступлений также значительно, так как отношение флуорантен/флуорантен+пирен (ФЛ/ФЛ+П) колебалось от 0.53 до 0.60.

В Феодосийском заливе многолетние исследования показали, что в 2015 и 2016 гг. наблюдались повышенные концентрации УВ в поверхностных водах (94–450 мкг/мг взвеси). Зимой 2016 г. начались работы по погружению свай для строительства Керченского моста. Все это способствовало увеличению взвеси и концентраций УВ во взвеси, особенно в районе м. Чауда, а в составе алканов в низкомолекулярной области на отдельных станциях – выветренных нефтяных УВ. В этот период отсутствовали связи между распределением взвеси и хлорофилла, взвеси и УВ и значения коэффициента корреляции (r) колебались в интервале 0.23–0.20 ($n=9$). К 2017 г. произошло

снижение концентраций УВ до фоновых уровней, а в составе взвеси – до 14–52 мкг/мг. Примечательно, что донные осадки Феодосийского залива в 2017 г. также отличались наиболее низкими концентрациями УВ за все три года исследований. При этом существовала связь между распределением $C_{\text{орг}}$ и влажности осадков ($r=0.62-0.72$) и УВ– $C_{\text{орг}}$ ($r=0.64-0.79$). По всей видимости, межгодовая изменчивость содержания УВ обусловлена не только сезонным ходом стока из Азовского моря и динамическими процессами, но и снижением поступления нефтяного загрязнения из Керченского пролива.

В апреле 2019 г. были проведены исследования не только в Феодосийском заливе, но и непосредственно в Керченском проливе (рис. 2а). Максимальные величины концентраций УВ установлены на разрезе станций от мыса Такил (до 148 мкг/л), где максимальна также дисперсность данных ($\sigma - 44$ мкг/л). Повышенное содержание УВ также присуще водам на разрезе от м. Чауда – 103 мкг/л ($\sigma=18$ мкг/л). Столь высокие концентрации УВ во взвеси этого района обусловлены повышенными концентрациями самой взвеси во время паводка: 0.51–3.21, в среднем 1.39 мг/л. Наблюдалась связь между концентрациями УВ и взвеси $r=0.59$ и между $C_{\text{орг}}$ и УВ – $r=0.60$, что может свидетельствовать о степени трансформации УВ.

Донные осадки этого района, представлены в основном песчанистыми отложениями с влажностью в среднем 37 (22.9–60.9) % и содержанием $C_{\text{орг}}$ в среднем 0.489 (0.062–1.072) %. Концентрации УВ (в среднем 25, интервал –12–65 мкг/г) оказались выше их фоновых значений, которые в илистых осадках составляют 50 мкг/г, а в песчанистых –10 мкг/г. При этом наиболее высокое содержание УВ в составе $C_{\text{орг}}$ установлено на станциях у мыса Чауда (2.5%) и у мыса Опук (3.7%). Однако в составе алканов здесь доминировали терригенные высокомолекулярные нечетные гомологи.

Концентрации ПАУ на разрезах в донных осадках изменялись в большом интервале: 1.2–630.9 нг/г (в 525 раз). Столь большой разброс данных обусловлен не только гранулометрическим типом осадков, но в большей степени потоком полиаренов из атмосферы и с нефтяным загрязнением. В противоположность алифатическим УВ максимальная концентрация ПАУ, так же, как повышенная доля нафталинов (40–68%), маркирующих нефтяные УВ, установлена в осадках на разрезе через Керченский пролив и у мыса Чауда (14%) (рис.2б).

Отношение ФЛ/ФЛ+П изменялось от 0.58 до 0.72. В донных осадках вблизи источников горения доля пирена обычно выше, чем флуорантена. При выпадении антропогенных аэрозолей вблизи мест формирования соотношение в них молекулярных масс в составе ПАУ сохраняется. Флуорантен, как наиболее стабильный из идентифицированных полиаренов, доминирует во многих водных объектах даже в районах, удаленных от источников загрязнения. Поэтому рост концентраций флуорантена может

указывать на степень трансформации ПАУ. В исследованных донных осадках содержание флуорантена выше, чем пирена, что свидетельствует на поступление в осадки уже трансформированных продуктов сгорания топлива.

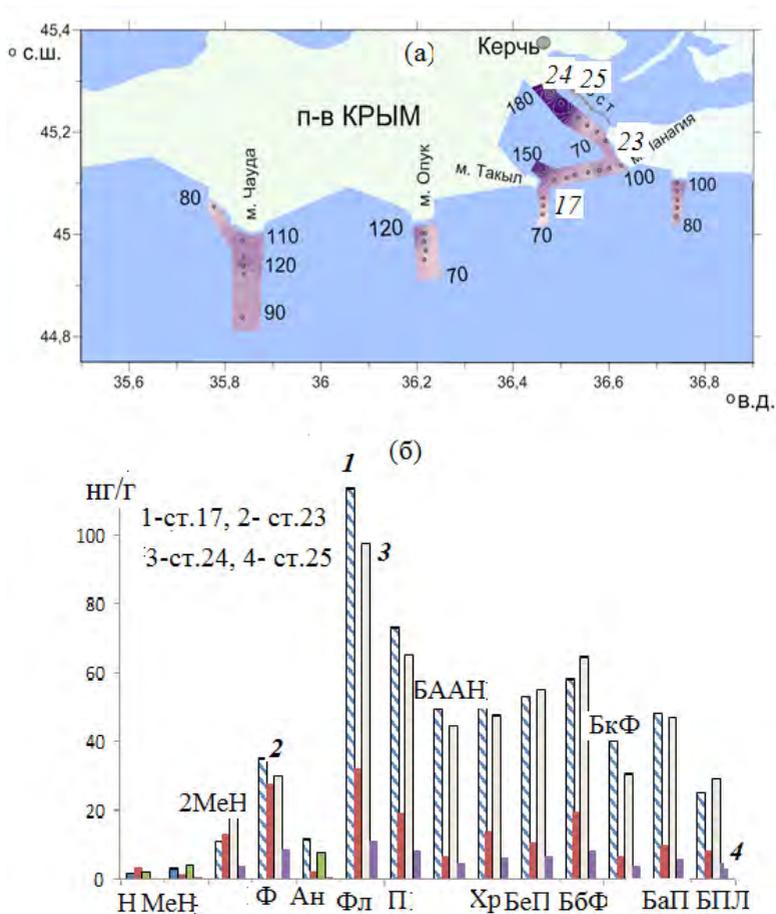


Рисунок 2. Распределение концентраций УВ в поверхностных водах (а) и состав ПАУ в донных осадках на отдельных станциях (б) в апреле 2019 г. Местоположение станций приведено курсивом на рис. 2а. Н-нафталин, МеН –метилнафталин, 2МеН–2-метилнафталин, Ф–фенантрен, Ан–антрацен, Фл–флуорантен, П–пирен, БААН–бензаантрацен, Хр–хризен, БеП–бенз(е)пирен, БбФ–бенз(б)флуорантен, БкФ–бенз(к)флуорантен, БаП–бенз(а)пирен, БПЛ–бензперилен

Таким образом, аккумуляция загрязняющих веществ происходила в районе порта Туапсе и разрезах, пересекающих Керченский пролив и у мыса Чауда в Феодосийском заливе, особенно весной, когда в морские воды попадают загрязнения, накопленные за зиму. Их влияние в большей степени проявляется в составе более устойчивого углеводородного класса – ПАУ. При этом маркеры указывали на преимущественно нефтяное происхождение полиаренов. Это связано с поступлением загрязненных вод из Керченского пролива. Прямые измерения скорости течений, а также геострофические оценки указывали на существование в верхнем 15-метровом слое струйного вдольберегового течения западного направления, переносящего азовоморские воды в сторону Феодосийского залива. В линзах загрязненной воды из Керченского пролива обычно повышено содержание растворенного органического вещества, нефтепродуктов и взвеси. Мониторинг пролива из космоса обнаружил пленочные загрязнения, связанные с интенсивным судовым трафиком, перевалкой нефтепродуктов и различных сыпучих грузов на якорных стоянках и рейдах судов. Пленки нефтепродуктов также наблюдались в районе фарватера и главного судоходного канала.

Но уже с удалением от этих «горячих точек» резко уменьшались концентрации и изменялся состав УВ, что наблюдалось в районе «Большого Сочи» после окончания строительства олимпийских объектов, так как деградация нефтяных УВ происходит быстро.

Исследования проводили в рамках государственного задания (тема № 0149-2019-0007) и при поддержке РФФИ (проект 18-05-80049).

The results of the study of hydrocarbons in water and sediments of the coastal regions of the Russian sector of the Black Sea showed that the Tuapse and Kerch Strait were the most polluted with oil.

Поповичева О.Б.¹, Иванов А.С.¹, Кобелев В.О.²

(¹НИИЯФ Московский Государственный Университет, e-mail: olga.popovicheva@gmail.com; ²Научный Центр Изучения Арктики, Салехард)

**Состав и распределение осажденного вещества по
индустриальному и арктическим районам ЯНАО (водосбор
Карского моря)**

Popovicheva O.B., Ivanov A.S., Kobelev V.O.

(¹SINP Moscow State University, Moscow; ²Research Center Arctic Investigation, Salekhard)

**Composition and distribution of deposited particulate in snow
coverage over industrial and arctic regions of YNAO (Kara sea
basin)**

Ключевые слова: осадочное вещество, снег, органический состав, загрязнения, индустриальный район, удаленный арктический район

Для оценки распределения загрязнений снежного покрова индустриального региона и удаленных арктических районов ЯНАО (водосбор Карского моря) охарактеризован состав взвешенного вещества методом диффузионной спектроскопии рассеяния. Разработан алгоритм совместного ФТИР-МГК анализа для идентификации характерных особенностей составов микрочастиц различных мест отбора по изменчивости спектрального поглощения. Функциональная структура и распределение осажденного вещества по региону отражает степень влияния антропогенной нагрузки атмосферы в зависимости от близости к источникам выбросов продуктов хозяйственной деятельности.

Одним из способов оценки воздействия атмосферных загрязнений крупнейшего индустриального региона Сибири на экосистему Арктики является анализ химического состава осажденного вещества в снежном покрове водосбора Карского моря, образующегося в эмиссиях антропогенных источников и переносимых воздушными массами в удаленные регионы. В нефтедобывающих регионах значительное влияние оказывают объекты инфраструктуры теплоэнергетического комплекса, факела сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ), эмитирующие в атмосферу экологически - опасные химические соединения, являющиеся причиной кислотных выпадений и накопления в снежном покрове климатического трассера - черного углерода. В данной работе разработана методика оценки степени загрязнения микрочастиц снежного покрова в регионе Ямало-Ненецкого округа (ЯНАО) на основе измерений состава органических и неорганических компонентов фонового уровня в арктическом регионе, в районах воздействия региональных источников урбанизованных эмиссий и вблизи нефте- и газодобывающего комплекса.

В марте-апреле 2018 г. был проведен отбор проб снежного покрова на территории Пуровского, Надымского, Тазовского и Ямальского районов

юго-запад 500 м от факелов ПНГ нефтяного месторождения	9, 10
север 5,8 км от нефтяного месторождения	11, 12
32 км от п. Тазовский	13, 14
северо-восток 8 км от газохимического комбината	15, 16
37 км от п. Пангоды, Надымский заказник	17, 18
восток 3 км от КС «Правохеттинская»	19, 20
юго-запад 23 км от КС «Ягельная»	21, 22
юго-восток 2 км от КС «Ягельная»	23, 24
юго-восток 2 км от КС «Надымская»	26
юго-восток 16 км от Бованенково	В
Ноябрьск, 100 м от факела	s1
Ноябрьск, из под факела	s2
Ноябрьск, 30 м от факела	s3
Ноябрьск, 1.5 км	s4
юго-восток 38 км от г. Салехард	SHD
северо-восток 500 м. от п. Тадебяха	TB
северо-запад 15 км от п. Лабытнанги	X
96 км северо-запад от пос. Сабетта	Ya

Для исследования функциональной структуры микрочастиц снежного покрова региона ЯНАО использовался метод Фурье-ИК-спектроскопии в моде, описанный в [2]. Он основан на определении поглощения света вещества в инфракрасной области, позволяет идентифицировать функциональные группы колебаний молекулами, представляющих классы органических и неорганических соединений. Для статистического анализа полученного большого набора спектральных данных был применен многовариантный анализ – метод главных компонент (МГК) [3]. Процедура компонентного анализа используется для свертки пространства значений характеристик спектров (интенсивности поглощения и волновых чисел) и выделения нескольких главных компонент, представляющих большую часть дисперсии характеристик. В результате выделено четыре главные компоненты, представляющие 99% дисперсии характеристик поглощения.

севера представляет метод ФТИР-МГК как эффективную диагностику происхождения загрязнений, позволяя классификацию распределения мест отбора снега по анализу химического состава осажденных частиц и идентификацию районов, находящихся под воздействием промышленных и городских источников и удаленных арктических районов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18 05 60084).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобелев В.О., Поповичева О.Б., Шинкарук Е.В., Агбальян Е.В., Колесников Р.А., Новигатский А.Н. Кислотность атмосферных осадков зимнего периода на территории районов Ямало-Ненецкого автономного округа с различной антропогенной нагрузкой // Научный вестник Ямало-Ненецкого округа. 2019. Т. 1. № 102. С. 81–88
2. Popovicheva O.B., Kireeva E.D., Shonija N.K., Vojtisek-Lom M., Schwarz J. FTIR analysis of surface functionalities on particulate matter produced by off-road diesel engines operating on diesel and biofuel // Environmental Science and Pollution Research. 2015. V. 22. P. 4534–4544.
3. Hori R., Sugiyama J. A combined FT-IR microscopy and principal component analysis on softwood cell walls // Carbohydrate Polymers. 2003. V. 52. P. 449–453.

With an aim of estimation for the pollution distribution in industrial and arctic regions of YNAO (Basin of Kara Sea), the particulate composition in snow coverage is characterized by diffusion reflection spectroscopy. Algorithm of complementary FTIR-PCA analyses is developed for identification of microparticle characteristics in different sampling locations using the spectral absorption variability. Functional structure and distribution of deposited particulates over region relates the level of impact of anthropogenic loading in dependence on proximity to the sources of anthropogenic activity.

Сафарова С. А.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: S.Safarova@mail.ru)

Характеристика аэрозольных проблем и их решение

Safarova S.A.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Characterization of aerosol problems and their solution

Ключевые слова: Аэрозоль, пыльца, споры, осадки, растения

Рассматриваются вопросы характеристики различных видов аэрозолей и их влияния в различных областях жизни. Наиболее подробно разбирается вопрос о значении биоаэрозолей в образовании морских осадков.

Аэрозольная проблема в настоящее время довольно широко изучается, поскольку она во многих областях имеет жизненное значение. Аэрозоли – это мельчайшие частицы, взвешенные в воздухе. Их изучают в биологии, медицине, микробиологии, климатологии, экологии, при космических и океанских исследованиях, в электронике и в новейших технологиях получения перспективных материалов и в ряде других направлений [1]. Например, в области медицины выясняется, что аэрозольные частицы легко попадают в поры кожи, в легкие, в глубинные участки пищевода и своими токсическими действиями приводят к разрушению всего организма. Чернобыльская катастрофа – это аэрозольная катастрофа, именно аэрозольные частицы зараженные радиоактивными веществами разнеслись на многие километры внутри страны и привели как к заражению атмосферы, так и к заболеваниям людей. Загрязнения атмосферы токсическими материалами наблюдаются даже при изучении некоторых южных и западных пограничных территорий Таджикистана. В пробах пылевого аэрозоля были обнаружены изотопы уранового и ториевого рядов. Поскольку Таджикистан расположен в пылевом поле, поблизости от таких ее источников, как высыхающее Аральское море, пустыни Кызылкум и Каракум, Иранские пустыни и пустыня Сахара, поднимающаяся, там пыль вторгается на территорию Таджикистана в форме пылевой мглы или пылевой бури. Отмечается, что значительная часть радионуклидов в центр Таджикистана приносится аэрозолями из соседних южных и западных пограничных территорий.

Большие неприятности создают аэрозоли в области микроэлектроники. При изготовлении микросхем мельчайшие частицы попадают на поверхность чипа, что существенно снижает получение качественных микросхем и удорожает процесс. Надо заметить, однако, что в последнее время, широкая разработка новейших методов аэрозольных технологий позволяют получать новые перспективные материалы, которые лежат в основе высоких

технологий энергомашиностроения, микроэлектроники и в других областях. В области медицины, например стали получать микрокапсулированные лекарственные препараты и др.

Говоря о значении аэрозолей, необходимо особо подчеркнуть работы по изучению загрязнения воздуха полярных районов, распределения и состава нерастворимых частиц в атмосфере и снежном покрове Арктики и Антарктики [2–7]. Одним из первых на значение изучения аэрозолей атмосферной и морской взвеси, обратил внимание А.П. Лисицын [8, 9], отметив, что изучение аэрозольной взвеси в воздухе и морской среде представляет большой интерес в решении вопросов геолого-биологического плана, особенно – вопросов формирования морских осадков.

Учитывая это, более подробно остановимся еще на одном из разделов, касающемся биоаэрозолей. Их особенность в том, что они состоят из спор и пылицы, широко распространяющихся в окружающей среде, проникая в воздух, почву, а также в морские отложения. К тому же они обладают способностью сохраняться в континентальных и морских отложениях миллионы лет, поскольку их оболочка состоит из удивительно стойкого вещества – спорополленина.

Способность же растений производить споры и пылицу, поистине, изумительна. Так одно соцветие дуба дает около 500 тыс. пылинки, соцветие щавеля – до 4-х миллионов, соцветие сосны – около 22 миллионов, а растения семейства *Typhacia* (*Typha angustifolia*) – до 174 миллионов шт. Если посмотреть концентрацию пылицы на г. осадка, то видим, что пылица ели составляет от 46 до 40 000 экз., пылица граба от 60 до 12200 экз. на 1 г, ольха – от 38 до 26 200 экз. на г в весовом отношении. Известно, например, что еловые леса Швеции производят до 75000 тонн пылицы в год. На акватории Южных морей (Азовское, Аральское, Северный Каспий) только за летний период выпадает до 12 тысяч тонн пыльцевых зерен. Огромные пыльцевые облака могут иногда покрывать целые города (как это случилось в 1954 году в городе Давенпорте (США) и в 2009 году в г. Чита (Россия)). Производимая в огромных количествах растениями пылица оседает на поверхности почв, озер, болот и морских акваторий. В атмосфере над океанами, в собранных нами пробах, отмечалась пылица вдали от континентов на сотни и тысячи километров. Максимальная концентрация пылицы и спор в современных морских осадках наглядно представлена (по данным многих авторов) в таблице В.А. Вронского, Р.В. Федоровой [10].

Выпадая из аэрозоля на морскую поверхность, пылица и споры подвергаются действиям гидродинамических и седиментационных процессов. Концентрация пылицы на 1 г изменяется в больших пределах в зависимости от типа осадка. Максимальное количество наблюдается для

глинистых илов, наиболее низкая – для крупнозернистых песков, что было отмечено нами, также при изучении Берингова моря [11, 12].

Таблица. Максимальная концентрация пылицы и спор в современных осадках мирового океана [10]

Бассейн	Максимальная концентрация пылицы на 1 г
Тихий океан (восточная часть, шельф)	10 000
Калифорнийский залив	65 000
Атлантический океан (шельф Африки)	300
Балтийское море	20 000
Черное море (юго-восточная часть)	14 000
Черное море (центральная котловина)	100 000
Черное море (центральная часть, глубоков. зоны)	160 000
Северный Ледовитый океан (Белое море)	21 000
Аральское море	325
Южный Каспий (глубоководная котловина)	4 500
Южный Каспий (восточный шельф)	960

В свете всего сказанного выше, необходимо особо подчеркнуть, что огромное количество аэрозольного материала накапливается в морских отложениях, начиная со времени самых древних геологических эпох. И естественно, можно предположить о роли их участия в образовании морских отложений. В исследованиях С.П. Наумовой [13] в 1949 году было сообщено о нахождении многочисленных и разнообразных (более 100 видов) спор наземных растений в силурийских и нижнекембрийских отложениях Прибалтики. В 1951 году, ею же, а в 1955 году Б.В. Тимофеевым [14] и в 1966 году Е.М. Андреевой [15] были так же обнаружены споры в древнейших отложениях. Установлено, что существенные перемены во флористическом составе растительного мира часто происходили одновременно на обширных территориях. Такие крупные перемены можно уловить по смене различных видов и родов ископаемых растительных остатков, морфологическое строение которых значительно усложнялось, что хорошо видно на рисунке.

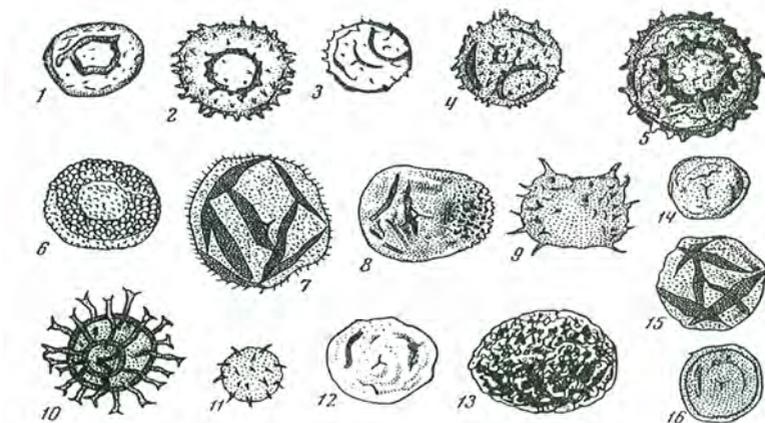


Рисунок. Споры наземных растений [13]:
1–6 – силур, 7–11 – кембрий, 12–16 – протерозой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев К.Я., Ивлев Л.С., Крапивин В.Ф. Свойства, процессы образования и последствия воздействий атмосферного аэрозоля: от нано- до глобальных масштабов. СПб.: ВВМ, 2007. 860 с.
2. Виноградова А.А., Шевченко В.П., Лисицын А.П. Атмосферные аэрозоли Арктики: состав, источники и выпадения // Физика атмосферного аэрозоля: Международная конференция. Москва, 12-17 апреля 1999 г. Сборник трудов. М.: Диалог-МГУ. 1999. С. 102–110.
3. Шевченко В.П. Аэрозоли – влияние на осадконакопление и условия среды в Арктике. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. М.: Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2000. 213 с.
4. Виноградова А.А., Шевченко В.П. Роль атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 5–6. С. 387–392.
5. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р. (Stein R.) и др. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. № 75. Санкт-Петербург: ААНИИ, 2007. С. 106–118.
6. Шевченко В.П., Виноградова А.А., Лисицын А.П. и др. Атмосферные аэрозоли как источник осадочного вещества и загрязнений в Северном Ледовитом океане // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития / Ответственные

редакторы: Х. Кассенс, А.П. Лисицын, Й. Тиде и др. М.: Изд-во Московского университета, 2009. С. 150–172.

7. Голохваст К.С., Ефимова Н.В., Елфимова Т.А. и др. Атмосферная взвесь небольшого арктического города (на примере Салехарда и Лабытнанги) // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2015. № 58. С. 71–76.
8. Лисицын А.П. Атмосферная и водная взвесь как исходный материал для образования морских осадков // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1955. Т. XIII. С. 16–22.
9. Лисицын А.П. Аридная седиментация в Мировом океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 10. С. 1398–1439.
10. Вронский В.А., Фёдорова Р.В. Концентрация пыльцы и спор в временных континентальных и морских отложениях // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1983. № 12. С. 79–86.
11. Сафарова С.А. Литолого-палинологическая характеристика осадков шельфа Берингова моря и северо-западной части Тихого океана // Тихоокеанская Школа морской геологии и геофизики, Южно-Сахалинск, 1985. Т. 1. С. 120–122.
12. Сафарова С.А. Аэропалинологические исследования над океанами // Геология морей и океанов. М., 2009. Т. 3. С. 101–103.
13. Наумова С.Н. Споры нижнего кембрия // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1949. № 4. С. 145–155.
14. Тимофеев Б.В. *Huysrichohaerdae* кембрия // Докл. АН СССР. 1955. Т. 106. № 1-2. С. 130–133.
15. Андреева Е.М. Растительные микрофоссилии из кембрийских отложений // Палеонтология. 1966. Т. 3. С. 22–28.

Questions of the characteristics of various types of aerosols and their role in different life areas are considered. The question of the importance of bioaerosols in the formation of marine sediments is considered most thoroughly.

Серебряный А.Н.^{1,2}, Тарасов Л.Л.², Кенигсбергер Г.В.³

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: serebryanu@hotmail.com; ²Акустический институт им. акад. Н.Н.Андреева, г. Москва; ³Институт экологии АН Абхазии, г. Сухум)

Вброс взвешенного вещества рекой Кодор на шельф Черного моря по данным ADCP

Serebryanu A.N.^{1,2}, Tarasov L.L.², Kenigsberger G.V.³

(¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; ²Andreyev Acoustics Institute, Moscow; ³Institute of Ecology, AS of Abkhazia, Sukhum)

Discharge of suspended matter by the Kodor River to the Black Sea shelf according to ADCP data

Ключевые слова: речные воды, взвешенное вещество, ADCP, Кодор, шельф, Черное море

Обсуждаются результаты исследований вброса взвешенного вещества рекой Кодор на шельф Черного моря. Работы проводились в летне - осенние периоды с помощью пространственных съемок с применением ADCP. Определены зоны повышенной концентрации взвешенного вещества на акватории шельфа и его распределение в толще воды на разрезах, ориентированных по нормали к берегу. Выявлен возможный перенос взвешенного вещества вдоль побережья, как в северо-западном, так и юго-восточном направлении.

Выносы рек в Черном море – широко распространенное явление, которое наиболее ярко проявляется после интенсивных осадков и в паводковый период. Побережье Абхазии с ее крупными реками Кодор и Гумиста, а также множеством более мелких рек, не является исключением с точки зрения заметного речного воздействия на шельфовую зону моря. В приустьевые части моря вместе с пресной речной водой выносятся существенное количество взвешенного вещества террогенного происхождения, которое затем перемешиваясь с морскими водами разносится течениями на расстояния в десятки километров.

В последние годы нами проводятся исследования гидрофизических параметров в шельфовой зоне Абхазии. Эти исследования включают в себя изучение динамики вод в приустьевых участках, где в море впадают реки Гумиста и Кодор. В проводимых измерениях мы используем так называемый метод «яхтенной океанологии», когда для проведения съемок в море используются малые суда (яхты, моторные катера и лодки), вооруженные современными, компактными и в то же время высокоточными океанологическими приборами. Этот метод хорошо зарекомендовал себя при проведении экспериментальных исследований на шельфе, где требуется тонкость измерений вкупе с динамичностью проведения работ и

их необходимым объемом. Метод яхтенной океанологии нашел применение также при проведении подспутниковых измерений [1]. Одним из ключевых применяемых нами приборов служит акустический доплеровский профилометр течений (ADCP). ADCP имеет широкий спектр приложений помимо своего основного назначения - измерять характеристики течения водной среды [2]. Среди важных применений прибора - его использование для измерения концентрации взвешенного вещества в морской толще [3]. Суть применяемой методики в этом случае заключается в использовании регистрируемых прибором данных обратного рассеянного акустического сигнала, интенсивность которого пропорциональна концентрации рассеивающих веществ в водной толще. Чтобы применить ADCP для измерения концентрации взвешенных частиц в полевых условиях проводят калибровку данных сигнала обратного акустического рассеяния путем одновременных измерений акустическим профилографом и другим способом, дающим информацию о взвешенном веществе (отбор образцов воды батометрами на различных горизонтах с последующей фильтрацией или измерение концентрации взвеси оптическими методами) [4]. Результаты проведенной калибровки в последствии используют для пересчета, измеренного с помощью ADCP (на пространственных разрезах или якорных наблюдений в точке) эхо-сигнала, в концентрацию взвешенного вещества [5].

В летне-осеннее время 2014 и 2015 гг., а также 2018 г. нами были проведены съемки распределения течений по акватории Черного моря в месте впадения реки Кодор. Измерения проводились с малого моторного судна, оснащенного доплеровским акустическим профилометром течений ADCP "Rio Grande 600 kHz". Особенностью гидрологической структуры акватории у впадения Кодора в море – почти постоянное присутствие плюма распресненных вод, несущих с собой в море большие количества взвешенного вещества. Граница плюма вод Кодора видна за счет контраста цвета воды в нем (как правило серо-коричневатого) и цвета морских вод (сине-голубых), что объясняется большим количеством взвешенного вещества в речной воде. Выброс речных вод в море хорошо просматривается на спутниковых изображениях. Примеры спутниковых изображений видимого диапазона высокого пространственного разрешения MSI Sentinel 2-A для изучаемого района показаны на рис. 1. Слева показан спутниковый снимок от 10.09.2017, когда имел место интенсивный вынос речных вод в море, вызванный в предыдущие дни продолжительными дождями. Плюм на снимке хорошо виден благодаря большой концентрации взвешенного вещества. От него в северо-западном направлении далеко в море распространяется шлейф распресненных вод, достигающий мыса Сухумский. На границе шлейфа выделяются гидрологические фронты, которые излучают внутренние волны в виде цугов короткопериодных волн, движущихся как к берегу, так и в северо-западном направлении. Перенос взвешенного вещества на северо-запад обусловлено присутствием в прибрежной зоне течения

данного направления. Для сравнения на рис. 1 справа приведен космический снимок, сделанный 08.10.2018, когда сток речных вод был малым. В прибрежной зоне моря от устья реки видна зона вдольберегового шлейфа, оконтуривающего берега в юго-восточном направлении, что свидетельствует о наличии одноименного течения. Яркость изображения шлейфа речных вод на фото существенно меньше, чем у шлейфа, образованном при интенсивном стоке, что указывает на явное снижение концентрации распространяющегося в море взвешенного вещества.



Рисунок 1. Спутниковые изображения видимого диапазона MSI Sentinel 2-A от 10.09.2017 при интенсивном речном стоке (слева) и от 08.10.2018 при малом стоке (справа). В зависимости от течений в море взвесь разносится над шельфом в разных направлениях.

Спутниковые снимки дают исчерпывающую информацию о распространении речных вод над шельфом в поверхностном слое моря, но остается вопрос о том, что происходит с речными водами в глубине. Измерения с помощью ADCP позволили дать ответ на этот вопрос и зарегистрировать характерные особенности распространения взвешенного вещества в водной толще. Были проведены подспутниковые измерения как в случае сильного, так и слабого вброса речных вод в море. Съемка была сделана в приустьевом участке моря путем прохождения по набору сечений, ориентированных по нормали к берегу. В результате были получены разрезы, на которых измерены характеристики коэффициента обратного акустического рассеяния от поверхности до дна моря в пределах глубин до 100 м. Объединение данных всех разрезов дало возможность построить не только пространственную картину течений на полигоне, но и картину пространственного распределения взвешенного вещества.

Подробнее остановимся на результатах подспутниковой съемки октября 2015 г, когда имел место интенсивный вынос речных вод. Контактные измерения показали, что вынос речных вод в море сопровождается как существенными изменениями «гидрологии», так и изменением характера течений прибрежных вод. В акватории напротив впадения основного русла реки присутствует развитый сулой, прохождение которого на

малом судне представляет сложную задачу. Данные съемки выявили неоднородный характер течений в прибрежной зоне, как по величине, так и по направлению, но главной чертой является узкая область сильного течения от берега напротив места впадения реки. Для этой же области прибрежной зоны характерно присутствие интенсивных короткопериодных внутренних волн с амплитудами в несколько метров. В толще моря прослеживается область повышенного акустического рассеяния, связанная с выносом в море взвешенного вещества в виде мелких частиц песка и взмученных донных осадков. На рис. 2 показано распределение коэффициента обратного рассеяния, характеризующего концентрацию взвеси, на разрезе напротив устья реки Кодор. Хорошо видно, что на мелководье до места, где глубины до 10 м, речная вода держится в верхнем 1.5-метровом слое. Дальше от берега начинается постепенное заглубление взвеси одновременно с перемешиванием речных вод с морскими. На удалении от берега, начиная с глубин 15 м, взвешенное вещество разносится по всей толще воды до горизонта расположения термоклина (17-18 м). Данные отдельных разрезов объединяются и мы имеем возможность получить картину пространственного распределения взвеси на всей площади моря, охваченной нашей съемкой, которая представлена на рис. 3. Из него видно, что величины коэффициента обратного акустического рассеяния в воде варьируют от 70-71 дБ в толще за пределами плюма и до 90-102 дБ в месте выброса речных вод в море. Область повышенного рассеяния распространяется на акватории в сторону моря более чем на 1 км и по направлению параллельно берегу – более чем на 2 км. В целом область повышенного рассеяния смещена на юго-восток, что объясняется также и тем, что здесь впадает в море второй рукав Кодора, меньший по объему выносимой в море воды. На пространственное распределение взвешенного вещества в море оказывает влияние совместное действие фонового вдольберегового течения и сильного течения от берега напротив точки впадения в море основного русла реки.

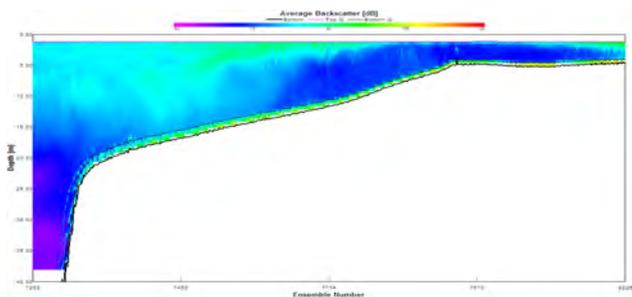


Рисунок 2. Картина обратного рассеяния, демонстрирующая распределение взвеси в водной толще на разрезе в прибрежной зоне моря напротив впадения реки Кодор 27.10.2015.

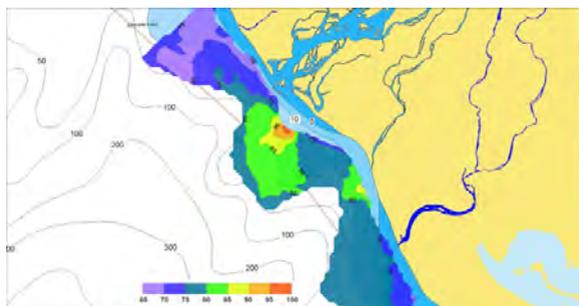


Рисунок 3. Пространственное распределение коэффициента обратного рассеяния, характеризующего концентрацию взвеси в толще моря у устья реки Кодор. Измерения 27.10.2015.

В данной работе мы не имели калибровочных измерений в море, чтобы перевести полученные акустические данные о взвеси выноса реки Кодор в реальные данные концентрации. Подобные работы, обеспеченные калибровочными измерениями, открывают дальнейшие широкие перспективы в изучении процессов выноса взвешенного вещества речными водами.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ (проект № 19-52-40007 Абх_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврова О.Ю., Серебряный А.Н., Митягина М.И., Бочарова Т.Ю. Подспутниковые наблюдения мелкомасштабных гидродинамических процессов в северо-восточной части Черного моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 308–322.
2. Serebryany A. Monitoring of processes on a sea shelf using ADCP // Hydroacoustics of shallow sea Warszawa: Polish Academy of Sciences Institute of Fundamental Technological Research, 2013. P. 105–117.
3. Thorne P.D., Vincent C.E., Harcastle P.J., Rehman S., Pearson N. Measuring suspended sediment concentration using acoustic backscatter devices// Marine Geology. 1991. V. 98. 7–16.
4. Серебряный А.Н. Использование акустического доплеровского измерителя течений (ADCP) для оценки концентрации взвеси в море// Система Белого моря. Т. III. М.: Научный мир, 2012. С. 118–122.
5. Серебряный А.Н., Кравчишина М.Д., Пака В.Т., Лисицын А.П. Временная изменчивость распределения взвеси на суточной станции в Двинском заливе Белого моря по данным ADCP – первые исследования новыми методами // Геология морей и океанов. М: ГЕОС, 2013. Т. III. С. 78–82.

The results of studies of the runoff of suspended matter by the Kodor River to the Black Sea shelf are discussed. The work was carried out in the summer - autumn periods using spatial surveys using ADCP. Zones of increased concentration of suspended matter in the shelf area and its distribution in the water column at sections oriented along the normal to the coast are determined. A possible transport of suspended matter along the coast was revealed both in the northwest and southeast directions.

Стародымова Д.П., Коченкова А.И., Ключевиткин А.А., Новигатский А.Н.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
e-mail: d.smokie@gmail.com)

Микроэлементный состав рассеянного осадочного вещества Лофотенской котловины (Норвежское море)

Starodymova D.P., Kochenkova A.I., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Trace-element composition of dispersed sedimentary matter of Lofoten Basin (Norwegian Sea)

Ключевые слова: осадочное вещество, седиментационная ловушка, лСеверная Атлантика, редко-земельные элементы

В пробах осадочного материала, собранного с помощью 12-стаканных седиментационных ловушек в толще воды Норвежского моря был проанализирован микроэлементный состав методом ИСП-МС. Осадочное вещество придонного горизонта характеризуется более высоким содержанием литогенных элементов, что связано с влиянием нефелоидного слоя. Вещество, осаждающееся на горизонте 550 м, характеризуется более высоким содержанием биогенных элементов и значительной годовой изменчивостью микроэлементного состава. Величина цериевой аномалии может отображать эпизоды улучшения вентиляции толщи воды в течение года.

Изучение химического состава осадочного вещества – один из инструментов, позволяющих лучше понять цикл химических элементов в океане и оценить их участие в биологических процессах [1–3]. Рассеянное осадочное вещество, взвешенное в многокилометровой толще вод океанов, является тем материалом, из которого, в конечном счете, образуются донные осадки и осадочные породы. Поэтому изучение фракционирования химических элементов в толще морской воды дает нам ключ к реконструкции обстановок окружающей среды прошлого в соответствии с принципом актуализма [1].

Поступление осадочного вещества в Норвежском море определяется воздействием многих источников (первичная продукция фитопланктона, аэрозольная поставка, абразия берегов, ледниковый сток, айсберговый и ледовый разнос, донная эрозия и переотложение донных осадков, поставка эндогенного вещества из спрединговой зоны).

Лофотенская котловина является одним из наиболее динамически активных районов Северной Атлантики [1, 4]. Сложная гидрологическая структура вод изучаемого региона активно воздействует на процессы

формирования потока рассеянного осадочного вещества. Возрастает роль латерального переноса вещества, что было выявлено ранее на отдельных полигонах [5, 6].

Глубоководная седиментационная обсерватория была установлена на станции 5522 в июле 2017 г. и поднята в 2018 г. в Лофотенской котловине (Норвежское море) на глубине 3000 м. Осадочное вещество было собрано с использованием 12-стаканных седиментационных ловушек Лотос-3, которые обеспечивают смену пробосборника каждый месяц. Отбор проб седиментационными ловушками данного типа осуществлялся на двух горизонтах – 550 и 2900 м. В результате технических неполадок механизм смены пробосборника ловушки на горизонте 2900 перестал работать в апреле. Таким образом, для горизонта 550 м получены пробы за целый год, а для горизонта 2900 – только за период с июля по март.

Материал осадочного вещества, собранный на двух горизонтах был проанализирован на содержание микроэлементов методом ИСП-МС. Навеску пробы 10-20 мг разлагали с применением концентрированных кислот (азотной, плавиковой и перекиси водорода). Затем полученный раствор выпаривали на плитке с целью отогнать плавиковую кислоту, полученный осадок растворяли в 3% растворе азотной кислоты до объема 30 мл. Для контроля полноты разложения материала по той же методике был обработан стандартный образец GSD-7. Измерения проводились на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7500a. Для контроля дрейфа сигнала применялся внутренний индиевый стандарт.

Горизонт 2900 м характеризуется более высоким (по сравнению с горизонтом 550 м) содержанием практически всех проанализированных элементов за исключением меди, цинка, молибдена, кадмия и урана, для которых характерно более высокое содержание в осадочном веществе, отобранном на горизонте 550 м. При этом для горизонта 550 м характерна существенно бóльшая вариативность содержаний в течение года (рис. 1). Эти различия определяются тем, что в придонном горизонте возрастает содержание литогенного материала, который поступает туда за счет взмучивания рыхлых донных осадков в результате воздействия придонных течений, в то время как в промежуточных водах более высокая доля биогенного вещества.

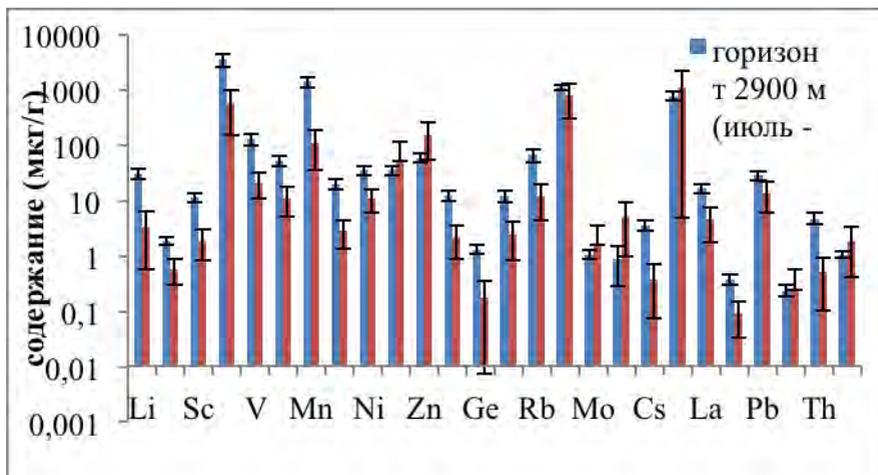


Рисунок 1. Среднегодовой состав осадочного вещества с планками стандартных отклонений

На рис. 2 (а и б) представлены спектры содержаний редкоземельных элементов (РЗЭ), нормализованных на состав сланца NASC [7]. Осадочное вещество обеднено РЗЭ относительно сланца (вещество промежуточных вод в большей степени), для тяжелых РЗЭ это обеднение более существенно. Для горизонта 550 м характерна отрицательная цериевая аномалия, которая наследуется, по-видимому, от состава морской воды. Для горизонта 2900 м отрицательная цериевая аномалия менее выражена, кроме того, выделяется два периода (ноябрь и февраль), для которых выявлена положительная цериевая аномалия. Для этих же периодов характерно повышение содержания марганца, поэтому данные периоды можно связать с интенсификацией окислительных процессов и соосаждением церия и оксидов марганца из морской воды [8].

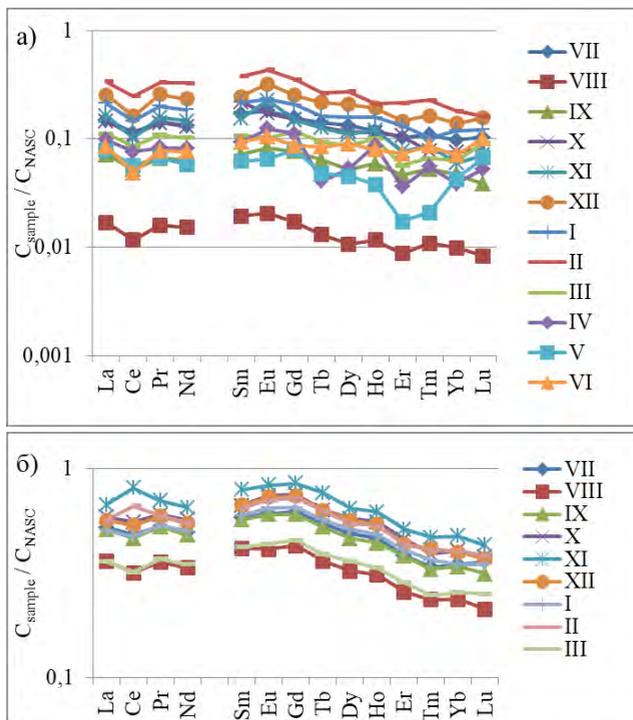


Рисунок 2. Спектр нормализованных содержаний РЗЭ осадочном веществе на горизонтах 550 (а) и 2900 м (б)

Таким образом, состав осадочного вещества Лофотенской котловины существенно изменяется в зависимости от глубины, для промежуточных вод характерна также значительная годовая изменчивость и обогащение биогенными элементами, в то время как осадочное вещество придонного горизонта ближе по составу к литогенному. Окислительно-восстановительные условия в придонном горизонте варьируют в течение года, что можно проследить по содержанию марганца и величине цериевой аномалии.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну, экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш», М.Д. Кравчишиной.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 19-05-00787). Исследования проведены в рамках государственного задания, тема No. 0149-2019-0007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // Мировой океан. Т. II. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли / Под общ. ред. чл.-корр. РАН Лобковского Л.И. и академика Нигматулина Р.И. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
2. Ohnemus D.C., Lam P.J. Cycling of lithogenic marine particles in the US GEOTRACES North Atlantic transect // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2015. V. 116. P. 283–302.
3. Twining B.S., Rauschenberg S., Morton P.L., Vogt S. Metal contents of phytoplankton and labile particulate material in the North Atlantic Ocean // Progress in Oceanography. 2015. V. 137. P. 261–283.
4. Фалина А.С., Сарафанов А.А. О формировании нижнего звена меридиональной термохалинной циркуляции вод Северной Атлантики // Докл. РАН. 2015. Т. 461. № 6. С. 710–714.
5. Лукашин В.Н., Богданов Ю.А., Гурвич Е.Г. и др. Исследования нефелоидного слоя // Океанологические исследования фронтальной зоны Гольфстрима. Полигон «Титаник». М.: Наука, 2002. С. 235–262.
6. Лукашин В.Н., Щербинин А.Д. Нефелоидный слой и горизонтальные потоки осадочного вещества в Норвежском море // Океанология. 2007. Т. 47. № 6. С. 894–908.
7. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. The “North American shale composite”: Its compilation, major and trace element characteristics // Geochim. and cosmochim. acta. 1994. V. 48. № 12. P. 2469–2482.
8. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.

In sedimentary matter samples collected using 12-cup sediment traps in the water column of the Norwegian Sea, the trace element composition was analyzed by the ICP-MS method. Sedimentary material, settled at a horizon of 2900 meters, is characterized by a higher content of lithogenic elements suggesting the influence of the nepheloid layer. The matter settled at the horizon of 550 m is characterized by a higher content of biogenic elements and significant annual variability of the trace element composition. The magnitude of the cerium anomaly can reflect episodes of increasing ventilation of the water column during the year.

**Страховенко В.Д.^{1,2}, Овдина Е.А.^{1,2}, Субетто Д.А.^{2,3},
Белкина Н.А.²**

(¹Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, email: strahova@igm.nsc.ru, ²Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН” Институт водных проблем Севера, ³Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург).

Особенности распределения редкоземельных элементов в современных голоценовых донных отложениях и плейстоценовых ленточных глинах Онежского озера

**Strakhovenko V.D.^{1,2}, Ovdina E.A.^{1,2}, Subetto D.A.^{2,3},
Belkina N.A.²**

(¹V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, ²Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, ³Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint-Petersburg).

Peculiarities of Rare-Earth Distribution in the Modern Bottom Sediments and varvers clay of the Lake Onega

Ключевые слова: донные отложения, РЗЭ, *плейстоцен, голоцен*, распределение, Онежское озеро

Исследованы распределения РЗЭ в осадочных последовательностях кернов донных отложений Онежского озера из разных районов его акватории и на основе этого идентифицированы источники терригенного материала и реконструирован процесс формирования донных отложений для позднего плейстоцена (Онежское приледниковое озеро) и голоцена.

В открытой системе озера материал, поступивший, преобразуется в условиях раннего диагенеза: реакции окисления органического вещества и восстановления соединений S, Fe, Mn приводят к реакциям растворения-переотложения, сорбции, сопровождающимся изменениями состава донных осадков (ДО) [1]. Состав редкоземельных элементов (РЗЭ) слабо изменяется при перемещении из зон размыва в области осадконакопления, отражая особенности состава источников исходного вещества. За исключением Ce и Eu, поведение РЗЭ обычно используется как индикатор условий седиментогенеза [2]. Для Ce характерна образования отрицательной аномалии в воде, за счет его сорбции оксидами Mn и гидроксидами Fe [3]. При этом фиксируется сильная положительная Ce аномалия в Mn осадках [4].

Целью данной работы является сопоставление спектров распределения РЗЭ и количественные величины их содержаний в осадочном веществе кернов ДО с этапа их формирования в условиях нивального литогенеза

приледникового Онежского озера (позднеплейстоценовые ленточные глины) к современным гумидным условиям осадконакопления (голоценовые илы) для реконструкции источников сноса и обстановок формирования осадочных последовательностей во времени.

Онежское озеро расположено в области выхода на поверхность горных пород Балтийского кристаллического щита и осадочного чехла Русской плиты. В четвертичное время водосборный бассейн и само Онежское озеро претерпевали значительные изменения, связанных с деградацией ледников, с неотектоническими движениями. Водосборный бассейн озера сложен комплексом гнейсо-гранитовых пород архейского возраста, палеопротерозойскими вулканогенно-осадочными породами, андезито-базальтами, гранитоидами, осадочными породами и трапповыми базальтами ятулия, молласоидными отложениями вепся. На юге и юго-востоке водосбор озера представлены осадочными отложениями рифейско-фанерозойского чехла Русской платформы [5]. За сотни миллионов лет продукты денудации массивов кристаллических пород Балтийского щита накопились в промежуточных коллекторах, которые легко размываются и поверхностными водами поставляются в озеро в современное время.

Отбор непрерывных кернов ДО Онежского озера проведён во время рейсов НИС «Эколог» в 2016–2018 гг. (на разных глубинах и в разных частях акватории). Опробована 39 скважин с помощью поршневой трубки Бикера, трубкой Неймисто и трубчатым пробоотборником мощностью до 3 м. На базе ЦКП ИГМ СО РАН проведено геохимическое и минералогическое изучение ДО всех стратифицированных горизонтов: в поверхностном окисленном слое ДО (0–20 см), рудный горизонт, нижележащем слое восстановленных илов (3–200 см) и подстилающих их ленточных глинах (50 – 370 см). Выбраны наиболее представительные горизонты ДО из различных районов акватории озера, в которых изучено содержание РЗЭ в 69 пробах методом ИСП-МС с целью выявления источников поступления обломочного вещества.

Ранее авторами установлено два типа стратификации кернов ДО Онежского озера согласно составу и геохимическим особенностям [6]. В колонках 1-го типа, при высоком содержании кислорода в надилловых водах на определенной глубине от границы раздела фаз «вода–осадок» происходит формирование рудных слоёв. Рудный слой имеет зональное строение. Его верхняя часть сложена обособленными микроконкрециями Mn (преимущественно пиролюзит) в ассоциации со створками диатомей, Fe-иллитом или Fe-хлоритом, а также зернами терригенных минералов. Марганцевые микроконкреции по сравнению с вмещающими отложениями обогащены Ва. Содержание Mn составляет в среднем 6.8% при отношении Mn/Fe = 1. Ниже по разрезу залегает слой гетитовых конкреций (аморфный и кристаллический гётит) с содержанием Mn/Fe < 0.1. Ниже залегают гомогенные илы алеврит-пелитового состава серого цвета с большим

количеством микрослойков зеленого (вивианит), черного (пиролюзит) и кремовато-желтого (сидерит, родохрозит) цвета. Гомогенный ил подстилается серыми ленточными глинами приледникового озера. В колонках ДО 2-го типа верхний охристый слой представлен <1см мощностью, ниже которого находятся гомогенные илы, подобные присутствующим в колонках 1 типа, далее также залегают ленточные глины. Рудные слои здесь отсутствуют [6].

Средние содержания РЗЭ в ДО разных стратифицированных горизонтов по всей акватории озера значимо не различаются (варьирует от ~147 до ~227 г/т (среднее – 187±39 г/т), за исключением окисленного ила и железомарганцевых конкреций (ЖМК) в Петрозаводской губе. Здесь, в верхнем окисленном горизонте ила содержание РЗЭ значительно ниже (60 г/т), а в ЖМК наоборот фиксируются максимальные величины РЗЭ (354 г/т). Сведения о средних суммарных содержаниях РЗЭ в исследованных пробах и об основных значениях, нормированных на RPSC (Russian Platform Shale Composite) [2] и хондрита [7] их спектров распределения, приведены в таблице 1. При нормировании по RPSC стратифицированных горизонтов ДО из разных районов акватории Онежского озера можно наблюдать как близкие к RPSC графики распределения РЗЭ в Южном Онеге, так и отличающиеся спектры распределения РЗЭ для других районов Онежского озера, за исключением распределения РЗЭ в ЖМК (рис. 1). Графики распределения РЗЭ ленточных глин, гомогенных и окисленных илов характеризуются обогащением легкими лантаноидами и обеднением тяжелыми лантаноидами. Согласно

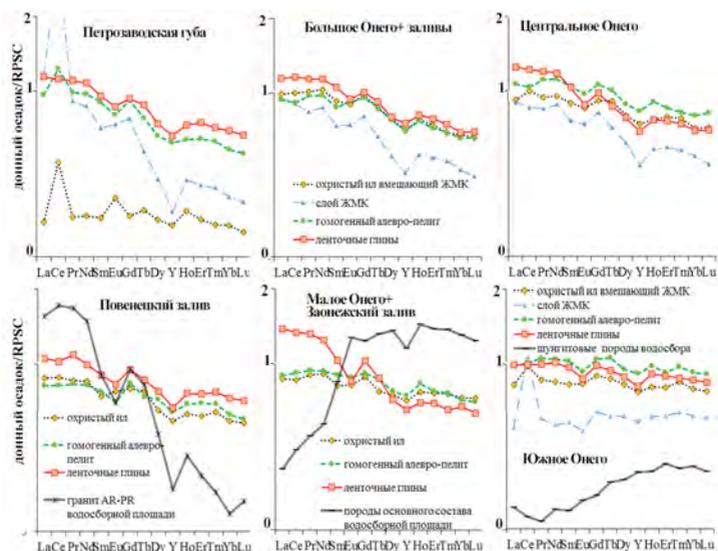


Рисунок. Спектры распределения РЗЭ в ДО различных районов Онежского озера и основных горных пород его водосборной площади (нормированные на RPSC).

величинам $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ все ДО формировались в условиях гумидном литогенеза. Спектры ЖМК, а также спектры окисленных и гомогенных илов Петрозаводской губы существенно отличаются положительной величиной Се аномалии. При этом фиксируется сильная положительная корреляция величины Се аномалии с количеством Mn в слоеке с ЖМК. Графики распределения РЗЭ в ЖМК существенно отличаются также обогащением легкими лантаноидами. Сопоставление с распространенностью РЗЭ в главных литологических типах пород Балтийского щита и осадочного чехла Русской платформы, водосборной площади Онежского озера [2,7,8] позволяет сделать следующие выводы относительно их литогеохимических особенностей и обстановок формирования: (1) ДО сформированы в основном за счет продуктов выветривания массивов кристаллических пород Балтийского щита, включающих фанерозойские отложения, и в меньшей степени четвертичных отложений и пород осадочного чехла Русской платформы. Выявлен достаточно хорошо выраженный тренд изменения спектров распределения РЗЭ по акватории Онежского озера, с постепенным увеличением в них роли пород осадочного чехла Русской платформы к Южному Онегу. Образование положительной Се аномалии происходит за счет сорбции оксидами марганца легких лантаноидов, особенно Се. Тренд распределения РЗЭ в стратифицированных горизонтах ДО Онежского озера от ленточных глин приледникового озера к современным иловым отложениям не изменялся, за исключением районов Малого и Центрального Онегу. В этих районах в составе ленточных глин значительно проявлено влияния продуктов выветривания массивов кристаллических пород Балтийского щита, относительно выше залегающих ДО.

Таблица 1. Средние суммарные содержания РЗЭ и основные значения нормированных на RPSC и хондрит стратифицированных горизонтов ДО разных районов Онежского озера (наши данные) и горных пород водосборной площади Онежского озера [8]

	ΣPZ Э	$\Sigma\text{Ce}/$ ΣY	(La/Yb) RPSC	(La/Sm) RPSC	(Gd/Yb) RPSC	(Eu/Eu) * RPSC	Eu/ Eu*	(Ce /Ce*)
Охристый ил (1 тип колонок, осадок вмещающий ЖМК)								
Петрозаводский зал.	67	4,5	1,03	0,96	1,10	1,19	0,84	1,70
Повененский залив	152	4,5	1,52	1,19	1,36	1,01	0,71	0,99
Заонжье+М. Онегу	153	3,8	1,20	1,07	1,23	0,96	0,67	0,95
Б. Онегу+ заливы	171	4,4	1,48	1,07	1,46	0,94	0,66	0,97
Центральное Онегу	167	4,1	1,31	1,03	1,30	0,94	0,66	1,05
Южное Онегу	157	3,7	1,04	1,00	1,14	0,96	0,67	1,14
Горизонт рудных ЖМК (1 тип колонок)								
Петрозаводский зал.	354	18,0	3,20	1,65	2,13	0,99	0,69	3,35
Б. Онегу+ заливы	147	5,4	2,01	1,31	1,67	0,96	0,67	0,92
Центральное Онегу	149	5,1	1,68	1,20	1,52	0,93	0,65	0,96
Серозеленые гомогенные илы заледро-пелиты (1 и 2 типы колонок)								
Петрозаводский зал.	187	5,4	1,70	1,08	1,61	0,88	0,61	1,23
Повененский залив	144	3,9	1,33	1,07	1,36	0,87	0,61	0,97
Заонжье+М. Онегу	161	3,9	1,27	1,00	1,30	0,97	0,68	0,97
Б. Онегу+ заливы	160	4,1	1,46	1,08	1,48	1,00	0,70	0,93
Центральное Онегу	185	4,0	1,35	1,02	1,34	0,92	0,65	0,93
Южное Онегу	177	3,5	1,06	0,95	1,14	0,90	0,63	0,97

Ленточные глины (1 и 2 типы колонок)								
Петрозаводский зал.	192	5,1	1,69	1,21	1,37	0,92	0,66	0,97
Повенешский залив	181	4,6	1,47	1,17	1,32	0,89	0,64	0,93
Заонежье+М. Онего	227	6,1	2,12	1,36	1,55	0,82	0,62	0,96
Б. Онего+ заливы	195	4,7	1,68	1,09	1,48	0,91	0,57	0,99
Центральное Онего	208	5,4	1,85	1,22	1,44	0,87	0,64	0,97
Южное Онего	174	3,8	1,16	1,03	1,15	0,89	0,61	0,97
Торные породы волосборной площади Онежского озера [8]								
Граниты AR-PR	274	13,2	6,72	1,77	4,03	0,74	0,52	1,04
ПалеоPR вулкан.-осадочные породы	95	1,4	0,34	0,44	1,24	1,39	0,99	1,03
Шунгитовые породы	43	2,2	0,68	1,03	0,76	1,02	0,71	0,95

Расчет величин Eu/Eu^* и $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{RPSC}}$, Ce/Ce^* выполнен, соответственно, по формулам $\text{Eu}_N/\sqrt{(\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)}$ и $(\text{Eu}/\text{Eu}_{\text{RPSC}})/\sqrt{(\text{Sm}/\text{Sm}_{\text{RPSC}}) \times (\text{Gd}/\text{Gd}_{\text{RPSC}})}$; $\text{Ce}_N/\sqrt{(\text{La}_N \times \text{Pr}_N)}$

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФ № 18-17-00176

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса М.: ГЕОС, 2006. 608 с.
2. Мигдисов А.А., Балашов Ю.А., Шарков И.В. и др. Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы // Геохимия. 1994. № 6. С. 789–803.
3. Bau M. Scavenging of dissolved yttrium and rare earth by precipitating iron oxyhydroxide: Experimental evidence for Ce oxidation, Y_Ho fractionation, and lanthanide tetrad effect // Geochim. Cosmohim. Acta. 1999. V. 63. P. 67–77.
4. Kawabe I., Ohta A., Ishu S., Tokumura M., Miyauchi K. REE portioning between precipitates and weakly acid NaCl solutions: Convex tetrad effect and fractionation of Y and Sc from heavy lanthanides // Geochem. J. 1999. V. 33. P. 167–179.
5. Колодяжный С.Ю. Структурно-кинематическая эволюция юго-восточной части Балтийского щита в палеопротерозое. Тр. ГИНа. Вып. 572. М.: ГЕОС. 2006. 332 с
6. Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Овдина Е.А. и др. Современные донные отложения Онежского озера: строение, минеральный состав и систематика редкоземельных элементов // ДАН. 2018. Т. 481. № 4. С. 1–4.
7. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., Мир, 1988. 384 с.
8. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минералогия). Петрозаводск: КНЦ РАН, 2011. 431 с.

Distributions of REE in sequences of bottom sediments of Lake Onega from different areas are investigated and on the basis of this study the sources of terrigenous material are identified and the process of formation of bottom sediments during the late Pleistocene (Onega Ice Lake) and the Holocene is reconstructed.

Топчая В.Ю.

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

О сезонном изменении состава рассеянного вещества атмосферы, поступающего в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря

Topchaya V.Yu.

(P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Seasonal changes in the composition of atmospheric aeolian matter entering the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea

Ключевые слова: аэрозоли, Балтийское море,

В прибрежной зоне юго-востока Балтийского моря было исследовано более 208 образцов эолового материала, проб аэрозольного материала, поступающего в береговую зону в сухую погоду («сухое осаждение»), и рассеянного осадочного вещества, находящегося в снежном покрове. Зимой и осенью в их составе преобладают антропогенные компоненты, весной и летом – биогенные и минеральные компоненты.

Береговая зона морей и океанов является одной из самых динамичных природных систем, испытывающая повышенную естественную и антропогенную нагрузку. Она пропускает через себя поступающий в море осадочный материал, а вместе с ним – всевозможные загрязняющие вещества, в связи с чем ее справедливо относят к главнейшим экологическим фильтрам нашей планеты [1]. Поэтому всестороннее изучение осадочного материала, поступающего в береговую зону, выявление его генезиса, путей переноса и трансформации заслуживает самого пристального внимания.

Состояние окружающей среды любого региона в значительной степени обуславливается процессами циркуляции атмосферы, от которых зависят длительность и направления переноса воздушных масс и сопутствующего им рассеянного осадочного вещества (нерастворимый аэрозоль), и входящих в его состав антропогенных экотоксикантов. Аэрозоль содержит составляющие различной природы, соотношение между которыми зависит от физических свойств атмосферы (влажности, давления воздуха, скорости и направления ветра), сезона года и источника их поступления.

Над исследуемой территорией формирование состава атмосферных осадков происходит под воздействием западного переноса воздушных масс, т.е. регион находится на пути трансграничного атмосферного переноса аэрозоля с запада [2] на восток.

В работе представлены результаты многолетних (2005–2016 гг.) исследований состава рассеянного вещества атмосферы, поступающего

в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря. Исследования, включали сбор и изучение рассеянного вещества снега, собранного на ледяном покрове Вислинского и Куршского заливов и берегового припая, дождевой воды, а также проб аэрозольного материала, поступающего в береговую зону в сухую погоду («сухое осаждение»). Всего на десяти станциях была собрана и исследована 208 проб взвешенного в атмосфере вещества, осевшего различными способами на территорию береговой зоны (рис. 1). Приборы и методы сбора материала и их камеральной обработки описаны в [3].



Рисунок 1. Схема расположения станций. 1 - станции сбора снега и «сухого осаждения»; 2 - станции сбора дождевой воды.

На основании полученных результатов можно заключить следующее. В целом, в пробах «сухого осаждения», дождевой воды и в снежном покрове береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря во все сезоны года рассеянное вещество атмосферы представлено литогенными (песчаные частицы и обломки глинистых минералов), биогенными (споры и пыльца растений, растительные волокна и диатомовые) и антропогенными (сажа, пористый пепел, сферы сгорания) частицами. За весь период исследований, максимальное поступление литогенного материала наблюдается в летний период в результате «сухого осаждения». В составе рассеянного вещества дождевой воды в весенне-летний период доминирует биогенный материал, а в осенний – антропогенные частицы. В зимний период в составе эолового материала, выпадающего и аккумулирующегося в снеговом покрове, так же наблюдается явное преобладание антропогенной составляющей.

Литогенный материал рассеянного вещества атмосферы оседающего в сухую, теплую погоду в летний период состоит в основном из кварца,

единично встречающихся обломков кальцита и агрегатов глинистых частиц алеврито-пелитовой размерности (<50 мкм). В дождевой воде доминирующие биогенные частицы весенне-летнего периода представлены в основном спорами и пыльцой разных растений, органическим детритом, растительными волокнами, а также пенистыми диатомовыми водорослями (рис. 2а). В осенние месяцы преобладают антропогенные частицы разного генезиса. Среди наиболее часто встречающихся отмечены сажа и пористые частицы пепла (рис. 2б). В зимний период антропогенная составляющая снегового покрова представлена сгустками сажевых частиц (70–130 мкм), пористыми частицами пепла (10–50 мкм) и гладкими сферами сгорания, обогащенные такими элементами, как Fe, Ni, Ti, Al, Mg (рис. 2в).

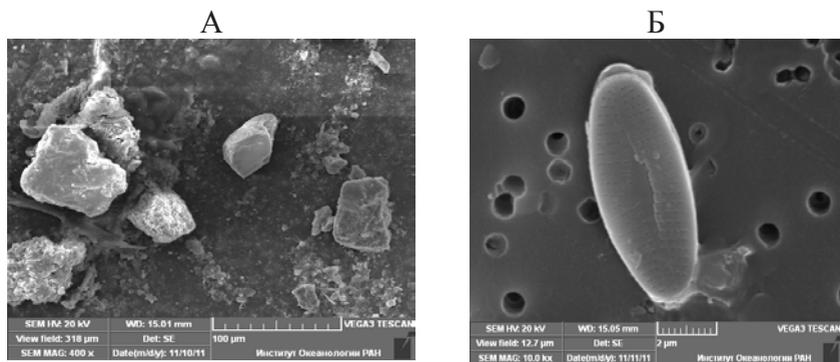


Рисунок 2а. Характерные для весенне-летнего периода твердые частицы, содержащиеся в пробах «сухого осаждения» и в дождевых осадках. А – минеральные частицы (кварц), Б – пенистая диатомея

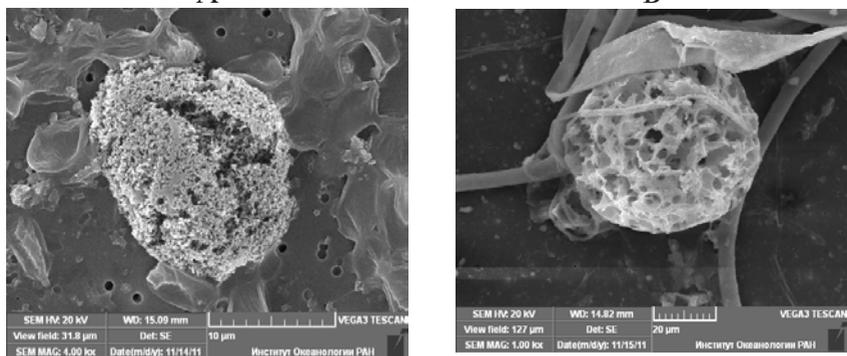
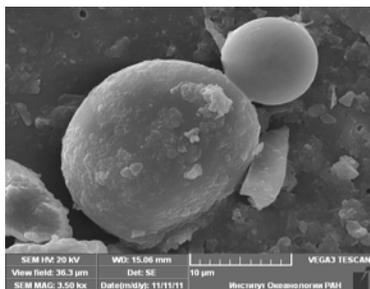
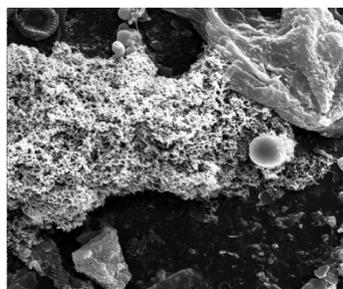


Рисунок 2б. Характерные твердые частицы осеннего периода, содержащиеся в дождевых осадках. А – сажа, Б – пористый пепел



А



Б

Рисунок 2в. Характерные твердые частицы зимнего периода, содержащиеся в снеговом покрове. А – гладкие сферы сгорания, Б – сажа

В результате исследований, выявлено, что состав рассеянного вещества атмосферы поступающего в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря формируется под воздействием как локального, так и дальнего переноса воздушных масс с запада на восток.

Анализ и интерпретация данных выполнялись при поддержке гранта РФФИ p_мол_a №19-45-393007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долотов Ю.С., Гребнев Ю.С., Болдырев В.Л., Шахин В.М. Современные проблемы регулирования режима и защиты песчаных берегов // Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология. Материалы конференции. Калининград: изд-во КГУ, 2004. С. 42–46.
2. Топчая В.Ю., Виноградова А.А. Антропогенная нагрузка свинцом и кадмием на окружающую среду Калининградской области РФ – по данным программы ЕМЕР // Фундаментальные исследования. 2014. № 12. С. 1463–1467.
3. Чечко В.А., Курченко В.Ю. Методы исследований золотого материала в береговой зоне юго-восточной Балтики // Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов. Труды межд. конференции. Новосибирск, 2009. С. 175–180

More than 208 samples of aeolian material of rainfall, “dry deposition” and accumulated in the snow cover of the coastal zone of the southeast of the Baltic Sea was studied. In winter and autumn, its composition is dominated by anthropogenic components, in spring and summer – biogenic and mineral components.

**Шевченко В.П., Белоруков С.К., Боев А.Г., Коробов В.Б.,
Лохов А.С., Стародымова Д.П., Яковлев А.Е.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
e-mail: vshevch@ocean.ru)

**Рассеянное осадочное вещество в снежном покрове
водосбора Двинского залива Белого моря в марте 2019 г.
Shevchenko V.P., Belorukov S.K., Boev A.G., Korobov V.B.,
Lokhov A.S., Starodymova D.P., Yakovlev A.Ye.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Dispersed sedimentary matter in snow cover of catchment area
of Dvinsky Bay of the White Sea in March 2019**

Ключевые слова: рассеянное осадочное вещество, золотый перенос, природный архив, снежный покров, Белое море, водосбор

В снежном покрове водосборного бассейна Двинского залива Белого моря в конце зимнего периода в марте 2019 г. было изучено распределение рассеянного осадочного вещества и его вещественный состав. На фоновых участках концентрация нерастворимых частиц в снежном покрове находится на уровне, близком к характерным для этого региона значениям. Концентрации возрастают в городах и вблизи шоссе. В составе рассеянного осадочного вещества преобладают литогенные и биогенные частицы. Во всех пробах присутствуют антропогенные частицы (пепел и сажа), доля которых возрастает в г. Архангельске.

Роль золотого переноса осадочного материала (включая загрязняющие вещества) в поставке вещества в Белое море ранее недооценивалась. Снежный покров является природным архивом вещества, поступающего из атмосферы [1–9]. Снег накапливается на поверхности почвы или льда и таким образом фиксирует атмосферные выпадения за снежный период года.

Состав снежного покрова в водосборном бассейне Двинского залива на территории Приморского района Архангельской области авторы изучали ранее в конце зимних сезонов в 2016–2018 гг. [10–12]. Рассеянное осадочное вещество было изучено в конце зимнего периода на льду на 3 участках: 1) оз. Пикалёво, в 120 км от г. Архангельска и в 70 км от г. Северодвинска в западном направлении и на расстоянии около 3 км от шоссе Северодвинск – Онега (точка 1); 2) протока Кузнечиха в районе Соломбала г. Архангельска (точка 2); 3) оз. Заднее, вблизи от шоссе Архангельск – Вологда, в 25 км к югу от Архангельска (точки 3–9). Расположение участков показано на Рисунке.

В 2019 г. исследования были продолжены. Рассеянное осадочное вещество было изучено 4–6 марта. Пробы снега были отобраны на оз. Пикалёво, на протоке Кузнечиха и на оз. Заднее.

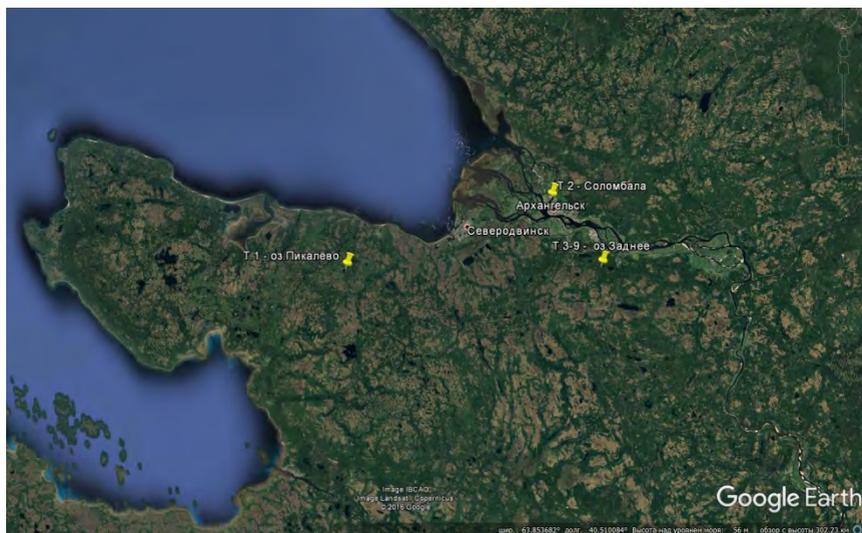


Рисунок. Схема расположения точек отбора проб снега в марте 2019 г.

Снег отбирали из шурфов с измеренной площадью и глубиной до льда в чистые пластиковые пакеты. В лаборатории снег был растоплен при комнатной температуре в пластиковых ведрах. После этого талую снеговую воду фильтровали под вакуумом через предварительно взвешенные лавсановые ядерные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм.

В лаборатории от каждого ядерного фильтра был отрезан кусочек размером 5×5 мм, который был наклеен на подложку из алюминиевой фольги и напылён золотом. После этого нерастворимые частицы снега исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе VEGA 3 (Tescan). Элементный состав частиц определяли с помощью энергодисперсионного микроанализатора (микрозонда) Oxford X-MAX в диапазоне напряжений 0–20 кВ. Метод позволяет определять содержание элементов, превышающие 0,2%. Подробнее о методе отбора и анализа проб можно прочитать в работах [10, 13].

Наиболее низкая концентрация нерастворимых частиц (0,96 мг/л) была отмечена на льду озера Пикалёво. Это значение практически совпадает с концентрацией нерастворимых частиц в снеге на этом озере 29 февраля 2016 г. (1,1 мг/л), 20 февраля 2017 г. (0,9 мг/л) и 5 марта 2018 г. (1,11 мг/л) [10, 12] и находится на фоновом уровне как для Арктики, так и для водосборного бассейна Белого моря [14–19].

Концентрация нерастворимых частиц в снежном покрове на льду около левого берега протоки Кузнечиха в Соломбале составляла 2,88 мг/л, что ниже концентрации частиц в начале марта 2018 г. (3,39 мг/л) и значительно ниже

концентраций, измеренных нами вблизи этой точки в дельте Северной Двины в конце зимы в 2005 и 2006 гг. (в среднем 9,54 и 11,9 мг/л, соответственно) [17]. Связано это, по-видимому, с уменьшением загрязнения атмосферы Архангельска в результате перевода Архангельской ТЭЦ на использование в качестве топлива природного газа вместо мазута [20].

Наиболее высокая среди изученных в данной работе проб концентрация нерастворимых частиц (5,04 мг/л) была отмечена в снежном покрове на льду оз. Заднего в 15 м от шоссе Архангельск–Вологда. По мере удаления от шоссе концентрация нерастворимых частиц в снежном покрове на льду этого озера убывает до 1,99 мг/л в 540 м от шоссе.

В составе рассеянного осадочного вещества в снеге на льду оз. Пикалёво преобладали глинистые частицы размером 4–6 мкм, в меньшей мере были представлены биогенные частицы (растительные волокна) и алюмосиликатная зола, отмечено незначительное количество зёрен кварца размером 30 x 40 мкм и калиевых полевых шпатов размером около 10 x 12 мкм. Осадочное вещество в снежном покрове на льду протоки Кузнечихи в районе Соломбала г. Архангельска состоит в основном из тонкопелитового минерального вещества с большим количеством алюмосиликатного пепла (размер до 50 мкм); встречаются отдельные биогенные волокна, агрегаты сажевых частиц и неокатанные, остроугольные, неправильной формы зёрна плаггиоклаза размером до 15 x 20 мкм и кварца до 7 x 15 мкм.

На льду оз. Заднего в 15 м от шоссе в составе рассеянного осадочного вещества преобладают минеральные частицы (глинистые частицы, неокатанные зёрна плаггиоклаза размером до 20 x 25 мкм и диоксида размером до 10 x 15 мкм, окатанные зёрна кварца размером до 10 x 15 мкм. В пробе много частиц пепла. Основным источником минеральных частиц является шоссе, которое посыпают песком для борьбы с гололедом. По мере удаления от шоссе в составе нерастворимых частиц уменьшается доля минеральных частиц и увеличивается доля биогенных и антропогенных (пепла и сажи) частиц.

Таким образом, показано, что на фоновых участках концентрация нерастворимых частиц в снежном покрове находится на уровне, близком к характерным для этого региона и прилегающим районам Арктики значениям. Концентрации возрастают в городах и вблизи шоссе. В составе рассеянного осадочного вещества преобладают литогенные и биогенные частицы. Во всех пробах присутствуют антропогенные частицы (пепел и сажа), доля которых возрастает в г. Архангельске.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну за поддержку и всем, кто помогал в проведении исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00938-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 181 с.
2. Zdanowicz С.М., Zielinski G.A., Wake С.Р. Characteristics of modern atmospheric dust deposition in snow on the Penny Ice Cap, Baffin Island, Arctic Canada // *Tellus*. 1998. V. 50B. P. 506–520.
3. Лобанова О.А., Надеин А.Ф., Тарханов С.Н., Кочерина К.В. Химический состав осадков и снежного покрова как показатель аэротехногенного загрязнения окружающей среды Архангельской агломерации (АА) // Север: экология. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 40–53.
4. Лисицын А.П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 15. № 1. С. 18–60.
5. Callaghan T.V., Johansson M., Brown R.D. et al. Changing snow cover and its impacts // *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere*. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2011. P. 4.1–4.58.
6. Голохваст К.С., Соболева Е.В., Никифоров П.А. и др. Анализ нано- и микрочастиц в снеге г. Уссурийск // *Вода: химия и экология*. 2012. № 11. С. 108–112.
7. Таловская А.В., Симоненков Д.В., Филимоненко Е.А. и др. Исследование состава пылевого аэрозоля на фоновой и городской станциях наблюдения в Томском регионе зимой 2012/13 г. // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27. № 11. С. 999–1005.
8. Василевич М.И., Безносиков В.А., Кодратёнок Б.М. Накопление растворимых и малорастворимых форм металлов в снежном покрове таёжной зоны Европейского северо-востока России // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2015. № 2. С. 111–118.
9. Чагина Н.Б., Айвазова Е.А., Иванченко Н.Л. и др. Исследование содержания тяжелых металлов в снеговом покрове г. Архангельска и оценка их влияния на здоровье населения // *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки*. 2016. № 4. С. 57–68.
10. Шевченко В.П., Белоруков С.К., Боев А.Г. и др. Нерастворимые частицы в снежном покрове Архангельской области в конце зимнего периода // *Научный альманах*. 2016. № 12-2. С. 405–414.
11. Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К. и др. Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 2. С. 140–145.

12. Шевченко В.П., Стародымова Д.П., Белоруков С.К. и др. Рассеянное осадочное вещество в снежном покрове Приморского района Архангельской области в конце зимнего периода // География: развитие науки и образование. Т. I / Отв. ред. С.И. Богданов, Д.А. Субетто, А.Н. Паранина. СПб.: Изд-во Астерион, 2019. С. 213–217.
13. Шевченко В.П., Воробьев С.Н., Кирпотин С.Н. и др. Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28. № 6. С. 499–504.
14. Darby D.A., Burckle L.H., Clark D.L. Airborne dust on the Arctic pack ice: Its composition and fallout rate // Earth and Planetary Science Letters. 1974. V. 24. P. 166–172.
15. Кособокова К.Н., Пантюлин А.Н., Рахор А. и др. Комплексные океанографические исследования в Белом море в апреле 2003 г. // Океанология. 2004. Т. 44. № 2. С. 313–320.
16. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р. (Stein R.) и др. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. № 75. Санкт-Петербург: ААНИИ, 2007. С. 106–118.
17. Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А. и др. Эоловый материал в природных архивах // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2012. С. 70–107.
18. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Белевич Т.А. и др. Комплексные исследования отделяющихся водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря в марте 2012 г. // Океанология. 2013. Т. 53. № 5. С. 714–717.
19. Состояние окружающей среды в муниципальном образовании «Город Архангельск» в 2014 г. Архангельск, 2015. 64 с.
20. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Немировская И.А. и др. Развитие четырехмерной океанологии и создание фундаментальных основ комплексного мониторинга морских экосистем (на примере Белого моря) // Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей / Отв. ред. С.М. Шаповалов. М.: Научный мир, 2010. С. 559–597.

At the end of the winter period in March 2019, in the snow cover of the catchment basin of the Dvina Bay of the White Sea, the distribution of dispersed sedimentary matter and its material composition were studied. In the background areas, the concentration of insoluble particles in the snow cover is at a level close to the values characteristic for this region. Concentrations increase in cities and near highways. The composition of dispersed sedimentary matter is dominated by lithogenic and biogenic particles. All samples contain anthropogenic particles (ashes and soot), the proportion of which is increasing in the city of Arkhangelsk.

**СИСТЕМА БЕЛОГО МОРЯ,
4-D ИССЛЕДОВАНИЯ**

**WHITE SEA SYSTEM,
4-D INVESTIGATIONS**

**Быкова Е.А.¹, Лабунская Е.А.¹, Краснова Е.Д.²,
Чергинцев Д.А.¹, Мамедова Д.Ф.¹, Дьякова А.Р.¹,**

Лунькова М.К.¹, Вишневская А.И.¹, Воронов Д.А.^{4,5}

(¹Кафедра физиологии растений, Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: styxelenalab@gmail.com; ²Беломорская биологическая станция им. Н.П. Перцова, Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва; ³Институт проблем передачи информации РАН, Москва; ⁴Институт физико-химической биологии им. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва)

**Метод оценки плотности микроводорослей рода
Rhodomonas в меромиктическом водоеме (лагуне на
Зеленом мысе) в окрестностях Беломорской биостанции
МГУ**

**Bykova E.A.¹, Labunskaya E.A.¹, Krasnova E.D.², Chergintsev
D.A.¹, Mamedova D. F.¹, Dyakova A. R.¹, Lunkova M. K.¹,
Vishnevskaya A.I.¹**

(¹Plant physiology department, Biological faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow; ²Pertsov White Sea Biological Station Biological faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow; ³A.Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of RAS, Moscow; ⁴A.N.Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology of Lomonosov Moscow State University, Moscow)

**Method of estimation of *Rhodomonas* sp. microalgae density in
a meromictic lake (a lagoon on the Cape Zeleny) in the vicinity
of the White Sea Biological Station of MSU**

Ключевые слова: отделяющиеся от моря водоемы, меромиксия, криптофитовые водоросли, Белое море, хлорофиллы, фикоэритрин, методы оценки численности микроводорослей.

Важной задачей при комплексном мониторинге меромиктических водоемов является оценка численности фитопланктонных организмов, занимающих различные слои. Данная работа показывает, что для оценки численности криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. в зоне хемоклина можно использовать как концентрацию хлорофилла *a*, так и концентрацию фикоэритрина.

Меромиктические озера – актуальный объект лимнологических исследований. В окрестностях ББС МГУ находится ряд меромиктических озер с высокой степенью стратификации водной толщи и слоями, которые отличаются друг от друга по физико-химическим параметрам и по составу фитопланктона. В верхней аэробной зоне можно обнаружить различные эукариотические организмы, для анаэробной зоны характерны микробные

сообщества, в том числе осуществляющие анаэробный фотосинтез. Особый интерес представляет зона хемоклина – область перехода от аэробной зоны к анаэробной, с высокой плотностью микроорганизмов. Особенность исследуемого водоема – наличие слоя из ярко окрашенных криптофит *Rhodomonas* sp. Они доминируют по численности и биомассе, что позволяет использовать спектрофотометрические методы для оценки их численности [1].

Водоросли из рода *Rhodomonas* имеют монадный тип дифференциации таллома и относятся к отделу Cryptophyta. Пластиды, полученные в результате вторичного эндосимбиоза от красных водорослей (Rhodophyta), содержат хлорофиллы *a* и *c*₂, а также фикоэритрин 545, расположенный в люмене тилакоидов. Большинство спектрофотометрических методов для оценки численности фотосинтезирующих организмов использует концентрацию хлорофилла *a*. Однако в случае фотосинтетиков, содержащих в достаточном количестве фикобилины, представляется возможным использование их для оценки численности клеток.

Целью данной работы было получение калибровочных кривых для оценки плотности *Rhodomonas* sp. в лагуне на Зеленом мысе (Белое море, Кандалакшский залив, окрестности Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова МГУ им. М.В. Ломоносова) по хлорофиллу *a* и по фикоэритрину.

Для выделения пигментов и подсчета количества клеток *Rhodomonas* sp. пробы из зоны хемоклина (глубина 5,5 м) пробы, отобранные в лагуне на Зеленом мысе с помощью погружного насоса, сразу помещали в пластиковые емкости, обернутые фольгой для предотвращения разрушения пигментов на свету. Для получения зависимости концентрации пигмента от количества клеток необходимо было сделать разведения исходной пробы в 2, 3, 4 и 8 раз. Каждое разведение делали в трех повторностях. Для разведения использовали отфильтрованную через бумажный фильтр морскую воду. Для экстракции фикоэритринов отбирали по 45 мл из полученных разведений и помещали в центрифужные пробирки на 50 мл. Для более эффективного осаждения мы охлаждали пробы в морозильной камере в течение 10 минут, центрифугировали в течение 10 минут на 3000 г^{см}, сливали не содержащий клеток супернатант. К осадку доливали по 45 мл исходной пробы, после чего снова охлаждали в морозильной камере в течение 10 минут и проводили повторное центрифугирование. Для сохранения свойств фикоэритринов в пробы добавляли по 15 мл фосфатного буфера pH 6,7 (0.05 М КН₂РO₄, 0.05 М К₂НРO₄) и ресуспендировали осадок. Для лучшего выделения фикоэритрина пробы, залитые буфером, помещали в морозильную камеру на –18°С на ночь до полного замерзания, после чего размораживали при

комнатной температуре в течение 5–6 часов, помещая пробирки в емкость с водой комнатной температуры для ускорения размораживания. Для полного высвобождения пигментов полностью размороженные пробы подвергали ультразвуковой обработке в течение 10 минут. Перед проведением измерения пробы центрифугировали 10 минут на 5000 г_г. Оптическую плотность полученных растворов определяли на спектрофотометре СФ-2000 при 455, 564, 592, 750 нм против фосфатного буфера. Полученные значения оптической плотности служили материалом для пересчета концентрации пигмента по формуле [2]:

$$PE \text{ (mg/ml)} = [(A_{564} - A_{592}) - (A_{455} - A_{592}) * 0.2] * 0.12$$

Для экстракции хлорофиллов действия по осаждению и концентрированию клеток были аналогичными. Далее в пробы добавляли по 15 мл 100% ацетона, после чего ресуспендировали осадок. Затем пробирки с ацетоновым экстрактом хлорофилла центрифугировали 10 минут на 5000 г_г. Оптическую плотность экстракта хлорофилла измеряли при 630, 663 и 750 нм в кварцевых кюветах против 100% ацетона. Концентрации хлорофилла *a* рассчитывали с использованием полученных значений оптических плотностей по следующей формуле [3]:

$$C_{\text{Chla}} \text{ (мкг\мл)} = 11,43D_{663} - 0,64D_{630}$$

Для того чтобы учесть возможные колебания содержания пигментов днем и ночью, пробы отбирали в разное время суток: в полночь и в полдень.

Подсчет клеток проводили в камере Нажотта для каждого разведения отдельно. Таким образом, оказалось возможным установить соответствие между определенным количеством клеток в объеме пробы из зоны хемоклина и содержанием пигмента (хлорофилла *a* либо фикоэритрина) в данном объеме.

Используя эти данные, мы получили калибровочные кривые зависимости концентрации пигмента, полученного из клеток, содержащихся в 1 мл пробы воды из озера от числа клеток в данной пробе (рис. 1, 2).

Следует отметить, что стандартное отклонение концентрации пигмента не выходило за пределы 5% как для хлорофилла *a*, так и для фикоэритрина.

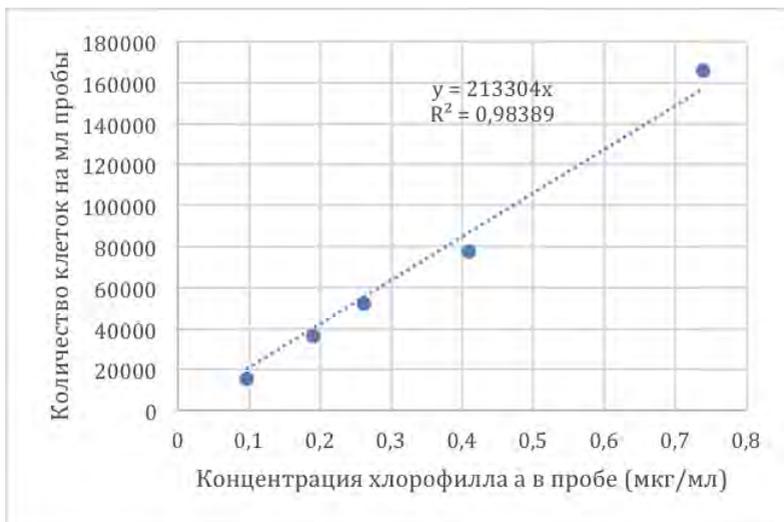


Рисунок 1. Зависимость концентрации хлорофилла *a* в объеме пробы воды из озера от количества клеток в дневной пробе.

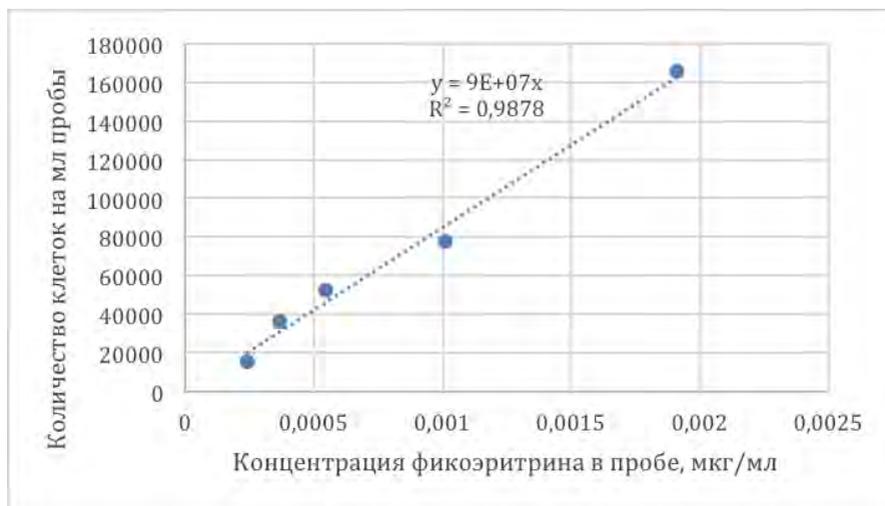


Рисунок 2. Зависимость концентрации фикоэритрина в объеме пробы воды из озера от количества клеток в дневной пробе.

Фикоэритрин также показывает хорошую корреляцию с количеством клеток, хотя значения коэффициента корреляции немного ниже, чем для хлорофилла *a*. Также в большей степени, чем для хлорофилла *a*, различаются

дневная и ночная калибровки (для дневной уравнение $y=9 \cdot 10^7 x$, для ночной – $y=6 \cdot 10^7 x$). Не исключено, что содержание фикоэритрина в связи с его антенной функцией может быть менее стабильно, чем хлорофилла *a*, однако это требует дальнейших исследований.

Таким образом, мы показали, что для оценки численности *Rhodomonas* может использоваться как хлорофилл *a*, который применяется для решения подобных задач на других фитопланктонных организмах, так и фикоэритрин, экстракцию которого можно провести без ацетона, в полевых условиях, если есть возможность заморозить пробы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-05-00377).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kasprzak P., Padisák J., Koschel R. et al. Chlorophyll *a* concentration across a trophic gradient of lakes: An estimator of phytoplankton biomass? // *Limnologica*. 2008. V. 38. P. 327–338.
2. Beer S., Eshel A. Determining phycoerythrin and phycocyanin concentrations in aqueous crude extracts of red algae // *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 1985. V. 36. P. 785–792.
3. Jeffrey S.W., Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c*1 and *c*2 in higher plants and natural phytoplankton. *Bioch. Physiol. Pflanz.* 1975. V. 165. P. 191–194.

An important task in the integrated monitoring of meromictic water bodies is to assess the number of phytoplankton organisms occupying different layers. This work shows that to assess the number of cryptophytic algae *Rhodomonas* sp. in the chemocline zone, both the concentration of chlorophyll *a* and the concentration of phycoerythrin can be used.

Вахрамеева Е.А., Кокрятская Н.М.

(ФГБУН ФИЦКИА РАН, г. Архангельск, vakhr-elena@yandex.ru)

Гранулометрический состав донных отложений меромиктических озер (бассейн Белого моря)

Vakhrameeva E.A., Kokryatskaya N.M.

(N. Laverov Federal Center of Integrated Arctic Research)

The granulometric composition of the bottom sediments of the meromictic lakes (White Sea basin)

Ключевые слова: гранулометрический состав, донные отложения, меромиктические озера, автохтонное и аллохтонное органическое вещество

Гранулометрический состав, характеризующий степень дисперсности озерных донных отложений, является их важной характеристикой. Накопление иловых осадков в озерах сопровождается процессами перераспределения и трансформации органического вещества (ОВ), минерализации.

Гранулометрический состав донных отложений озер представлен в основном илами, отложенными на этапе седиментации и претерпевшими лишь самые ранние диагенетические изменения. Илы занимают первое место в ряду преобразования глинистых осадков в глины.

Для анализа донных отложений озер, содержание алевритовых и пелитовых фракций в которых достаточно велико, целесообразно использовать пипеточный метод [1].

Поскольку гранулометрический состав осадка всегда неоднороден, то используются более детализированные схемы, т.е. в том случае, когда наряду с преобладающей фракцией содержится еще одна фракция в количестве более 25% [2].

С целью исследования современного состояния донных отложений меромиктических субарктических озер Светлое и Темное, относящиеся к бассейну Белого моря, были отобраны колонки (0–60 см) в зимнюю и летнюю межень 2015 года.

Пробы донных осадков отбирали с помощью ударной прямооточной грунтовой трубки (Aquatic Research Instruments: <http://www.aquaticresearch.com>) с внутренним диаметром 50 мм, длиной 60 см, дискретность отбора проб 5 см. Отобранные пробы помещали в полиэтиленовые пакеты.

Согласно атласу почв Архангельской области [3], почвы на водоразделе озера Светлое охарактеризованы как органически бедные карбонатные подзолы, в то время как на водоразделе озера Темное богатые органикой глеево-торфяной подзол ледникового происхождения, без карбонатов.

По своим морфометрическим признакам озера Светлое и Темное можно

отности к малым глубоководным озерам с максимальной глубиной до 39 метров [4].

Гранулометрический состав донных отложений озер определяли в соответствии с методикой [5]. Расчет содержания фракций проводили на абсолютно-сухую навеску образца. Относительная погрешность измерения для всех гранулометрических фракций составляет от 19 до 29%.

Осадки обоих озер представлены илами. В озере Светлое алеврит-пелитовые (алевритовая фракция составляет от 5.8 до 48.5%, пелитовая фракция – от 51.5 до 71.5%) и пелитовые илы (пелитовая фракция с 80.4 до 93.6%) с примесью мелкого песка серого цвета чередуются послойно и сильно увлажнены (рис., а). Влажность составляет от 88 до 93%. Донные отложения озера Темное представлены только пелитовыми илами (пелитовая фракция 77.9 до 98.1%) с влажностью от 89 до 95%.

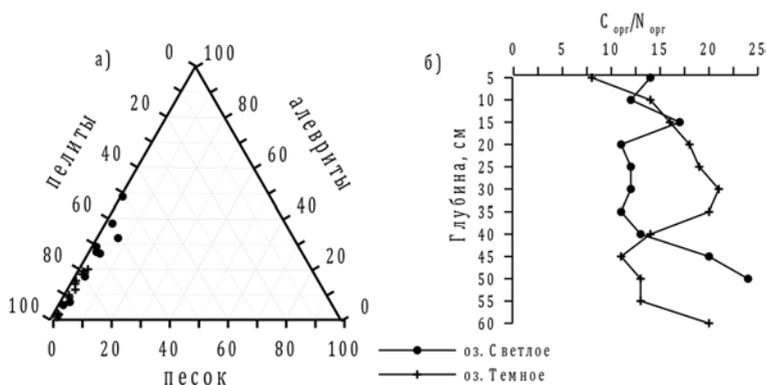


Рисунок. Трехкомпонентная диаграмма гранулометрического состава (а) и соотношение $C_{орг}/N_{орг}$ (б) в донных отложениях озер

При рассмотрении послойного изменения содержания тонкодисперсных фракций в колонках отложений видно, что доля пелитовых частиц (<0.01 мм) в (70%) проб озера Темное высокая и составляет от 15 до 37%.

Все слои донных отложений в этих озерах алеврито-пелитового и пелитового состава отличаются повышенными концентрациями органического углерода ($C_{орг}$) и азота ($N_{орг}$).

В донных осадках озера Светлое наблюдается снижение $C_{орг}$ с 18.49 до 11.36% и увеличивается до 13.22% в нижнем слое, азот уменьшается с 1.29 до 0.56%. В современных условиях глубоководные озерные осадки формируются главным образом за счет взвесей автохтонного происхождения.

Автохтонное ОВ образуется в результате протекания продукционно-деструкционных процессов в водоеме.

В донных осадках озера Темное, в отобранных слоях от 0 до 60 см, наблюдается варьирование $C_{\text{орг}}$ от 18.09 до 8.07%, азот уменьшается с 2.09 до 0.45%. Глубоководные пелитовые илы озера Темное характеризуются как богатые органическим веществом желеобразной консистенции без минеральных включений.

Соотношение $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ в донных отложениях крупных водоемов отражает удельный вес органического вещества аллохтонного и автохтонного происхождения. Органическое вещество является автохтонным, если соотношение $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ близко к 12. Если $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ 47 и более, органическое вещество является аллохтонным. Если соотношение $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ больше 12 но меньше 47 в водоеме присутствует органическое вещество и аллохтонного и автохтонного типа [6].

Можно отметить широкий диапазон измерений величины соотношения $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ всей длине колонки донных отложений от 11 до 24 в озере Светлое и от 8 до 21 в озере Темное (рис., б). Особенно выделяются нижние слои озер с величиной $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ от 20 до 24. В озере Светлое (50%) отобранной колонки можно отнести к слоям автохтонного вещества, а в озере Темное таких слоев только (20%). Значения этого показателя минимальны в поверхностных осадках озер – от 8 до 14, что позволяет говорить о преобладании в этих отложениях автохтонного, возможно, частично планктоногенного органического вещества. Можно предположить, что прочие слои образовались при разложении наземной растительности и органического вещества, поступающего с водосбора прибрежной зоны.

Величины соотношения $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ показывают, что в донных отложениях озер роль планктона и аллохтонного материала в формировании органического вещества донных отложений различна. Чем ниже величина $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ в слоях колонки, тем интенсивнее идет процесс разложения органического вещества. В нижних слоях колонок доминирует процесс минерализации.

Полученные данные позволили оценить специфику водосбора озер, литологическое и ландшафтное окружение, а также интенсивность автохтонных процессов. Различие в составе гранулометрических фракций и величины соотношения $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ исследуемых озер отражает сложное взаимодействие между двумя основными источниками: аллохтонное ОВ - гуминовая почва и фульвокислоты из растительных остатков и болотной воды и автохтонное ОВ – продукты обмена веществ фитопланктона и макрофитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахрамеева Е.А., Кокрятская Н.М. Гранулометрический состав донных отложений озер // Тезисы докладов Международной конференции

«Пресноводные экосистемы – современные вызовы». Иркутск. 10–14 сентября 2018 г. С. 354.

2. Субетто Д. А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции: Научная монография. СПб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 339 с.
3. Атлас Архангельской области. Отв. ред. Моргунова Н.А. М.: Главное управление геодезии и картографии при совете Министров СССР, 1976.
4. Chupakov A., Shirokova L., Chupakova A. et al. Allochthonous and autochthonous carbon in deep, organicrich and organic-poor lakes of the European Russian Subarctic// Boreal environment research 22:2017. P. 213–230.
5. МИ № 88-16365-010-2017 «Донные отложения водоемов. Определение гранулометрического состава ситовым и пипеточным методами» Введена 26.12.2017. Архангельск, 2017. 12 с.
6. Хатчинсон Д. Лимнология. Географические, физические и химический характеристики озер / Д. Хатчинсон. М.: Изд-во «Прогресс», 1969. 591 с.

The granulometric composition characterizing the degree of dispersion of lake bottom sediments is their important characteristic. The accumulation of silt sediments in the lakes is accompanied by the redistribution and transformation of organic matter (OM), mineralization

**Гордеев В.В., Алексеева Т.Н., Коченкова А.И., Боев А.Г.,
Дара О.М., Лохов А.С., Белоруков С.К.**

(Институт океанологии им П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail:gordeev@ocean.ru)

**Сезонные вариации гранулометрического состава взвеси
нижнего течения реки Северная Двина.**

**Gordeev V.V., Alekseeva T.N., Kochenkova A.I., Boyev A.G,
Dara O.M., Lokhov A.S., Belorukov S.K.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Seasonal variations of grain-size composition of suspended
matter of the lower Severnaya Dvina River**

Ключевые слова: Северная Двина, взвешенное вещество, гранулометрический состав, сезонные вариации

Представлены данные по гранулометрическому составу взвеси нижнего течения Северной Двины в течение всего года. Цель исследования – в получении данных о сезонных вариациях этого состава. Распределение фракций по сезонам демонстрирует несущественные вариации с двумя пиками – высоким содержанием субколлоидной фракции ($< 0,001$ мм) в марте и фракции $0,1-0,05$ мм в декабре.

Гранулометрический состав представляет собой важную характеристику взвесей и донных осадков рек и морей. Он не только во многом определяет их химический состав, но и определяется динамикой осадконакопления.

Одной из первых публикаций, где были представлены результаты гранулометрического и химического составов взвесей четырех северных рек – Северной Двины, Мезени, Печоры и Оби и выполнено сопоставление с донными осадками этих же рек в период весны – начала лета в 1969 году, была работа [1]. Довольно детально гранулометрия взвеси Северной Двины в период весеннего половодья 2004 г. исследовалась в [2].

Однако, информации о сезонных изменениях гранулометрического состава речных взвесей авторам данного сообщения обнаружить в литературе не удалось. Цель данной работы – исследования гранулометрического состава взвеси реки Северная Двина в течение всего года, включая зимний период. Пробы речной воды отбирались ежемесячно в 2016 и 2017 гг. с поверхности пластиковым ведром летом и из проруби зимой в двух точках – с причала Яхт Клуба в черте города и в порту Экономия. Пробы подвергались водномеханическому разделению на фракции по методу В.П. Петелина [3].

Разные фракции были изучены с помощью электронного микроскопа TESCAN Vega, а также минерального состава как валовых проб взвеси, так и отдельных фракций с применением анализа на дифрактометре D8 ADVANCE (BrukerAX).

Показанный на рис. 1 режим водного стока реки в 2016 и 2017 гг. (по данным Росгидрометслужбы) демонстрирует резкие весенние пики.

В течение всего года во взвеси не было обнаружено фракции песков (0,1–1,0 мм) (табл. 1), хотя весной 2004 г. фракция 0,1–0,25 мм была зафиксирована во всех пробах (0,24–12,53%) [3]. Фракция грубых алевритов (0,05–0,1 мм) варьирует, по нашим данным, в пределах 1,1–5,41%, в среднем 2,61%, весной 2004 г. (0,78–6,8%, ср. 2,97). Заметна разница между нашими и предыдущими данными – по нашим ниже содержания наиболее крупных из измеренных фракций. Очевидно, что взвесь 2016–17 годов заметно более тонкая, чем весной 2004 и 1969 гг.

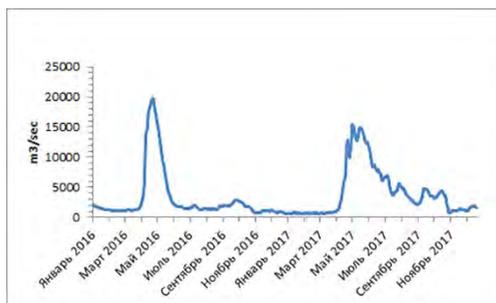


Рисунок 1. Сезонные изменения водного стока Северной Двины в 2016–2017 гг.

Рассмотрим изменения в течение года вкладов разных фракций взвеси (рис. 2). Видно, что в течение всего года более крупные частицы (0,1–0,05 и 0,05–0,01 мм) имеют подчиненное значение, не выходя в сумме за пределы 10% от вала. Выделяются апрельские пробы. Очевиден повышенный вклад более грубых фракций в период весеннего половодья. Высока фракция 0,1–0,05 мм в декабре 2016 (5,4%), что трудно объяснить. В большем диапазоне колеблются доли тонких фракций – 0,01–0,005, 0,005–0,001 мм и <0,001 мм в течение года. Бросается в глаза пик субколлоидной фракции в марте, когда он достигает 60%. Электронно-микроскопические исследования показывают по характерной чешуйчато-листоватой форме частиц и их химическому составу преобладание глинистых частиц.

Локальные химические анализы в точке показали, что в каждой фракции присутствуют единичные частицы минералов, типичных для магматических и метаморфических горных пород (плагиоклаз, КПШ, кварц, амфибол, рутил и др.). Минералогические исследования подтверждают эти наблюдения. Анализ разных фракций проб взвеси, отобранных в декабре, феврале, марте, апреле, августе и октябре, показал, что группа глинистых минералов (каолинит, хлорит, иллит и смектит) присутствует во всех фракциях с общим содержанием от 5% (фракция 0,05–0,01 мм, апрель 2017) до 55% (<0,001

мм, апрель 2017). Содержание глин возрастает к тонким фракциям за счет увеличения количества всех минералов, но особенно смектита.

Таблица 1. Гранулометрический состав взвеси Северной Двины (в весовых % от вала).

Проба	фракция, мм				
	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	100-0,005	<0,001
февраль 2016	2,11	0,95	32,63	28,42	35,89
апрель 2016	5,42	4,38	43,54	21,67	25,00
декабрь 2016	5,41	2,70	32,43	24,32	35,14
январь 2017	2,63	2,37	28,95	26,32	39,74
март 2017	2,35	1,18	21,18	15,29	60,00
апрель 2017	5,34	3,05	41,91	21,30	28,40
май 2017	1,72	0,86	40,52	25,00	31,90
июнь 2017	1,03	0,93	30,93	34,02	33,09
июль 2017	1,10	1,30	22,50	35,10	40,00
август 2017	1,25	1,13	37,50	27,50	32,62
сентябрь 2017	2,20	1,10	38,46	29,67	28,57
октябрь 2017	2,97	1,98	44,55	22,77	27,72
ноябрь 2017	2,67	1,33	33,20	28,00	34,80

*) пробы взвеси за февраль и декабрь 2017 г. заменены пробами 2016 г. из-за малых навесок в 2017. Апрель представлен пробами 2016 и 2017 гг., которые показали почти полное согласие между собой.

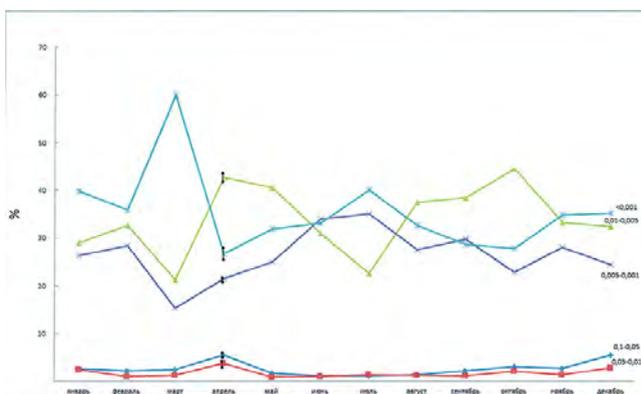


Рисунок 2. Сезонные изменения гранулометрического состава взвеси реки Северная Двина в 2017 г.

Содержание обломочных минералов во фракциях 0,1–0,05 и 0,05–0,01 мм достигает 93%. Наибольший разброс характерен для кварца – от 23% в тонких фракциях до 72% в крупных.

Отметим, что мартовская проба отличается наличием во фракции 0,1–0,05 мм большого количества растительных остатков и антропогенного детрита. Изучение под микроскопом показало их присутствие во всех фракциях пробы. В этой фракции содержится всего 30% кварца, минимальное для этой фракции из всех проб.

Декабрьская проба отличается наличием во фракции 0,1–0,05 мм высокого содержания монтмориллонита (21%), что обычно более характерно для субколлоидных фракций. Очевидно, изучение сезонных изменений в разных гранулометрических фракциях речной взвеси требует дальнейшего развития.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну за внимание к работе. *Получение материала выполнено в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № 0149-2019-0007 Обработка материала и интерпретация выполнена при финансовой поддержке РНФ № 19-17-00234.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов Н.П., Батулин Г.Н., Гордеев В.В., Гурвич Е.Г. О составе взвеси и осадков устьевых районов Северной Двины, Мезени, Печоры и Оби // Гидрохимические материалы. 1974. Т. 60. С. 60–73.
2. Кравчишина М.Д., Шевченко В.П., Филиппов А.С., Новигатский А.Н., Дара О.М., Алексеева Т.Н., Бобров В.А. Состав взвешенного материала в устье Северной Двины (Белое море) в период весеннего половодья. // Океанология, 2010. Т. 50. № 1. С. 396–416.
3. Петелин В.П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М.: Наука. 1967. 128 с.

The results of grain-size composition of suspended particulate matter from waters of the lower Severnaya Dvina River during the whole year are presented. The aim of this research was to observe its seasonal variations. The distribution of all fractions during the whole year demonstrates not significant variations with two peaks – high content of subcolloidal fraction (< 0,001 mm) in March and of fraction 0,1–0,05 mm in December.

**Емельянцев П.С.¹, Воронов Д.А.^{2,3}, Ермолаев Н.А.¹,
Жильцова А.А.¹, Краснова Е.Д.⁴, Харитонов Д.А.¹,
Пацаева С.В.¹**

(¹Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: emelyantsev97@mail.ru, aa.zhiltsova@physics.msu.ru, spatsaeva@mail.ru; ²Институт проблем передачи информации РАН, Москва; ³Институт физико-химической биологии им. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: da_voronov@mail.ru; ⁴Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: e_d_krasnova@mail.ru)

Особенности распределения бактериохлорофилла по глубине в оз. Еловом (Белое море, Кандалакшский залив) в сентябре 2019 года

**Emeliantsev P.S.¹, Voronov D.A.^{2,3}, Ermolayev N.A.¹,
Zhiltsova A.A.¹, Krasnova E.D.², Kharitonov D.A.¹,
Patsaeva S.V.¹**

(¹Physical Faculty of Moscow State University, Moscow; ²A.Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of RAS, Moscow; ³A.N.Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology of Lomonosov Moscow State University, Moscow; ⁴Biological Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow)

The trait of depth bacteriochlorophyll distribution in Lake Elovoe (Kandalaksha Bay, White Sea) in September 2019

Ключевые слова: меромиктический водоем, система Белого моря, хемоклин, бактериохлорофилл, зеленые серные бактерии, спектроскопия поглощения.

В ходе сентябрьской экспедиции 2019 года на Беломорскую биологическую станцию МГУ изучено меромиктическое оз. Еловое (Белое море, Кандалакшский залив). Проводилось изменение гидрологических характеристик, отобраны пробы воды из области хемоклина. Спектральные измерения показали наличие зеленых серных бактерий и резкое изменение их концентрации в области хемоклина. В работе приводятся количественные оценки хлоросомного бактериохлорофилла в области хемоклина оз. Елового с разрешением по глубине 2,5 см.

Меромиктические водоемы на побережье Кандалакшского залива представляют большой интерес для всестороннего научного изучения, поскольку в процессе поднятия морского дна данные водоемы были частично или полностью изолированы от акватории Белого моря [1]. Вследствие этого в них установилась устойчивая стратификация воды по солености и содержанию кислорода, и образовались собственные уникальные экосистемы. В таких озерах и лагунах в области хемоклина и глубже, в бескислородной среде в условиях низкой освещенности обитают анаэробные фототрофные организмы – зеленые серные бактерии (ЗСБ),

содержащие фотосинтетические пигменты бактериохлорофиллы (Бхл). ЗСБ интересны тем, что в процессе аноксигенного фотосинтеза они поглощают сероводород, образованный сульфатредуцирующими бактериями из сульфатов морской воды, и вырабатывают молекулярную серу.

Озеро Еловое (другие названия: Первое Кумяжье, Еловый Наволок) ($66^{\circ}28'53''\text{N}$, $33^{\circ}16'50''\text{E}$) – прибрежное озеро, соединенное с морем узкой протокой с каменистым барьером, который преграждает путь приливам, и поэтому приливных колебаний в этом водоеме нет. Длина озера 1000 м, ширина 400 м, максимальная глубина 5 м. Абсолютная отметка уровня воды – 1,9 м. В силу более высокого положения относительно уровня моря, заброс морской воды возможен только при экстремально высоких приливах, что происходит крайне редко. За десять лет наблюдений, которые проводятся на базе Беломорской биологической станции МГУ, было зарегистрировано лишь два таких эпизода.

В ряду водоемов, находящихся на разных стадиях изоляции от моря, оз. Еловое представляет продвинутую стадию с устойчивой стратификацией, квалифицируемой как меромикия.

Озеро состоит из почти пресного поверхностного слоя – миксолимниона толщиной 0,5 м и соленой водной массы – монимолимниона. До глубины 1 м концентрация кислорода близка к насыщению. Сразу под зоной ветрового перемешивания, уже в соленой воде, на глубине 1,5–2 м в летне-осенний период формируется слой, пересыщенный кислородом, где его концентрация может достигать до 19–21 мг/л, что соответствует 200–240% насыщения. Ниже глубины 2 м содержание кислорода резко уменьшается и доходит до нуля на глубине 2,5–3 м. На глубине 3–3,5 м располагается хемоклин, выше которого условия аэробные, а ниже появляется сероводород.

Положение границы аэробной и анаэробной зон в этом водоеме постоянно, что свидетельствует об устойчивости стратификации, свойственной меромиктической стадии изоляции водоема от моря. Такая особенность оз. Елового делает его перспективным для изучения тонкой структуры хемоклина, механизмов стабилизации химических градиентов, а также транспорта веществ и энергии через редокс-интерфейс. Тонкую вертикальную зональность хемоклина хорошо отражает мелкомасштабное распределение микроорганизмов, в том числе – первичных продуцентов, включая аноксигенные фототрофные бактерии (АФБ). Данная работа нацелена на изучение мелкомасштабного распределения АФБ в хемоклине оз. Елового с помощью спектрофотометрии, которая позволяет определять концентрацию бактериохлорофиллов.

Пробы воды отбирали с помощью оригинального многошприцевого пробоотборника [2] в шприцы объемом 5 мл. Линейку из 13 шприцов располагали вертикально с таким расчетом, чтобы граница аэробной и анаэробной зон приходилась на ее середину.

Одновременно рядом с точкой отбора шприцов проводили зондирование с помощью кондуктометра YSI Pro и оптического оксиметра YSI Pro ODO, и определяли освещенность на разной глубине погружным люксметром. Кроме того, мы отбирали пробы воды с разной глубины погружным насосом с размеченным кабелем с дискретностью 10 см по вертикали. В этих пробах измеряли температуру и соленость кондуктометром WTW Cond 1970i, а также окислительно-восстановительный потенциал и pH портативными приборами WaterLiner с соответствующими электродами.

Спектры поглощения света регистрировали без какой-либо предварительной обработки проб воды с помощью спектрофотометра Solar PV1251 в кюветах с длиной оптического пути 3 см. На рис. 1 изображены спектры поглощения исходной воды с различной глубины. Полоса поглощения в области 700–750 нм отвечает за поглощение света хлоросомным Бхл – главным фотосинтетическим пигментом ЗСБ. Полоса поглощения на 425–475 нм обусловлена поглощением света как Бхл, так и каротиноидами. В спектрах поглощения проб воды с ЗСБ практически всегда присутствует полоса рассеяния, обусловленная как самими клетками, так и различными взвешенными в воде веществами.

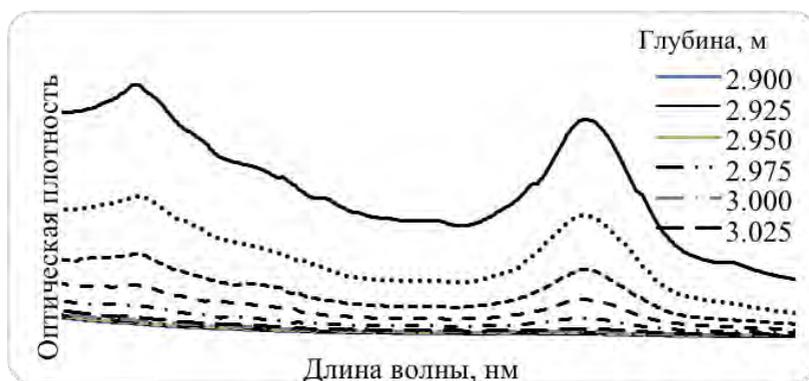


Рисунок 1. Спектры поглощения проб из оз. Елового с зелеными серными бактериями (отбор проб многошприцевым пробоотборником, сентябрь 2019 г.).

Для количественного определения фотосинтетических пигментов из проб воды были приготовлены экстракты в смеси ацетона и этанола в пропорции 7:2. Спектры поглощения экстрактов измеряли с помощью спектрофотометра Solar PV1251 по отношению к чистому растворителю в кювете с длиной оптического пути 3 см. На рис. 2 изображены спектры поглощения ацетон-этаноловых экстрактов, приготовленных из отобранных проб воды. После экстрагирования пигментов растворителем полосы поглощения Бхл сужаются и сдвигаются в более коротковолновую область. Это связано с тем,

что внутри клетки хлоросомные Бхл находятся в сильно агрегированном состоянии в виде олигомеров. При экстрагировании клетки разрушаются, и, таким образом, в экстрактах присутствует только мономерная форма Бхл, имеющая отличные от олигомерной оптические свойства.



Рисунок 2. Спектры поглощения экстрактов фотосинтетических пигментов для проб из оз. Еловое с зелеными серными бактериями.

Концентрации Бхл рассчитаны по формуле Оверманна-Тилзера [3, 4]. На рис. 3 приведен профиль распределения концентраций Бхл по глубине в оз. Еловом. По форме профиля видно, что на глубине 3,025–3,075 м сильно возрастает концентрация Бхл, что свидетельствует о резком изменении химических свойств воды, в частности, о резком падении уровня кислорода и отрицательных значениях окислительно-восстановительного потенциала. Полученные данные хорошо коррелируют с данными об освещенности водоема на различной глубине и о распределении по глубине растворенного в воде кислорода.



Рисунок 3. Распределение концентрации Бхл по глубине в оз. Еловое (отбор проб многошприцевым пробоотборником, сентябрь 2019 г.)

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 19-05-00377).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А. и др. Исследования отделяющихся водоемов на побережье Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов. / Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. М.: Т-во научных изданий КМК, 2016. С. 211–241.
2. Воронов Д.А., Краснова Е.Д. Исследования мелкомасштабного распределения микроорганизмов в хемоклине прибрежных стратифицированных водоемов, отделяющихся от Белого моря // Труды VII Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)”. Т IV (IV). Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2019. С. 103–107.
3. Overmann J., Tilzer M. Control of primary productivity and the significance of photosynthetic bacteria in a meromictic kettle lake Mittlerer Buchensee, West-Germany // Aquatic Sciences. 1989. № 51(4). P. 261–278.
4. Lunina O.N., Savvichev A.S., Kuznetsov B.B., et al. Anoxygenic phototrophic bacteria of the Kislo-Sladkoe stratified lake (White Sea, Kandalaksha Bay) // Microbiology. 2013. V. 82(6). P. 815–832.

During the September expedition of 2019 to the Belomorsky Biological Station of Moscow State University, the meromictic Lake Elovoe (White Sea, Kandalaksha Bay) was studied. Measurement of hydrological characteristics was carried out, water samples were taken from the chemocline area. Spectral measurements showed the presence of green sulfur bacteria and a sharp change in their concentration in the chemocline area. The paper provides quantitative estimates of the chlorosomal bacteriochlorophyll in the chemocline region of Elovoe Lake with a resolution of 2.5 cm in depth.

Иглин С.М.^{1,2}

(¹Северный (Арктический) Федеральный Университет им. Ломоносова, г. Архангельск, e-mail: iglin.sm@bk.ru; ²ФГУП «Росморпорт», г. Москва)

Сравнительная оценка заносимости каналов и размыва морского дна в устьевой области реки Северная Двина

Iglin S.M.^{1,2}

(¹Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk; ²FSUE «Rosmorport», Moscow)

Comparative assessment of sedimentation of channels and erosion of marine bottom in the estuarine area of the Northern Dvina River

Ключевые слова: заносимость, Северная Двина, судоходный канал, наносы, дноуглубление.

Изучены процессы заносимости и размыва рельефа дна в акватории судоходных путей в устьевой области реки Северная Двина по данным съемок рельефа дна за 2014–2018 гг. Установлено, что сезонные литодинамические процессы, определяющие рельеф речного и морского дна, являются одними из ключевых факторов, обуславливающих объемы дноуглубления, навигационные и проектные габариты судоходных акваторий.

Основой для оценки интенсивности образования наносов в акватории порта Архангельск послужили цифровые модели рельефа дна, полученные в ходе проведения ежегодных гидрографических работ Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт» за 2014–2018 гг. Работы выполнялись с борта судов, оснащенных автоматизированным гидрографическим комплексом на базе многолучевого эхолота Kongsberg EM 3002. Методики выполненных гидрографических работ соответствуют актуальным нормативно-техническим документам.

Судовой ход порта Архангельск был разбит на 4 участка по географическому положению в устьевой области реки Северная Двина: Устьевое взморье, Маймаксанская протока, Кузнечевская протока (от порта Экономия до причалов ООО «РН-Архангельскнефтепродукт»), участок главного русла (рисунок) Как основной временной промежутком оценки заносимости была выбрана зимняя навигация (с декабря по апрель), так как именно за это время накапливается существенный объем наносов на каналах, особенно во время весеннего половодья и зимних штормов, отсутствует регулярная актуализация глубин [1, 2].

Из исходных данных съемки рельефа дна с помощью специализированного гидрографического программного обеспечения была построена средняя поверхность разности глубин за 2014–2018 гг. Плюсозные

значения аппликат полученных точек означали наличие отложения наносов, а отрицательные наличие процессов размыва канала.

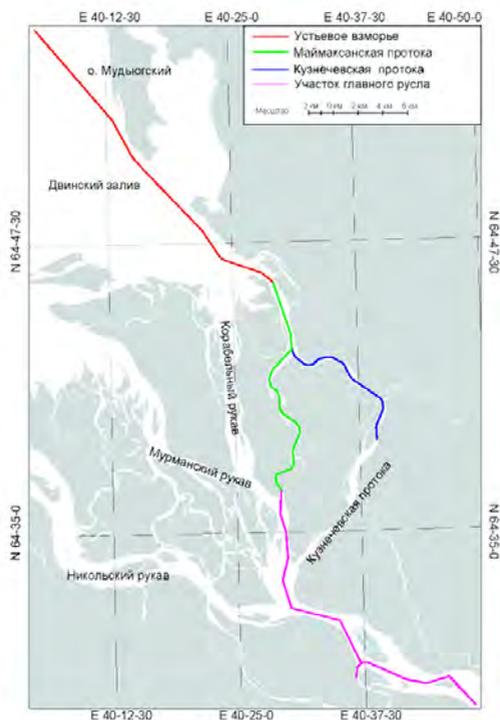


Рисунок. Схема участков судового хода в порту Архангельск.

Основные результаты исследования представлены в Таблице. Установлено, что наибольший объем наносов за зимнюю навигацию образуется в акватории устьевое взморья реки Северная Двина, составляет более 374 тыс. м³, в том время, как в акватории канала Мудьюгских башен (северная часть судового хода) оседает более 246 тыс. м³. В этой зоне наблюдаются и наибольшие толщины наносов, которые достигают до 1,5 м. Процессы размыва рельефа дна выражены достаточно слабо, объем размываемого грунта – порядка 10 тыс. м³. В среднем за зимнюю навигацию каналы устьевое взморья заносит на 0,09 м ежегодно. Большая часть наносов этого участка концентрируется в зоне канала Мудьюгских башен. Наносы откладываются в акватории канала путем переформирования морского дна во время прохождения штормов. Заносимость устьевое взморья имеет сезонный характер, каждую летнюю навигацию необходимо проведение ремонтного дноуглубления для обеспечения нормального судоходства [3].

Акватория Кузнечевской протоки заносится на 81 тыс. м³ ежегодно, максимальные толщины наносов составляют 0,32 м. Процессы размыва выражены в наименьшей степени. Среднее изменение рельефа дна составляет 0,05 м в год. Заносимость имеет многолетний характер, локально (в районе каналов Кузнечевский входной и Лодьмоостровский) требуется проведение дноуглубительных работ примерно один раз в 4 года.

Наименьшие объемы наносов наблюдаются в акватории Маймаксанской протоки, составляют 65 тыс. м³, за год каналы становятся мельче на 0,03 м. Максимальный слой наносов составляет 0,64 м. С точки зрения поддержания глубин каналы Маймаксанской протоки являются наиболее благоприятными.

Таблица. Результаты сравнительной оценки заносимости и размыва участков судоходных путей в устьевой области реки Северная Двина.

Участок	Среднее изменение рельефа, м	Максимальная толщина наносов, м	Средняя толщина наносов, м	Объем заносимости, м ³	Максимальный размыв, м	Средний слой размыва, м	Объем размыва, м ³
Устьевое взморье	0.09	1.53	0.10	374 404	0.51	0.02	10 804
Кузнечевская протока	0.05	0.32	0.06	81 052	0.51	0.02	3 865
Маймаксанская протока	0.03	0.64	0.04	65 331	0.75	0.02	10 056
Участок главного русла	0.02	1.30	0.08	146 168	1.96	0.06	77 344

Каналы участка главного русла устьевой области также существенно подвержены процессам заносимости. Толщины наносов могут достигать до 1,30 м. Ежегодный объем заносимости составляет более 146 тыс. м³. Заносимость имеет также сезонный характер. Наиболее интенсивно это происходит в зоне Соломбальского, Хечеминского и Амосовского каналов. Ярко выражены процессы размыва дна, что говорит о последующей аккумуляции наносов в других зонах ниже по течению (Мурманский рукав, Никольский рукав, южная часть Маймаксанской и Кузнечевской протоки и др.) Объемы ежегодного размыва порядка 77 тыс. м³ грунта, локальный размыв может составлять 2 м. Существенные объемы наносов и размыва связаны с наличием и перемещением донных гряд, а также с отложением размываемого берегового грунта во время прохождения волны весеннего половодья [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зотин М.И., Михайлов В.Н. Гидрология устьевой области Северной Двины. М.: Гидрометеоиздат, 1965.
2. Власов В.М. Морские каналы и средства навигационного оборудования морских путей. Москва: Транспорт, 2001. 368 с.
3. Иглин С.М., Коробов В.Б. Пространственно-временные особенности заносимости канала Мудьюгских башен в морском порту Архангельск. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 2. С. 48–58.
4. Иглин С.М., Лещев А.В., Коробов В.Б. Оценка масштабов заносимости судоходного канала в морском порту Архангельск. // Инженерные изыскания. 2019. № 1. Т. 13. С. 46–54.

Processes of sediments accumulation and erosion of the bottom of the navigable waterways in the estuary area of the Severnaya Dvina River were studied according to the survey of the bottom topography for 2014–2018. It has been established that seasonal lithodynamic processes that determine the relief of the river and sea bottom are one of the key factors determining the dredging volumes, navigation and design dimensions of navigable water areas.

Иглин С.М.^{1,2}, Лещев А.В.³

(¹Северный (Арктический) Федеральный Университет им. Ломоносова, г. Архангельск, e-mail: iglin.sm@bk.ru; ²ФГУП «Росморпорт», г. Москва; ³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва)

Литодинамические процессы на акватории Кузнечевской протоки в зоне впадения протоки Большой Двинки и р. Ваганихи в устьевой области р. Северной Двины

Iglin S.M.^{1,2}, Leshchev A.V.³

(¹Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk; ²FSUE «Rosmorport», Moscow; ³Shirshov Institute of oceanology RAS, Moscow)

Lithodynamic processes in the water area of the Kuznechevskaya duct in the confluence zone of the Bolshaya Dvinka duct and the river Vaganikha in the Severnaya Dvina mouth zone

Ключевые слова: заносимость, берег, Северная Двина, судоходный канал, наносы.

Изучены процессы заносимости и размыва дна, выделены зоны аккумуляции и деградации береговой черты в районе впадения вод протоки Большой Двинки и р. Ваганихи в протоку Кузнечевскую устьевой области р. Северной Двины. Установлено, что акватория протоки Кузнечевской заносится на 0,05 м в год, в то время как существуют зоны с максимальной толщиной наносов в 1,01 м. Выявлено, что правый берег протоки имеет тенденции к деградации, средняя скорость составляет 0,91 см/год.

Исследование переноса взвешенных веществ в воде, процессов их перераспределения и трансформации, фракционного состава имеет высокое значение в оценке состояния экосистемы [1–3]. Однако выявление зон седиментации и взмучивания является сложной и трудновыполнимой задачей, особенно в устьевых зонах рек, в которых развито судоходство [3–5], одним из путей решения которой является исследование изменений рельефа дна и береговой черты [6].

Исходными данными для проведения анализа заносимости и размыва дна, деформации береговой черты в устьевой зоне р. Северной Двины послужили цифровые модели рельефа дна, полученные в ходе проведения ежегодных гидрографических работ в 2015–2019 гг. (5 съемок), данные о гранулометрическом составе донных отложений (11 проб), космоснимки, результаты топографической съемки береговой зоны (1999, 2015, 2018 гг.). Методики выполненных гидрографических работ соответствуют действующим нормативно-техническим документам.

При анализе изменения береговой черты в исследованном районе не было проведено выделение размыва и намыва берегов из всех влияющих

факторов. По этой причине авторами используются термины «деградация» (смещение береговой черты в сторону суши) и «аккумуляция» (смещение береговой черты в сторону водного объекта).

Зона исследования расположена в пределах $64^{\circ}41'20''$ – $64^{\circ}41'40''$ с.ш. и $40^{\circ}31'40''$ – $40^{\circ}35'50''$ в.д. на акватории протоки Кузнечевская в районе впадения реки Ваганиха и протоки Большая Двинка. (рис. 1). Это перспективная зона возможного строительства с точки зрения транспортной доступности: близость порта Экономика, наличие железнодорожной ветки и автомобильной дороги.

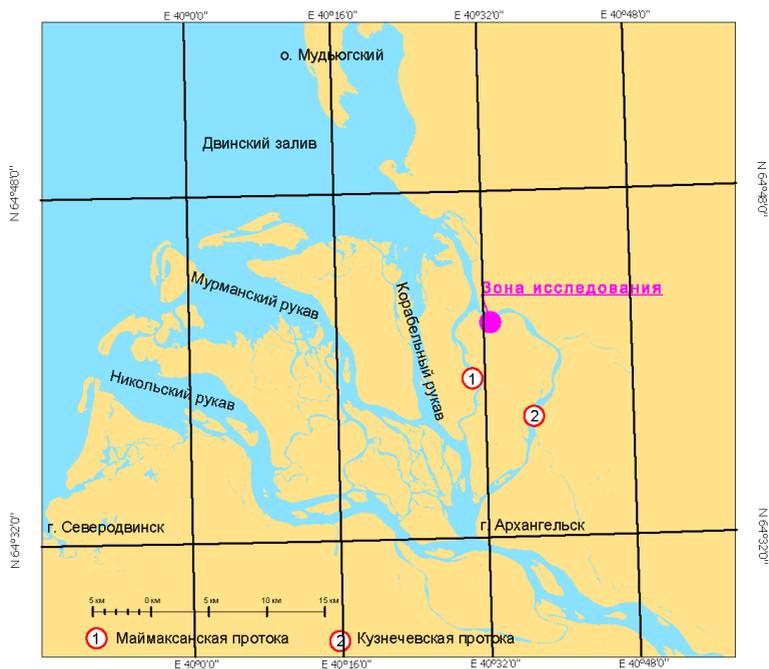


Рисунок 1. Схема участков судового хода в порту Архангельск.

Акватория протоки Кузнечевская в районе исследования заносится ежегодно в среднем на 0,05 м, а максимальная заносимость составляет 1,01 м. Зоны наиболее интенсивного осадконакопления сосредоточены на откосах судоходного канала, на которых наблюдается естественное оползание грунта. Однако в данном районе наблюдаются участки, на которых размыв донных отложений преобладает над осадконакоплением. Средняя величина размыва на таких участках составляет 0,03 м, а максимальная величина – 1,12 м. Все участки размыва донных отложений находятся в границах судоходного канала и в причальной зоне с глубинами более 10 м, из чего можно сделать вывод, что

размыв донных отложений наблюдается в основном вследствие работы винтов судов с предельной осадкой. Наиболее ярко выражены зоны размыва судами в районе причалов порта Экономия. Здесь, в результате работы судовых винтов, грунт переходит во взвешенное состояние и впоследствии оседает напротив причальной зоны, создавая локальное повышение рельефа до 0,3 м.

В рассматриваемом районе согласно данным о гранулометрическом составе донных отложений преобладают мелкие пески, что говорит о существенном влиянии влекомых наносов. Наличие процессов транспорта влекомых наносов часто связано с активным размывом береговой зоны выше по течению, а также осадконакоплением после прохождения весеннего половодья [5, 7]. Локально обнаружен пылеватый песок, что говорит о процессах седиментации взвешенных веществ на исследованной акватории.

Результаты динамики береговой зоны представлены в Таблице. По результатам исследований в береговой зоне преобладают процессы деградации. Активно разрушаются: правый берег протоки Кузнечевская (1); левый берег протоки Большая Двинка (2); левый берег протоки Кузнечевская (3); левый берег р. Ваганиха (4); берег за причальной зоной поста водных путей (ковш напротив причалов Экономии) (5). Зоны аккумуляции расположены: левый берег протоки Кузнечевская (берег о. Лодмостров) (6); левый берег протоки Большая Двинка (7); правый берег р. Ваганиха (8); правый берег протоки Большая Двинка (9).

Таблица. Скорость динамики береговой зоны в районе исследования

Номер зоны	Описание	Процесс	Скорость, м/год
1	Правый берег протоки Кузнечевская	Деградация	0,91
2	Левый берег протоки Большая Двинка в нижней ее части		0,55
3	Левый берег протоки Кузнечевская		0,32
4	Левый берег р. Ваганиха		0,15
5	Ковш напротив причалов Экономии		0,52
6	Левый берег протоки Кузнечевская (берег о. Лодмостров)	Аккумуляция	0,48
7	Левый берег протоки Большая Двинка		0,93
8	Правый берег р. Ваганиха		0,28
9	Правый берег протоки Большая Двинка		0.28



Рисунок 2. Карта-схема изменения береговой черты в районе исследования. Номерами в кружках обозначены зоны, в которых преобладают процессы деградации (1–5) или аккумуляции (6–9).

По результатам исследований можно сделать следующие выводы. Литодинамические процессы, протекающие на акватории протоки Кузнецhevская в зоне исследования, имеют благоприятный характер для судоходства и гидротехнического строительства [8]. Наблюдается низкая интенсивность отложения наносов на акватории судоходных морских каналов со средней толщиной наносных грунтов в 0,05 м. Однако, существует необходимость в проведении дноуглубительных работ локально в зонах откосов морских каналов.

Выявлена тенденция к динамике береговой зоны: особенно интенсивно происходит деградация правого берега протоки Кузнецhevская со (0,91 м/год), и аккумуляция в районе левого берега протоки Большая Двинка (0,93 м/год).

Таким образом, исследованный район является одним из источников поступления взвешенных веществ в воду в зоне смешения морских и речных вод в устьевой зоне р. Северной Двины. В исследованном районе также обнаружены зоны седиментации взвешенных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shevchenko V.P., Filippov A.S., Novigatsky A.N. et al. Suspended particulate matter dynamics in the Northern Dvina delta, the White Sea, during the flood // *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 2005. № 506. P. 104–107.
2. Кравчишина М.Д., Шевченко В.П., Филиппов А.С. и др. Вещественный состав водной взвеси устья реки Северной Двины (Белое море) в период весеннего половодья // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 3. С. 396–416.
3. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Немировская И.А. и др. Развитие четырехмерной океанологии и создание фундаментальных основ комплексного мониторинга морских экосистем (на примере Белого моря) // *Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей* / Отв. ред. С.М. Шаповалов. М.: Научный мир, 2010. С. 559–597.
4. Чечко В.А., Чубаренко Б.В., Курченко В.Ю. О натуральных исследованиях взвешенного вещества, образующегося в судоходном канале под воздействием движущихся судов // *Водные ресурсы*. 2011. Т. 38. № 3. С. 297–305.
5. Лещев А.В. Влияние судоходного канала порта Архангельск на перенос взвешенных веществ в зоне смешения «река–море» устья реки Северной Двины // *Проблемы региональной экологии*. 2018. № 2. С. 17–21.
6. Брызгалов В.В., Скибинский Л.Э., Богунов А.Ю. Исследование устьевой области реки Северной Двины хронокартографическим методом. Архангельск: Лодия, 2008. 143 с.
7. Иглин С.М., Лещев А.В., Коробов В.Б. Оценка масштабов заносимости судоходного канала в порту Архангельск // *Инженерные изыскания*. 2019. № 1. С. 46–55.
8. Иглин С.М. Коробов В.Б. Пространственно-временные особенности заносимости канала Мудьюгских башен в морском порту Архангельск // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 2019. № 2. С. 48–58.

Processes of sediments accumulation and erosion of the bottom have been studied; zones of accumulation and degradation of the coasts in the area of flow of waters of the Bolshaya Dvinka Duct and Vaganikha River to the Kuznechevskaya Duct of the Severnaya Dvina River estuary have been identified. It has been found that the water area of the Kuznechevskaya duct is accumulated of sediments at 0,05 m per year, while there are zones with a maximum sediment thickness of 1,01 m. It has been found that the right coast of the duct has trends to degradation, the average velocity is 0,91 m/year.

**Колька В.В.¹, Корсакова О.П.¹, Толстобров Д.С.¹,
Лаврова Н.Б.², Шелехова Т.С.², Толстоброва А.Н.¹**

(¹Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты Мурманской обл., e-mail: kolka@geoksc.apatuty.ru; ²Институт Геологии Карельского НЦ РАН, г.Петрозаводск)

**Остров Олений (Кандалакшский залив Белого моря) как
важный объект изучения блоковых неотектонических
движений**

**Kolka V.V.¹, Korsakova O.P.¹, Tolstobrov D.S.¹, Lavrova N.B.²,
Shelekhova T.S.², Tolstobrova A.N.¹**

(¹Geological Institute of Kola Sciens Centre RAS, Apatity, ²Institute of Geology of Karelian SC RAS, Petrozavodsk)

**Oleniy Island (Kandaaksha Bay of the White Sea) as an
important object for block neotectonic movements reserch**

Ключевые слова: Кандалакшский залив, голоцен, неотектоника, дифференцированные движения, донные осадки, малые озера

В работе рассмотрены вопросы наличия дифференцированных неотектонических движений в морфотектонических блоках острова Олений в вершине Кандалакшского залива Белого моря на основе комплексного литологического, микропалеонтологического изучения и ¹⁴C датировании донных осадков малых озер острова.

В настоящем сообщении рассматривается объект, который можно отнести к районам эталонным для получения информации по дифференцированному перемещению блоков земной коры в позднем плейстоцене и голоцене. Известно, что современная тектоника побережья и акватории Кандалакшского залива Белого моря связана, во-первых, с гляциоизостатическим поднятием земной коры, вызванным экзогенными факторами, во-вторых, с блоковыми перемещениями по разломам, которые спровоцированы эндогенной активностью Онежско-Кандалакшского рифта, в-третьих, с унаследованным от докембрия общим поднятием Фенноскандинавского кристаллического щита. Все эти неотектонические составляющие присущи острову Олений, расположенному в вершине Кандалакшского залива Белого моря.

Краткая тектоническая характеристика исследуемого района. Северо-восточное побережье залива (Кандалакшский берег) в основном приурочено к Кандалакшско-Колвицкому массиву Лапландско-Колвицкого гранулитового пояса, а юго-западное (Карельский берег) – к Беломорскому поясу. Обе отмеченных структуры входят в Лапландско-Беломорский гранулитогнейсовый подвижный пояс палеопротерозойской консолидации, вдоль оси которого в среднем-позднем рифее образовался Онежско-Кандалакшский

палеорифт. В структурном плане к нему тяготеет акватория залива. В соответствии с классической схемой сегментации континентальных рифтов [2] он представлен здесь двумя современными полуграбенами с переменной полярностью. При этом Колвицкий асимметричный грабен (полуграбен) характеризуется северо-восточным крутым бортом с видимой амплитудой сброса более 50 м и правосторонним смещением блоков кристаллических фундамента вдоль разломов северо-западного и субмеридионального простирания. Есть мнение, что Колвицкий грабен сформировался в поздне-последледниковое время [1], хотя конкретные свидетельства этому пока не приводятся. Кандалакшский асимметричный грабен (полуграбен), наследующий древнюю рифейскую впадину и соответствующий наиболее глубоководной части Белого моря, имеет приподнятое юго-западное крыло с амплитудой сброса более 200 м. Косая перемычка между этими двумя сегментами, т.е. зона переноса напряжений растяжения с одного отрезка рифта на другой, соотносится с грядой архипелага Средние Луды. Пологий северо-восточный борт Кандалакшского полуграбена осложнен сбросами и взбросо-надвигами, главный из которых представлен Оленицким валом [1].

Остров Олений находится в западной части Колвицкого полуграбена, с дистальной (расстояние до СВ берега острова около 5 км.) стороны от главного граничного сброса. В северо-восточной и юго-западной частях (1 рис.1) острова представлены биотитовые, амфибол- и пироксен-биотитовые гнейсы, мигматиты, тоналито-гнейсы, гранодиорито-гнейсы, амфиболиты. Такими же породами сложены, и участки на материковой части в районе полуострова с мысом Воронишным, расположенном севернее залива Палкина губа., где также были пробурены донные осадки одного озера. В центральной части острова Олений представлены лерцолиты, габбро-нориты(2 на рис.1). Установлено, что северо-восточный прямолинейный берег острова является тектонической зоной (второстепенным сбросом), отделяющей его от цепочки островов Сальные Луды. Юго- западный берег острова ограничен тектонической разломом, активизированным на неотектоническом этапе [1].

Линеаментный анализ, выполненный по признакам, визуально дешифрируемым на картах и снимках, показал проявленность указанных выше крупных тектонических структур фундамента в строении новейшего морфоструктурного плана Кандалакшского залива и его побережья. Следует отметить, что по мере приближения к вершине залива в зоне влияния Колвицкого грабена, где расположен о.Олений, простирание линеаментов также стремится к северо-западному направлению.

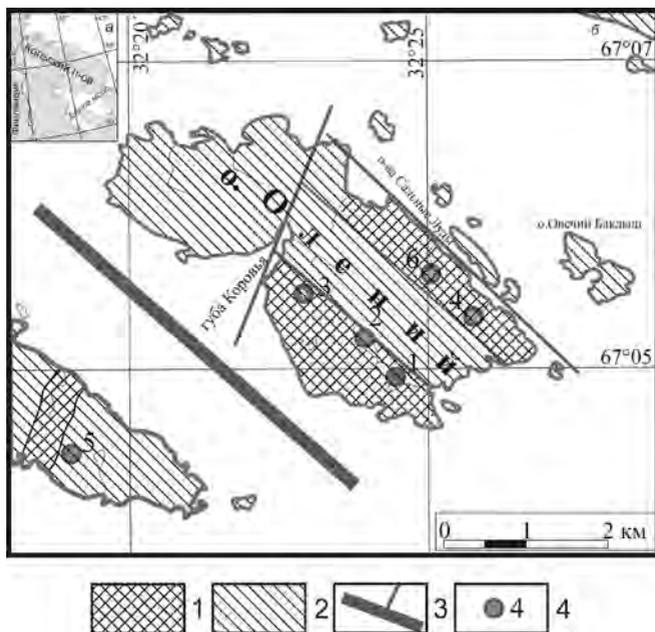


Рисунок. Схемы расположения района исследования (а) и геологическая схема о.Олений (б) с расположением исследованных озер.
 Условные обозначения: 1 – биотитовые, амфибол- и пироксен-биотитовые гнейсы, мигматиты, тоналито-гнейсы, гранодиорито-гнейсы, амфиболиты; 2 – лерцолиты, габбро-нориты; 3 – тектонические нарушения; 4 – положение изученных озер.

Наиболее протяженные линеаменты, в разной степени совпадающие с зонами разломов, указанными на геологических картах, с геофизическими аномалиями составили границы соответствующих блоков (рис.), выделенных с учетом геоморфологических данных и геологического строения кристаллического фундамента и осадочного чехла. Согласно линеаментному анализу на острове выделяется как минимум четыре морфологических блока земной коры, отличающиеся по петрографическому составу. На выделенных морфологических блоках острова располагаются эродированные ледником депрессии коренных пород, занятые в настоящее время малыми озерами, котловины с отметками уровня воды в них от 6 до 24 м над уровнем моря (н.у.м.). Площади озер изменяются от 0.01 до 0.135 км². Озера классифицируются как малые (имеющие площадь менее 0.05 км²) и средние (0.05–0.5 км²). Глубина озер – от 3,5 до 7 м (рис.). Пороги их стока представлены коренными породами или мореной.

Начиная с 2013 г. на острове Оленьем, проводилось комплексное изучение донных осадков малых озер методом изолированных бассейнов. Бурением были получены литологические последовательности донных осадков из пяти малых озер на острове, а также одного озера, расположенного на юго-западном берегу Кандалакшского залива севернее залива Палкина Губа. По всем озерам проведены литологические, микропалеонтологические анализы, проведено радиоуглеродное датирование. Получены предварительные результаты, которые в настоящее время перепроверяются и готовятся к публикации.

Данные по озеру 1 опубликованы [3]. Для этого озера установлено, что накопление донных осадков в его котловине относится ко времени региональной позднеголоценовой регрессии береговой линии моря. Осадочная последовательность сложена стратогенами, или литолого-стратиграфическими единицами (ЛСЕ), соответствующими этим условиям [4]. Здесь, в нижней части представлены осадки мелющего моря, соотносящиеся с ЛСЕ-4. Обмеление моря связано с быстрой регрессией его береговой линии, на что указывает резкий несогласный литологический контакт алевроитов и слоистой гиттии. Этапу изоляции котловины соответствуют голоценовые осадки отчленяющегося водоема-залива (ЛСЕ-5) и меромиктического озера (ЛСЕ-6) по О. П. Корсаковой и др. [4]. В изученном озере осадки ЛСЕ-5 накапливались в условиях значительного опреснения бассейна. ЛСЕ-6, или осадки меромиктического озера, формировались на завершающей стадии отделения данного водоема, когда его водная толща приобрела двухслойную структуру с поверхностными пресными и солеными придонными слоями. Стадия типичного меромиктического озера присуща достаточно глубоким (5–6 м) котловинам, к которым и относится изученное озеро. Завершают литологическую последовательность осадки пресноводного водоема ЛСЕ-7 по О.П. Корсаковой и др. [4], формируются после изоляции котловины от морского бассейна.

Осадочная последовательность озера 1 была сравнена с осадочными последовательностями донных осадков, сложенными такими же наборами стратогенов, из озер расположенных в вершине Кандалакшского залива, на Карельском берегу в районе пос. Лесозавод и на Кандалакшском берегу в районе пос. Умба. Для этих озер установлено, что скорость воздымания суши при равномерном ее поднятии в позднем голоцене составила соответственно 0.338, 0.372 и 0.339 метров за 100 лет в каждом районе, т. е. скорость поднятия этих районов примерно одинаковая. Скорость поднятия котловины озера 1 в позднем голоцене составила 0.456 метров за 100 лет, что примерно в полтора раза быстрее, чем в других районах на побережье Кандалакшского залива. Эти данные свидетельствуют о голоценовом дифференцированном поднятии, отличающемся по скорости на бортах Колвицкого грабена и в

его средней части. Быстрая регрессия береговой линии моря и отчленение котловины озера на о. Оленьем на фоне замедленного в позднем голоцене регионального поднятия этой части Балтийского щита указывают на активное проявление здесь собственно тектонических восходящих движений.

На морской шкале будут представлены новые данные о дифференцированных движениях морфологических блоках непосредственно на о. Оленьем, а также сопоставления с блоками в центральной части Кольского региона в районе озера Имандра.

Работа выполнялась при частичной поддержке грантов РФФИ №№ 16-05-00311-а и 18-05-60125-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балувев А.С., Журавлев В.А., Терехин Е.Н., Пржиялговский Е.С. Тектоника Белого моря и прилегающих территорий (Объяснительная записка к «Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий» масштаба 1:15000000). М.: ГЕОС, 2012. 104 с.
2. Bosworth W. Geometry of propagation continental rifts // Nature, 1985. V. 316. № 5. P. 625-627.
3. Колька В. В., Шелехова Т. С., Лаврова Н. Б., Корсакова О. П. Литология и микропалеонтология донных отложений малого озера острова Олений в Кандалакшском заливе Белого моря // Вестник Геологического института Коми НЦ УО РАН. 2018. № 5. С. 33–40. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-5-33-40.
4. Корсакова О.П., Колька В.В., Толстоброва А.Н. и др. Литология и поздне-постледниковая стратиграфия донных отложений из котловин изолированных бассейнов побережья Белого моря (на примере малого озера из района поселка Чупа, северная Карелия) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2016. Т. 24. № 3. С. 81–101. DOI: 10.7868/S0869592X16030042

The paper considers the issues of the presence of differentiated neotectonic movements in the morphotectonic blocks of the Oleniy Island at the top of the Kandalaksha Bay of the White Sea based on a complex lithological, micropaleontological study and ¹⁴C dating of small lake bottom sediments.

Коробов В.Б.¹, Панченко Е.Д.², Алабян А.М.²

(¹Северо-западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Архангельск, e-mail: szoioran@yandex.ru; ²Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, e-mail: andrei_alabyan@mail.ru, panchenko.zhe@yandex.ru)

Типизация устьевых областей малых рек западного сектора Российской Арктики: постановка задачи

Korobov V.B.¹, Panchenko E.D.², Alabyan A.M.²

(¹North-west branch of Shirshov Institute of Oceanology RAS, Arkhangelsk, e-mail: szoioran@yandex.ru; ²Lomonosov Moscow State University, e-mail: andrei_alabyan@mail.ru, panchenko.zhe@yandex.ru)

Typification of small estuaries in the western sector of Russian Arctic: statement of the problem

Ключевые слова: Арктика, малые реки, устьевые области, типизация, экспертные методы, балльные классификации, Белое море

При решении практических задач, таких как строительство гидротехнического сооружения, порта, установка водозабора, организация туристического клуба или гавани для отстоя маломерных судов в шторм, возникает вопрос оптимального выбора его местоположения. В этом отношении весьма перспективным представляется использование устьев малых рек. В работе рассматривается возможность проведения их эффективной типизации на основе бального подхода. Используются материалы полевых исследований последнего десятилетия, выполненных в устьевых областях малых рек бассейна Белого моря и примыкающей к нему акватории Баренцева моря.

Малые реки западного сектора Арктики обладают рядом специфических свойств. Во-первых, большую часть года они покрыты льдом, и на многих участках промерзают до дна. Во-вторых, устьевые области рек бассейнов Белого и Баренцева морей подвержены влиянию приливов различной величины – от 1 до 9 м. В-третьих, они чрезвычайно разнообразны по морфологическому строению, рельефу дна и берегов, уклону дна и составу руслообразующих наносов на устьевом участке реки.

Результаты исследований устьев малых рек, впадающих в Белое море и примыкающую к нему часть Баренцева моря (Кянда, Тамица, Сёмжа, Пыя, Чёша, Чижа, Ухта, Лая и др.), выполненные в 2010–2019 гг. Институтом океанологии РАН и Московским государственным университетом [1–9], показали, что сочетание этих и некоторых других, весьма специфических гидродинамических факторов [10–11], создают сложную картину гидрохимических и гидроэкологических условий на этих участках, приводящих к заметному разнообразию их типов даже на относительно небольшом удалении друг от друга.

Так, например, устья Тамицы и Кянды расположены всего в сорока километрах друг от друга в Онежском заливе. Реки схожи по длине, ширине, площади водосбора, речному стоку, величине прилива в устье, однако приливные волны распространяются по руслам Тамицы и Кянды совершенно по-разному [11]. Размах колебаний уровня воды на устьевом участке Кянды не уменьшается на протяжении шести километров от устья, прилив распространяется в межень более чем на десять километров, в то же время приливные колебания на Тамице затухают уже через 2–3 км [12]. По устьевому участку Кянды с приливом распространяется осолоненная вода (максимальная измеренная дальность проникновения вод соленостью 1 епс составила 6,5 км), а на Тамице были обнаружены только пульсационные изменения солености лишь вблизи устьевого створа.

Реверсивные движения пресных и осолоненных водных масс вдоль устьевого участка реки определяет широкий спектр гидрохимических и гидроэкологических проблем, таких как сложность учета возможного направления и дальности распространения загрязнений, взаимного расположения мест водозабора и сброса сточных вод в вахтовых поселках, выбора оптимального очертания причалов, гаваней и рейдов. С другой стороны, наличие участка реки, на котором дважды в течение суток речные и морские воды вместе с их обитателями могут сменять друг друга, является весьма привлекательным фактором в плане рекреационного использования акватории.

Такое разнообразие определяет весьма широкий диапазон возможностей при решении прикладных задач, к примеру, при выборе объекта для размещения гидротехнического сооружения или рекреационного объекта. Типизация объектов может ускорить выбор и сделать его оптимальным, так как позволит сократить число рассматриваемых вариантов за счёт исключения целых групп, не отвечающих поставленным требованиям или уступающим по совокупному ряду показателей.

Традиционные методы классификации гидрологических объектов часто не подходят для решения практических задач такого рода. Типизацию можно организовать путём создания универсальных и гибких методологий, таких как балльные классификации. Они базируются на сведениях всего многообразия показателей природных процессов и сопутствующих факторов к безразмерному виду и экспертных технологиях [13–15]. В этом случае процесс типизации представляет собой последовательно реализуемый набор процедур.

Формулирование цели типизации. От цели зависит выбор влияющих факторов. В некоторых случаях цель может быть разбита на промежуточные цели, позволяющие более корректно провести процедуры экспертного оценивания.

Выбор модели. Применительно к данному случаю наиболее целесообразной, хотя далеко не единственной, по нашему мнению, является модель балльных классификаций, которая в самом простом виде может быть записана следующим образом:

$$I_i = \sum_{j=1}^n k_{ij} p_{ij},$$

где I_i – интегральный показатель, k_{ij} – весовые коэффициенты факторов, p_{ij} – показатели факторов, $i = 1, \dots, m$ – число объектов, $j = 1, \dots, n$ – число факторов. Обязательным условием является выполнения равенства

$$\sum_{j=1}^n k_{ij} = 1.$$

Такого рода модели позволяют свести всё разнообразие факторов к единому показателю, что существенным образом упрощает классификацию объектов.

Выбор влияющих факторов и показателей. Определяются целью исследований и доступностью информации.

Экспертный опрос. Может быть проведён в рамках как групповых, так и индивидуальных процедур, выбор которых определяется предпочтениями и возможностями организаторов опроса.

Расчёт весовых коэффициентов. Весовые коэффициенты рассчитываются различными способами: прямой расстановкой, ранжированием факторов, анализа иерархий и т.д. Более точно получить весовые коэффициенты можно путём построения аналитических сетей, что приводит в ряде случаев к перераспределению границ классов [16].

Построение шкал для расчёта балльных оценок. Шкалы строятся отдельно для качественных и количественных показателей. Могут использоваться и применяемые в различных областях, такие как шкала Бофорта или загрязнённости поверхностных вод. Для интегрального показателя строится отдельная вербально-числовая шкала, позволяющая провести типизацию объекта применительно к поставленной задаче.

Вывод. Разнообразие природных условий в западном секторе Арктики определяет разнообразие устьевых участков малых рек, впадающих непосредственно в моря. Предложенный в настоящей работе подход позволяет свести типизацию морских устьев малых рек к набору интуитивно понятных и ясно интерпретируемых процедур.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №№ 18-05-60021 и 19-35-90032).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хоменко Г.Д., Лещев 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 научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. Москва, 18–22 ноября 2013 г. М.: ГЕОС, 2013. С. 266–268.
2. Демиденко Н.А., Зиновьев А.Т., Алабян А.М. и др. Исследование и моделирование параметров гидрологического режима и динамики взвешенных наносов в Мезенском заливе и эстуариях Мезени и Кулоя // Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2015. С. 175–179.
3. Коробов В.Б. Исследования режима устьевых областей рек Белого моря. // Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. Москва, 16–20 ноября 2015 г. М.: ГЕОС, 2015. С. 199–202.
4. Лещёв А.В., Коробов В.Б., Федоров Ю.А. и др. Первые комплексные исследования реки Кянда и ее маргинального фильтра, Онежский залив Белого моря (22 июля – 3 августа 2014 г.) // Океанология. 2015. Т. 55. № 5. С. 850–851.
5. Алабян А.М., Алексеева А.А., Демиденко Н.А. и др. Гидрологические исследования приливных устьев малых рек Белого моря // Труды V Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование (MARESEDU-2016)». М., 2016. С. 476–479.
6. Алабян А.М., Алексеева А.А., Крыленко И.Н. и др. Опыт и проблемы гидрологических изысканий в приливных устьях // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Двенадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций, Москва, 2016. С. 260–263.
7. Алабян А.М., Алексеева А.А., Демиденко Н.А. и др. Полевые гидрологические исследования устьев рек Онежского залива в зимнюю и летнюю межень 2016–2017 гг. // Геология морей и океанов. Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ИО РАН, 2017. С. 146–150.
8. Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б. и др. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля – 15 августа 2016 г.) // Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 369–373.
9. Мискевич И.В., Коробов В.Б., Алабян А.М. Специфика инженерно-экологических изысканий в приливных устьях малых рек западного сектора российской Арктики // Инженерные изыскания. 2018. Т. XII. № 3–4. С. 50–61.

10. Алабян А.М., Панченко Е.Д. Гидравлическое сопротивление в приливных устьях и феномен «отрицательного трения» в речной гидравлике // Инженерные изыскания. 2017. № 3. С. 18–26.
11. Алабян А.М., Панченко Е.Д., Алексеева А.А. Особенности динамики вод в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2018. № 4. С. 39–48.
12. Панченко Е.Д. Гидродинамические процессы в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов): сборник статей по материалам XII семинара молодых ученых вузов, объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. М.: ПринтКов, 2019.
13. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии. – Архангельск: Издательство Поморского государственного университета, 2008. 244 с.
14. Коробов В.Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // Научный диалог, Естествознание. Экология. Науки о земле. 2013. № 3 (15). С. 94–108.
15. Губайдуллин М.Г., Кузнецов А.Е., Коробов В.Б. О методологии выбора места размещения вахтовых поселков при помощи экспертных технологий // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018. № 3 (113). С. 23–31.
16. Коробов В.Б., Середкин К.А. Применение экспертных сетей для экологического районирования Белого моря // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 3. С. 81–87.

When solving practical problems, such as the construction of hydraulic structures, as well as organization of tourist facilities, the question of their optimal allocation arises. In this regard, the use of small estuaries seems to be very promising. The paper considers the possibility of their typing based on the ball approach. Data of field studies 2015-2019 of the White Sea and the adjacent area of the Barents Sea are used.

Королева А.О.^{1,2}, Шварев С.В.^{2,3}, Никонов А.А.²

(¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, г. Москва, e-mail: koroleva.alyaska@yandex.ru, ²Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, ³Институт географии РАН, г. Москва)

Применение геолого-геоморфологических и геофизических методов в изучении Кандалакшского грабена (Западное Беломорье)

Koroleva A.O.^{1,2}, Shvarev S.V.^{2,3}, Nikonov A.A.²

(¹Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, ²Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, ³Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow)

The use of geological-geomorphological and geophysical methods in the study of the Kandalaksha graben (Western White Sea area)

Ключевые слова: геология, геоморфология, разрывные нарушения, сейсмоакустическая съемка, интерпретация данных морской геофизики, Белое море, Кандалакшский грабен

В работе представлены результаты сопоставления геолого-геоморфологических исследований по изучению северной части Фенноскандинавского кристаллического щита с современными морскими геофизическими исследованиями. Беломорская зона включает особо сейсмически активную структуру – Кандалакшский грабен и малый грабен Великая Салма, подвижки в пределах которых свидетельствуют о высоком сейсмическом потенциале района.

В последние десятилетия усилиями многих исследователей из разных научных учреждений и университетов страны установлена значительно более высокая степень тектонической и сейсмической активности северной части Фенноскандинавского кристаллического щита в поздне- и послеледниковое время (за 15 тыс. лет), при том, что текущая сейсмичность региона слабая. Оказалось, что в российской части щита указанная активность проявляется не только в общем постепенном послеледниковом воздымании суши со скоростью до 1–5 мм/год, но и в виде дифференцированных тектонических (в основном сейсмотектонических) подвижек и землетрясений с $M \geq 5.5$. Обобщение данных по Кольскому полуострову (Мурманская область) позволило выделить в регионе три главных активных зоны – две субширотные, Мурманскую и Беломорскую, и одну субмеридиональную, Центрально-Кольскую [1].

Беломорская зона включает особо активную структуру – Кандалакшский грабен. Структуры неотектонически обновленного Кандалакшского

грабена, унаследовавшего рифтовую систему рифейского возраста [2] проявляются, прежде всего, в активных бортовых разломах, крупнейшим из которых является южный, протягивающийся от вершинной части залива к ЮВ более чем на 200 км в виде выразительного уступа на дне моря высотой до первых сотен метров (рис. 1). Уникальность этой структуры в пределах кристаллического щита проявляется в сильных исторических землетрясениях XVI–XVIII вв. с $M \geq 5.5$, в 1550, 1627, в середине XVII в., 1758 гг. Установлен также целый ряд более сильных палеоземлетрясений за предшествующие тысячелетия, что свидетельствует о высоком сейсмическом потенциале района [3]. В интервале 11–3 тыс. лет, выстраивается история сеймотектонической активизации грабена после последнего оледенения.

Западная часть Кандалакшского грабена обладает наибольшей тектонической подвижностью, что проявляется, прежде всего, в исключительно высокой контрастности рельефа и наибольших глубинах морского дна, отражающих резко дифференцированные блоковые новейшие движения на фоне максимального прогибания [4, 5]. Разрывные структуры, принадлежащие трем основным системам – СЗ (продольные структуры грабена), ЗСЗ (оперяющие нарушения) и субширотной (секущие сквозные нарушения) – прослеживаются как на дне залива, так и на прибрежной суше.

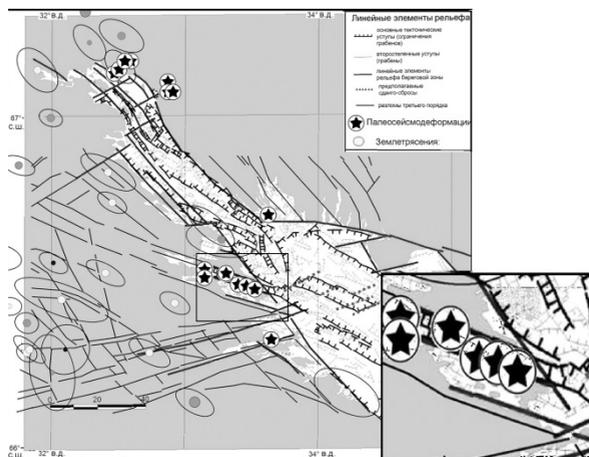


Рисунок 1. Морфоструктурная карта Кандалакшского грабена и сейсмических проявлений в нем. Во врезке – малый грабен Великая Салма

Показательной структурой является оперяющий основной Кандалакшский грабен пролив Великая Салма (см. рис. 1). Эта линейная структура ЗСЗ простирания в виде узкого трога в архейско-протерозойском фундаменте и покрове четвертичных отложений по современным геофизическим данным (высокоразрешающее сейсмоакустическое зондирование) обладает

характерными чертами, подтверждающими её поздне- и послеледниковую тектоническую активность: наличие разрывных нарушений, смещающих покров голоценовых осадков с амплитудой до нескольких метров [6], сопровождающихся массовыми подводными гравитационными смещениями донных осадков [7]. Выходы разрывов на сушу фиксируются рвами и открытыми трещинами, определяемыми как палеосейсмодислокации [8, 9]. Возраст породивших эти структуры мощных палеоземлетрясений устанавливается по захороненной органике от раннего голоцена [10] до исторического времени [9] и частично может быть сопоставлен с известными историческими землетрясениями Беломорья.

В результате геофизических исследований на Беломорской Биологической Станции МГУ им. Н.А. Перцова в пределах Кандалакшского грабена подробно изучено геологическое строение губы Ругозерской, пролива Великая Салма, губы Бабые море, составлены подробные схемы рельефа дна и структурные карты по всем отражающим горизонтам, отдельно изучались разрывные нарушения и газонасыщенные осадки [7]. По материалам сейсмоакустической съемки построена детальная схема разрывной тектоники. В проливе Великая Салма разрывные нарушения имеют преимущественно СЗ простирание, отмечаются также поперечные разрывы СВ направления.

В 2019 г. проведена сейсмоакустическая съемка на участке выхода пролива Великая Салма в Белое море. Первичная интерпретация полученных данных включает анализ сейсмических разрезов и построение карт изохрон, изопакит и структурных поверхностей отдельных сейсмокомплексов (СК). По наличию высокоамплитудных отражений и характеру волновых картин выделено три сейсмических комплекса. СК1 представлен ненарушенными морскими осадками голоценового возраста, отличительными признаками служат низкие значения амплитуд отраженного сигнала и параллельно-слоистый тип залежи. СК2 представлен ледниково-морскими и озерными отложениями, местами моренами. Для него характерна «хаотическая» волновая картина. СК3 фиксирует акустический фундамент, осложненный разрывными нарушениями. Выделено также три отражающих поверхности: дно, подошва СК1 и кровля СК3 (рис. 2). В результате построены карты изохрон и структурных поверхностей морского дна, подошвы морских осадков голоценового возраста, карта изопакит морских и ледниковых отложений, а также карта изохрон и структурная поверхность кровли фундамента.

Фундамент на сейсмической записи характеризуется акустически «прозрачной» или «хаотической» волновой картиной и отсутствием осей синфазности отраженных волн (рис. 3).

Западное Беломорье в целом испытывает воздымание берегов, связанное с продолжающимся поднятием Фенноскандинавского щита в послеледниковое время. Скорости поднятия на территории, прилегающей к ББС, составляют от 2 до 5 мм/год [11]. На этом фоне возобновилось опускание Кандалакшского

грабена [4]. Этот процесс сопровождался широким развитием блоковых субвертикальных разрывных нарушений.

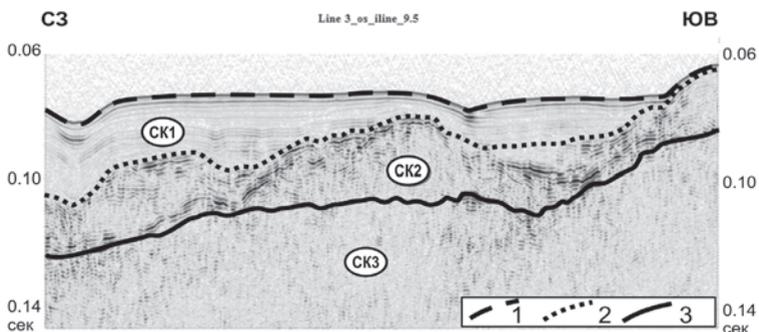


Рисунок 2. Сейсмический разрез, иллюстрирующий выделение СК1, СК2 и СК3. 1 – поверхность дна, 2 – кровля СК2, 3 – кровля СК3.

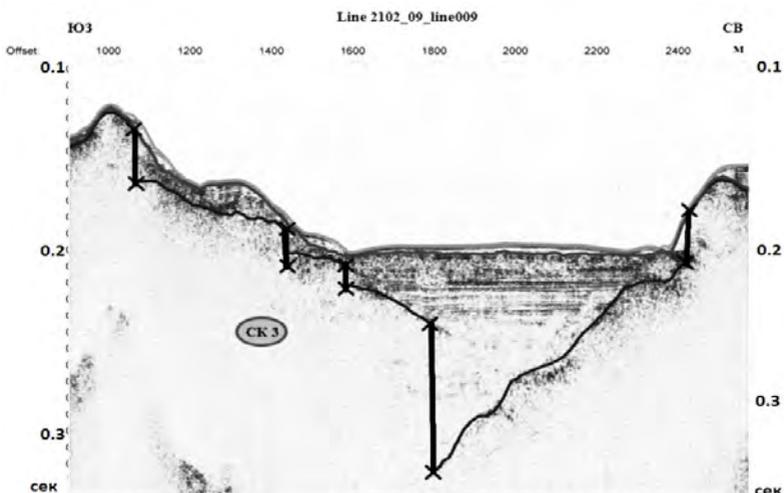


Рисунок 3. Сейсмический разрез, иллюстрирующий выделение СК3. Черные вертикали – разрывные нарушения

В докладе материалы будут представлены в более полном виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никонов А.А., Шварев С.В., Николаева С.Б. и др. Три активные сеймотектонические зоны высшего ранга на севере Европейской части России: прогресс-репорт // Проблемы тектоники континентов и океанов.

- Материалы I тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2019. Т. 2. С. 86–92.
2. Балувев А.С., Журавлев В.А., Терехов Е.Н., Пржиялговский Е.С. Тектоника Белого моря и прилегающих территорий. (Объяснительная записка к «Карте тектоники Белого моря» масштаба 1:1500000). Отв. ред. М.Г.Леонов. М.: ГЕОС, 2012.
 3. Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления. Петрозаводск. 2004.
 4. Шварев С.В., Никонов А.А., Фроль В.В. Морфоструктура, тектоническая и сейсмическая активность в бассейне Белого моря: анализ на основе ЦМР, геологических и сейсмических данных // Всероссийская конференция «VII Щукинские чтения». Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике. М. 2015. С. 199–202.
 5. Шварев С.В., Никонов А.А. Морфотектоника бассейна Белого моря в сопоставлении с уточненными характеристиками исторических землетрясений // Материалы Всероссийской научной конференции «Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология»: сборник статей. М.: «КДУ», «Университетская книга», 2018. С. 174–180.
 6. Рыбалко А.Е., Федорова Н.К., Никитин М.А., Токарев М.Ю. Геодинамические процессы в Кандалакшском заливе Белого моря и их роль в формировании покрова современных осадков // Матер. XX Межд. научн. конфер. (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2013. Т. III. С. 237–241.
 7. Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Терёхина Я.Е. Атлас по интерпретации геофизических данных для морской практики на Белом море. М., 2018. 110 с.
 8. Авенариус И.Г. Морфоструктурный анализ при изучении культурного и природного наследия Западно-Арктического региона России: научное издание / И.Г. Авенариус. М.: Paulsen, 2008. 190 с.
 9. Мараханов А.В., Романенко Ф.А. Новые данные о послеледниковых сейсмодислокациях Северной Карелии (Карельский берег Белого моря) // Материалы Всероссийской конференции «Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI веке». Архангельск, 2014. С. 137–140.
 10. Nikonov A.A. On young and recent crustal movements on Kola peninsula and in adjacent areas // Proceed. Second Intern. Symp. on Recent Crustal movement: Ann. Acad. Sci. Ser.A. III geol.-geogr. 90. Helsinki, 1966. P. 299–306.

This article presents some results of comparison of long-term geological and geomorphological studies of the northern part of the Fennoscandian crystal shield with modern marine geophysical studies. The White Sea zone includes specific seismic active structure - Kandalaksha graben and small Velikaya Salma graben, the movements of which indicate a high seismic potential of the area.

Котова Е.И.^{1,2}, Коробов В.Б.²

(¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск, e-mail: esopp@yandex.ru; ² Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Архангельск)

Оценка степени влияния различных факторов на состав снежного покрова АЗРФ

Kotova E.I.^{1,2}, Korobov V.B.²

(¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk; ² The Northwest Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Arkhangelsk)

Assessment of the degree of influence of various factors on the snow cover composition of the Russian Arctic

Ключевые слова: снежный покров, Арктика, экспертные методы

Используя метод экспертных опросов и метод анализа иерархий, проведена оценка степени влияния различных факторов на состав снежного покрова АЗРФ. Определено, что наибольшее влияние оказывают местные антропогенные источники поступления поллютантов и состав атмосферных осадков. Наименьший вклад оказывают дальний перенос и ветровой режим.

Формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике происходит под влиянием естественных и антропогенных факторов, их соотношение зависит от расстояния от крупных промышленных центров и особенностей формирования гидрометеорологического режима территорий и акваторий [1-2]. Существенный разброс статистических характеристик ионного состава снега и значений концентраций ионов в снежном покрове указывает на пространственную и временную неоднородность химического состава снежного покрова, многофакторность процесса его формирования на данной территории [3].

В рамках изучения процесса формирования состава снежного покрова, в том числе обзора литературных источников [4–9], авторами было выделено 14 факторов формирования состава снежного покрова в Арктике: состав атмосферных осадков, сухое осаждение, загрязнение атмосферного воздуха, количество оттепелей, продолжительность залегания снежного покрова, метеорологический потенциал загрязнения, циркуляция атмосферы, морской аэрозоль, дальний перенос, ветровой режим, количество и режим осадков, влагозапас, рельеф (открытость местности, экспозиция склонов), местные антропогенные источники поступления поллютантов.

Количественный вклад факторов можно оценить посредством весовых коэффициентов. Для такого рода задач, когда факторы выражаются в

различных единицах, наиболее эффективными являются экспертные технологии. В данной работе весовые коэффициенты рассчитывались методом анализа иерархий (МАИ), основанном на парном сравнении факторов [10].

Всего в опросе участвовала 12 экспертов, из них 2 доктора географических наук, 8 кандидатов наук, 2 сотрудника Росгидромета. Темы научных работ и характер работы экспертов непосредственно связаны с рассматриваемым вопросом.

При этом все результаты опросов принимались к рассмотрению, поскольку встроенный в МАИ критерий качества работы экспертов, как показано в работах [11–13], таковым не является.

Результаты обработки экспертных суждений мнений методом анализа иерархий предоставлены в табл.

Таблица – Результаты ранжирования факторов

Ранг	Фактор	Среднее значение весового коэффициента
1	Местные антропогенные источники поступления полютантов	0,0999
2	Состав атмосферных осадков	0,0967
3	Метеорологический потенциал загрязнения	0,0963
4	Загрязнение атмосферного воздуха	0,0943
5	Количество и режим осадков	0,0795
6	Сухое осаждение	0,0720
7	Морской аэрозоль	0,0707
8	Влагозапас	0,0697
9	Циркуляция атмосферы	0,0611
10	Продолжительность залегания снежного покрова	0,0599
11	Рельеф: открытость местности (лес/поле), экспозиция склонов	0,0561
12	Количество оттепелей	0,0522
13	Дальний перенос	0,0515
14	Ветровой режим	0,0400

По данным экспертного опроса наибольшее влияние на формирование химического состава снежного покрова в российской Арктике оказывают местные антропогенные источники поступления поллютантов и состав атмосферных осадков. Наименьший вклад оказывают дальний перенос и ветровой режим.

В тоже время, исследования по данному вопросу [3; 5; 6] показали, что дальний перенос играет существенную роль в процессе формирования состава снежного покрова, особенно в западном секторе российской Арктики,

и его вклад может быть весьма значительным, как это имело место в марте 2008 года [14], когда мощными потоками воздуха пыль была перенесена из южных регионов Европы на Север и покрыла площадь многие тысячи квадратных километров, вызвав настоящую панику у местного населения. Но влияние этого фактора носит непостоянный характер и сила влияния меняется во времени и пространстве значительно.

Работа выполнена в рамках темы госзадания №0149-2019-0007 «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» и при частичной поддержке РФФИ (грант № 19-45-393007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора Арктических морей России // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/106-7843>.
2. Польшкин В.В., Голобокова Л.П., Погодаева Т.В. и др. Состав аэрозолей приводного слоя атмосферы над Белым морем во второй половине августа 2003 и 2004 гг. // Фундаментальные исследования океанов и морей. Книга 2. М.: Наука, 2006. С. 413–439.
3. Котова Е.И., Шевченко В.П. Влияние дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора российской Арктики // Фундаментальные исследования. 2014. № 12–11. С. 2378–2382.
4. Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Химический состав снежного покрова на территории таежной зоны Республики Коми // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 494–506.
5. Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Накопление растворимых и малорастворимых форм металлов в снежном покрове таёжной зоны Европейского северо-востока России // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015. № 2. С. 111–118.
6. Макаров В.Н. Геохимия снежного покрова таёжных и горных мерзлотных ландшафтов Якутии // Лёд и Снег 2014 № 1 (125). С. 73–80.

7. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 1. С. 71–81.
8. Польшкин В.В., Голобокова Л.П., Козлов В.С. и др. Оценка связи микрофизического и химического состава для приводного аэрозоля Белого моря // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 5–6. С. 377–385.
9. Раткин Н.Е., Асминг В.Э., Кошкин В.В. Влияние природных локальных факторов на загрязнение снежного покрова (на примере Печенгского района) // Вестник МГТУ. 1998. Т. 1. № 3. С. 151–160.
10. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.
11. Коробов В.Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // Научный диалог, Естествознание. Экология. Науки о земле. 2013. № 3 (15). С. 94–108.
12. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Проблемы использования метода анализа иерархий и пути их решения // Экономика и управление. 2016. № 8. С. 60–65.
13. Коробов В.Б. Теория и практика экспертных методов / Под ред. Кочурова Б.И. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 281 с.
14. Шевченко В.П., Коробов В.Б., Лисицын А.П. и др. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на Европейском Севере России в желтый цвет (март 2008 г.) // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431. № 5. С. 675–679.

Using the method of expert surveys and the method of hierarchy analysis, the degree of influence of various factors on the composition of the snow cover of the Russian Arctic was assessed. It is determined that the greatest influence on the formation of the chemical composition of the snow cover in the Russian Arctic have local anthropogenic sources of pollutants and precipitation. The least contribution is made by long-range transport and wind conditions.

Коченкова А.И., Лохов А.С.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: kochen.a@mail.ru)

Сезонное распределение взвеси в устьевой области реки Северная Двина в 2018 г.

Kochenkova A.I., Lohov A.S.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Seasonal distribution of a suspended matter in the mouth area of the Severnaya Dvina River in 2018

Ключевые слова: Северная Двина, взвешенное вещество, маргинальный фильтр, Белое море

В работе определены концентрации взвешенного вещества в устьевой области р. Северная Двина в разные сезоны 2018 г. Пробы поверхностной воды отбирались ежемесячно в течение года на двух станциях. Максимальные концентрации взвеси приходятся на период весеннего паводка – 14,9 мг/л, а минимальные в зимнюю межень – до 1,8 мг/л. Средняя концентрация – 5,8 мг/л.

Северная Двина – крупнейшая река бассейна Белого моря. Исследования проводятся в устьевой области реки Северная Двина, которая выносит более 50% растворенных и взвешенных веществ в Белое море. Её протяженность составляет 744 км², водный сток 108 км³, сток взвешенных наносов 4,4 млн.т/год [1]. Площадь водосбора реки – 357000 км² составляет практически половину водосбора всех рек бассейна. Устьевой участок представлен многорукавной дельтой площадью 900 км². Интерес представляют исследования в зоне смешения речных и морских вод – маргинальном фильтре реки [2], который является эффективным барьером на пути растворенных и взвешенных веществ с континента в моря и океаны. Устьевые участки являются барьерами на пути выноса загрязняющих веществ в прибрежные зоны арктических морей [2]. Наиболее загрязненным участком р. Северной Двины является её нижнее течение близ устья, где расположены крупные населенные пункты с развитой промышленностью и энергетикой [3].

В рамках проекта Обсерватории «Маргинальный фильтр реки Северная Двина», цель которого состоит в регулярных исследованиях седиментационных, геохимических и биологических процессов в нижнем течении Северной Двины, проводятся ежемесячные круглогодичные отборы проб воды и взвеси в нижнем течении реки, что позволяет получить надежные результаты в условиях сильной сезонной изменчивости стока реки и концентраций всех изучаемых элементов и компонентов.

Пробы поверхностной воды отбирались каждый месяц на двух станциях нижнего течения реки: с причалов в черте горда Архангельска (Яхт-клуб) и в полукилометре выше по течению от порта Экономия в протоке Кузнечиха (24 пробы за 2018 г.). Схема расположения станций показана на рис. 1.

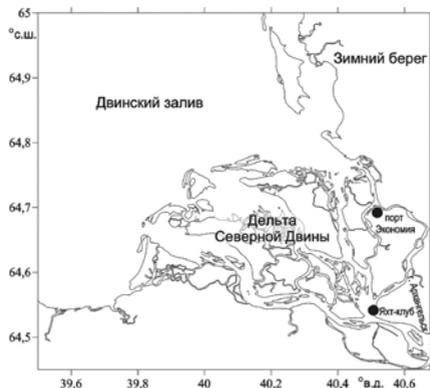


Рисунок 1. Расположение станций отбора проб воды.

Методика определения концентрации взвешенного вещества описана в работе [4].

Полученные нами данные по концентрации взвеси на станциях Яхт-клуб и порт Экономия представлены на рис. 2, где отчетливо видны максимальные пики выноса взвеси в апреле–мае, что совпадает с данными 2015–2017 гг. [4–5], однако концентрация взвеси оказалась самая низкая за 4 года – 9,97 мг/л. Концентрация взвеси в устьевых областях меняется, как известно, в зависимости от гидрологической ситуации. Основной сток взвешенных наносов в Белом море приходится на половодье, превышая меженный в 1,5–2 и более раз. Сток становится минимальным в марте, когда истощаются запасы подземных вод [6].

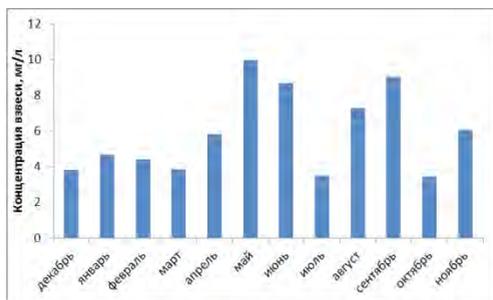


Рисунок 2. Концентрация взвеси (мг/л) на станциях Яхт-клуб и вблизи порта Экономия 2018 г. (даны средние значения для 2-х станций).

В течение всего зимнего периода концентрация взвеси мало изменяется, составляя в среднем 4,5 мг/л, с минимальными концентрациями 3,8 мг/л в

декабре (рис. 2). В конце зимней межени массовая концентрация взвеси в устье была сравнительно низкая: 3,86 мг/л, в апреле до начала половодья она оставалась примерно на таком же уровне (5,8 мг/л), и была ниже значений летне-осеннего периода.

По литературным данным, средние значения концентрации взвеси в половодье р. Северная Двина варьируют от 9 до 16 мг/л (2000–2006 гг.) [7–9]. В исследуемый нами период во время половодья массовая концентрация взвеси в устье Северной Двины заметно увеличивалась до 14,9 мг/л., но была в 2 раза ниже среднегодового значения, установленного для рек российской Арктики: около 36 мг/л.

В послепаводковый период (июнь) массовая концентрация взвеси составляла примерно 8,7 мг/л, а во время летней межени (август) она уменьшилась в 3 раза, по сравнению с половодьем, достигая в среднем 5,4 мг/л. В осенний период наблюдается повышение концентраций взвеси до 10,2 мг/л (близко к значениям 2017 г. – 10,01 мг/л), что связано с дождевыми паводками в водосборном бассейне.

На исследовательской станции «Обсерватория – Маргинальный фильтр реки Северная Двина» при месячном отборе проб в устьевой области реки Северная Двина показано, что средняя концентрация взвешенного вещества за 2018 г. составила 5,8 мг/л. Максимальные концентрации взвеси приходятся на период паводка – 14,9 мг/л, а минимальные характерны для периода зимней межени – до 1,8 мг/л, что соответствует максимальному и минимальному речному стоку.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну, В.В. Гордееву и всем, кто помогал в проведении исследований.

Обработка и получение материала выполнена при финансовой поддержке РНФ № 19-17-00234. В рамках Государственного задания ИО РАН по теме № 0128-2019-0011 осуществлялась интерпретация полученных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В. Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС. 1997. 232 с.
2. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747.
3. Брызгало В.А., Иванов В.В., Нечаева С.А. Экологическое состояние низовья и устья р. Северная Двина и его изменения в условиях антропогенных воздействий // Проблемы Арктики и Антарктики. СПб.: Гидрометеиздат. 2002. Вып. 73. С. 135–152.
4. Коченкова А.И., Новигатский А.Н., Гордеев В.В. и др. Особенности сезонного распределения взвеси и органического углерода по данным

- обсерватории «Маргинальный фильтр реки Северная Двина» // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 2. С. 96–111.
5. Коченкова А.И., Новигатский А.Н., Гордеев В.В. Распределение взвеси в маргинальном фильтре Северной Двины в конце лета // Успехи современного естествознания. 2018. № 2. С. 106–112.
 6. Кравчишина М.Д., Шевченко В.П., Филиппов А.С. и др. Вещественный состав водной взвеси устья реки Северной Двины (Белое море) в период весеннего половодья // Океанология. 2010. Т. 50, № 3. С. 396–416.
 7. Шевченко В.П., Филиппов А.С., Богунов А.Ю. и др. Геохимические исследования взвеси в маргинальном фильтре реки северная Двина в конце зимнего периода // Вестник Архангельского гос. техн. ун-та. Сер. «Прикладная геоэкология». 2007. Вып. 70. С. 164–176.
 8. Shevchenko V.P., Filippov A.S., Novigatsky A.N. et al. Suspended particulate matter dynamics in the Northern Dvina delta, the White Sea, during the flood // Berichte zur Polar- und Meeresforschung. 2005. № 506. P. 104–107.
 9. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д. и др. Особенности геохимии речного стока в Белое море // Система Белого моря. Т. 2. Водная толща и взаимодействующая с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 225–308.

The concentration of a suspended matter in the estuarine region of the river is determined in the Severnaya Dvina in different seasons of 2018. Surface water samples were taken monthly during the year at two stations. The maximum suspension concentrations occur during the spring flood period – 14.9 mg / l, and the minimum during the winter low-water period – up to 1.8 mg / l. The average concentration is 5.8 mg / l.

Краснова Е.Д.¹, Воронов Д.А.^{2,3}

(¹Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: e_d_krasnova@mail.ru; ²Институт проблем передачи информации РАН, Москва;

³Институт физико-химической биологии им. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва)

Как формируется заглубленный максимум температуры в беломорских меромиктических водоёмах?

Krasnova E.D.¹, Voronov D.A.^{2,3}

(¹Biological Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow; ²A.Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of RAS, Moscow; ³A.N.Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology of Lomonosov Moscow State University, Moscow)

How is a deep temperature maximum formed in the White Sea meromictic water bodies?

Ключевые слова: температурный режим, меромиктические водоемы, заглубленный максимум температуры, Белое море

Заглубленный максимум температуры зарегистрирован во многих соленых стратифицированных озерах на побережье Белого моря. На основании многолетних и сезонных наблюдений, включающих 275 гидрологических съемок, обсуждается механизм его возникновения и возможная связь с массовым развитием фитопланктона.

В стратифицированных водоемах с соленой водной массой, перекрытой опресненным слоем, нередко проявляется феномен заглубленного максимума температуры (ЗМТ): наибольшая температура приходится не на верхний слой воды, как это должно быть при прямой температурной стратификации, и не на нижний, как при обратной стратификации, а на промежуточной глубине в пределах соленого слоя. Солнечное тепло аккумулируется в придонном соленом слое, а опресненный верхний препятствует конвекции, в результате чего в нижнем слое тепло накапливается. Феномен ЗМТ используют для нагрева воды в искусственных солнечных соляных прудах в районах с высокой инсоляцией. Встречается он и в природных водоемах [1, 2], и даже в меромиктических озерах Антарктиды, круглый год покрытых льдом. Например, в озере Ванда, у которого на глубине 60 м температура воды может превышать 20°C [3], или в озере Бонни, где ЗМТ с температурой +4... +6°C находится на глубине 10–20 м при том, что у поверхности она соответствует точке замерзания [4].

В прибрежных меромиктических озерах и лагунах на побережье Белого моря мы нередко наблюдаем появление ЗМТ. Ранее мы предполагали, что избирательный прогрев соленого водного слоя происходит за счет теплообмена с грунтом на мелководьях, который должен хорошо нагреваться

от солнца [5]. Детальные наблюдения за температурной стратификацией заставили нас пересмотреть свое мнение. Поскольку ЗМТ, как правило, возникает в конце лета и осенью, мы связали его с сезонным охлаждением поверхностного слоя после общего прогрева водоема [2]. Однако это не снимает с повестки вопроса о том, не вносит ли какой-то вклад в формирование ЗМТ избирательное нагревание из-за мутности этого слоя по причине массового развития микроорганизмов.

Мы проанализировали данные о 28 водоемах, в разной степени изолированных от Белого моря, собранные нами за период с 2010 по 2019 гг. с мая по октябрь. В каждом водоеме в самой глубокой точке на разной глубине с шагом по вертикали 0,5 м были выполнены измерения температуры и солености и отобраны пробы для микроскопирования. Кроме того, на разной глубине измерена освещенность с помощью люксметра, модифицированного для погружения в воду.

В общей сложности проанализированы данные о 275 летних и осенних съемках, и в 143 случаях зарегистрирован ЗМТ. В районе наших исследований ЗМТ не возникает в пресных озерах, даже если они стратифицированы, и в больших ковшовых губах с полноценными приливами и отливами. ЗМТ обнаружен во всех изолированных и полуизолированных водоемах, в которых есть слои с разной соленостью.

Как правило, ЗМТ возникает в июле, сначала под пикноклином, но ближе к осени, по мере остывания верхней части гипolimниона, постепенно оказывается все ниже. Изредка ЗМТ формируется в начале лета при высоком стоянии солнца и прогрессирующем нагреве атмосферы. Такие случаи особенно интересны, так как могут быть проявлением иного механизма формирования ЗМТ. Один такой эпизод произошел в начале лета в оз. Кисло-Сладком, когда ЗМТ был замечен уже в конце мая, вскоре после схода льда. Как обычно, ЗМТ возник под границей раздела опресненного и соленого слоев – пикноклином, на глубине 1 м. В дальнейшем, хотя поверхностный слой испытывал значительные колебания температуры и становился то теплее, то холоднее по сравнению горизонтом ЗМТ, на глубине 1 м температура не уменьшалась, а только возрастала. Могло ли это быть проявлением избирательного прогрева верхнего горизонта соленого слоя из-за повышенной мутности? Для проверки этой гипотезы мы использовали данные об освещенности на разных горизонтах. Мы разбили толщу воды на слои метровой толщины и для каждого вычислили коэффициент поглощения света α как отношение разности освещенности над и под данным слоем к освещенности над ним (табл. 1).

Самые большие значения $\alpha > 0,9$ зарегистрированы либо в придонной воде и обусловлены взвесью иловых частиц, либо на границе фотической зоны под слоем с массовым развитием микроорганизмов. Значения $0,5 < \alpha < 0,9$ дважды отмечены в поверхностном опресненном слое (в 2015 и 2019 гг.) в

моменты массового размножения бактерий и ежегодно – в хемоклине при цветении криптофитовых жгутиконосцев *Rhodomonas*. Ни в одном из этих слоев локальное повышение температуры не зарегистрировано. В 2019 г. в момент появления раннего ЗМТ на глубине 1–1,5 м вода была относительно прозрачной.

Таблица 1. Коэффициент поглощения света в начале лета в оз. Кисло-Сладком.

Глубина, м	12.07.2014	06.06.2015	05.07.2017	02.07.2018	25.05.2019
0,0-0,5	0,34	0,88	0,46	0,56	0,72
0,5-1,0	0,55	0,33	0,41	0,43	0,51
1,0-1,5	0,35	0,87	0,35	0,39	0,37
1,5-2,0	0,45	0,96	0,32	0,49	0,21
2,0-2,5	0,50		0,36	0,64	0,27
2,5-3,0	0,56		0,36	0,81	0,25
3,0-3,5	0,70		0,58		0,32
3,5-4,0	0,95		0,96		0,39
4,0-4,5			0,97		0,40

Что отличало этот год от предыдущих? Из-за заброса из моря большого количества воды с необычно высокой для Белого моря соленостью (29‰) поздней осенью или в начале зимы 2019 г., основная толща водоема стала более соленой, чем обычно. В 2014–2018 гг. в начале лета соленость воды под пикноклином составляла 21,7–26,1‰, а градиент солености между поверхностным опресненным слоем и нижележащим соленым – от 1,8 до 10,5 ед./м. В 2019 г. этот градиент был 21,1 ед./м, что значительно больше обычного. Есть мнение, что для появления ЗМТ разница в плотности слоев должна быть не менее 15 г/л [6]. Разность в плотности между 0,5 и 1,5 м в оз. Кисло-Сладком в начале лета 2019 г. составила 9,85 г/л. Это ниже вышеуказанного порога, но приближается к нему.

А что в других водоемах? Мы выбрали несколько примеров типичных стратифицированных водоемов со слоями микроорганизмов, для которых есть данные по освещенности, и вычислили коэффициенты α (табл. 2).

ЗМТ образуется в самой верхней части пикноклина, сразу под миксолимнионом. Значения α в этом слое обычно небольшие (<0,35). Лишь в оз. Еловый Наволок в верхней части ЗМТ $\alpha > 0,5$, но и в этом случае значение коэффициента α меньше, чем в вышележащем пресном слое, то есть максимум поглощения света приходился не на него. Слой с высоким

обилием микроорганизмов характеризовался повышенным значением α по сравнению с соседними горизонтами. В лагуне на о. Телячьем он был представлен кокками-цианобактериями, в оз. Савино-Канозеро – цветением коков зеленого цвета и разного размера (вероятно, протококковыми зелеными водорослями и цианобактериями), в оз. Еловый Наволок и оз. Трёхцветное – высокоплотной культурой зеленых серных бактерий *Chlorobium*. Однако с ЗМТ он не совпал ни в одном из четырех случаев.

Таблица 2. Термохалинные характеристики и коэффициент поглощения света α в четырех стратифицированных озерах. Черная линия разделяет миксолимнион и пикноклин, бледно серым цветом выделен слой ЗМТ, зеленым темно-серым – слой с высокой плотностью микроорганизмов.

Глубина, м	Лагуна на о. Телячьем, 19.08.2014			Оз. Савино-Канозеро, 26.08.2019			Оз. Еловый Наволок, 9.07.2019			Оз. Трёхцветное, 16.08.2018		
	T° C	S ‰	α	T° C	S ‰	α	T° C	S ‰	α	T° C	S ‰	α
0	16,0	11,7		16,3	0		14,8	0		1,5	16,3	0,2
0,5	16,1	11,8	0,4	15,8	0	0,50	14,4	0	0,99	1,6	16,3	0,2 0,10
1	15,9	11,8	0,4	16,2	1,6	0,27	14	0	0,66	1,7	16,5	0,7 0,15
1,5	15,9	11,8	0,2	15,8	8,6	0,44	15,3	11,3	0,64	1,8	16,4	1,7 0,34
2	15,8	11,8	0,2	14,3	11,9	0,44	15,4	15,8	0,34	1,9	16,3	2,7 0,44
2,5	18,7	16,8	0,2	12,4	12,5	0,34	14	18,4	0,43	2	16	6,3 1
3	17,1	17,8	0,3	11,8	12,7	0,3	12,3	19,6	0,66			
				11,5	12,8	0,41	10,7	21,8	1			
				11,2	12,9	0,52	10,2	22,3				
				12,8	11,4	0,35	9,7	22,4				
							9,4	22,4				
							9,4	22,4				

Выводы

На побережье Белого моря феномен заглубленного максимума температуры зарегистрирован во всех прибрежных водоемах со стратификацией по солености и отсутствует в больших ковшовых губах с полноценными приливами и отливами и пресных озерах, даже если они стратифицированы.

В большинстве случаев ЗМТ появляется в середине лета и сначала располагается непосредственно под пикноклином, а осенью, по мере остывания верхней части гипolimниона, постепенно оказывается все ниже.

Слой с ЗМТ не обладает повышенной способностью поглощать свет в диапазоне длин волн, который регистрирует люксметр, настроенный на чувствительность человеческого глаза, и не совпадает с горизонтами, где происходит массовое развитие микроорганизмов.

Причина феномена ЗМТ лежит в области не биологии, а гидрологии.

При высокой разности в плотности слоев ЗМТ может возникать раньше, чем обычно.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 19-05-00377). В работе использованы данные, собранные авторами на территории Кандалакшского государственного природного заповедника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stepanenko V.M., Repina I.A., Artamonov A.Yu. et al. Mid-depth temperature maximum in an estuarine lake // *Environmental Research Letters*. 2018. № 13 (3). 035006. DOI : <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaad75>
2. Краснова Е.Д., Воронов Д.А. Заглубленный максимум температуры в озерах с устойчивой стратификацией на побережье Белого моря // *Трешниковские чтения – 2019: Современная географическая картина мира и технологии географического образования: мат.-лы. всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ.* Ульяновск: изд. ФГБОУ ВО УлГПУ им. И.Н. Ульянова, 2019. С. 145–148.
3. Van der Schaaf N.A., Cunningham A.M.G., Cluff B.P. et al. Cold-Active, Heterotrophic Bacteria from the Highly Oligotrophic Waters of Lake Vanda, Antarctica // *Microorganisms*. 2015. V. 3(3). P. 391–406.
4. Spiegel H.R., Prisco J.C. Evolution of temperature and salt structure of Lake Bonney, a chemically stratified Antarctic lake // *Hydrobiologia*. 1996. № 321. P. 177–190.
5. Краснова Е.Д. Озеро Кисло-Сладкое // *Путешествия по Киндо-мысу. Очерки о природе и науке Беломорской биологической станции Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.* Тула: Гриф и К, 2008. С. 85–89.
6. Егоров А.Н. Использование соленых озер России как альтернативных источников энергетических, биологических и минеральных ресурсов – залог устойчивого развития России. URL:<http://textarchive.ru/c-2412733-pall.html>.

Deep temperature maximum was recorded in many saline stratified lakes on the White Sea coast. Based on long-term and seasonal observations, included 275 hydrological stations, the mechanism of its occurrence and possible connection with the mass development of phytoplankton are discussed.

Краснова Е.Д.¹, Воронов Д.А.^{2,3}

(¹Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: e_d_krasnova@mail.ru; ²Институт проблем передачи информации РАН, Москва;

³Институт физико-химической биологии им. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва)

Подводное меромиктическое озеро в бухте Биофильтров (Белое море, Кандалакшский залив, окрестности Беломорской биостанции МГУ)

Krasnova E.D.¹, Voronov D.A.^{2,3}

(¹Biological Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow; ²A.Kharkevich

Institute for Information Transmission Problems of RAS, Moscow; ³A.N.Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology of Lomonosov Moscow State University, Moscow)

Underwater meromictic lake in the Bay of Biofilters (White Sea, Kandalaksha Bay, surroundings of the White Sea Biological Station of Moscow State University)

Ключевые слова: меромиктический водоем, ковшовая губа, аноксигенные фототрофные бактерии, бухта Биофильтров, Белое море

Летом 2019 г. при обследовании ковшовой бухты Биофильтров, расположенной в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ, было обнаружено подводное меромиктическое озеро с сероводородом в нижней 5 м и слоем розового цвета с пурпурными серными бактериями на глубине 9-9,5 м.

На Беломорской биостанции МГУ развернуты междисциплинарные исследования прибрежных стратифицированных лагунов. Эти водоемы возникли благодаря быстрому поднятию берега, которое началось после таяния ледника и продолжается до сих пор. От обычных морских заливов и пресноводных озер, в которые, в конечном счете, они превращаются, эти водоемы отличаются плотным градиентом в столбе воды, устойчивой вертикальной стратификацией и сероводородным придонным слоем [1].

В настоящее время известно более двух десятков водоемов, находящихся на разных стадиях изоляции от моря. На начальной стадии такой водоем представляет собой ковшовую губу. В числе ковшовых губ, которые удостоились внимания ученых – губа Долгая на Большом Соловецком острове [2], губа Лов [3], залив Бабые море [4], Палкина губа, Колвица [5], Канда. В ближайших окрестностях Беломорской биостанции МГУ тоже есть несколько ковшовых губ: Лобаниха (о. Великий, Кандалакшский государственный заповедник), кут губы Кислой [6]. Летом 2015 г. мы обследовали бухту Биофильтров, которую также нужно отнести к числу ковшовых.

Бухта Биофильтров расположена на южном берегу полуострова Киндо и обращена к Чернореченской губе. Координаты: 66°32' 20" N, 33°10' 10" E. В плане губа имеет треугольную форму с вершиной, вдающейся в материк на 300 м и широким выходом к морю (500 м). Губа не имеет сужения на выходе и не похожа на фиорд, а также не имеет отмели на выходе. Тем не менее – она ковшовая, поскольку параллельно скалистому восточному берегу на расстоянии около 50 м от него по дну проходит желоб глубиной 14–15 м, окруженный более мелким широким плато до 4–5 м глубиной.

Хотя бухта никак не изолирована от моря, в желобе сформировалась вертикальная стратификация, типичная для беломорских отделяющихся водоемов (рис.) с характерными для нее градиентами.

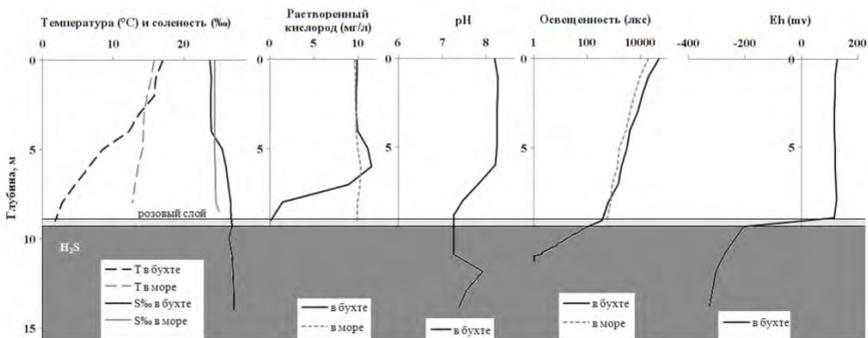


Рисунок. Профили физико-химических параметров в бухте Биофильтров 25 июля 2019 г.

Сравнивая профили физико-химических параметров в бухте и в открытом море, можно заметить, что различия касаются главным образом тех глубин, которые находятся ниже уровня порога. Соленость в верхних 4 м воды в бухте такая же, как в море, но ниже 4 м она повышается и возле дна превышает 27‰, что характерно для морских вод в зимнее время. Ниже 4 м в бухте расположен резкий термоклин, тогда как в море температура уменьшается ко дну незначительно и плавно. О том, что в желобе сохраняется зимняя вода, свидетельствует также ее температура: на глубине 9 м, до которой мог дотянуться кабель нашего зонда-кондуктометра, она составляла 1,8°C, и вполне вероятно, что шестью метрами ниже, возле дна, температура воды отрицательная.

Нижние 5,5 м желоба заражены сероводородом. Распространение кислорода ограничено глубиной 8 м, окислительно-восстановительный потенциал меняется с положительного на отрицательный между 8,7 и 8,8 м. Там же резко уменьшается освещенность, в результате чего в между 10 и 11

условия сильно затененные, а глубже 11 м свет не проникает вовсе.

Под пикноклином на глубине 6–8 м отмечено массовое развитие фитопланктона – мелких кокков с диаметром клеток около 2 мкм, более крупных кокков с диаметром 5–9 мкм и мелких зеленых жгутиконосцев. В зоне с обильным фитопланктоном повышена концентрация кислорода.

Ниже глубины 8 м начинался хемоклин – переходная зона между аэробными и анаэробными условиями, а граница перехода от окислительных условий к восстановительным маркирована прослойкой слабо-розового оттенка. 25 июля 2019 г. розовый слой располагался на глубине 9-9,5 м, его глубина менялась в зависимости от фазы приливо-отливного цикла, поскольку в прилив толща воды над ним увеличивается, а в отлив – уменьшается.

В архиве своих материалов мы нашли результаты съемки, сделанной в этой бухте ровно шесть лет назад – 24 июля 2013 г., тогда розовый слой был зарегистрирован на глубине 11 м, то есть граница сероводородного слоя была на два метра ниже. С чем связаны эти различия: с тем, что в 2013 году пробы отбирали при высоком стоянии воды, или это многолетняя динамика? Ответить на этот вопрос мы пока не можем, но понятно, что наблюдения нужно продолжать.

В меромиктических водоемах на границе аэробной и анаэробной зон, как правило, возникает прослойка с анкисигенными фототрофными бактериями. Во всех известных нам стратифицированных водоемах на побережье Белого моря этот слой образован зелеными серными бактериями *Chlorobium phaeovibrioides*. В одних водоемах хемоклин имеет зеленый цвет, если это зелено-окрашенная форма бактерий этого вида, в других – красноватый, если форма коричнево-окрашенная. В меромиктических озерах других географических районов красноватый цвет воды на границе анаэробной зоны нередко придают пурпурные серобактерии. В беломорских отделяющихся водоемах пурпурные серные бактерии всегда малочисленны и не вносят значимого вклада в сообщество и его окраску [7, 8, 9]. В беломорско-баренцевоморском регионе лишь в озере Могильном на о. Кильдин в Баренцевом море в начале XX века розовую прослойку создавали пурпурные бактерии, но и в нем с 1970-х годов доминируют зеленые серные бактерии.

В пробах из бухты Биофильтров обнаружены крупные бактериальные клетки (3-7 мкм) продолговатой формы с темными зернами внутри (по всей вероятности – серы), а также мелкие бактерии. Крупные клетки могут принадлежать пурпурным серным бактериям, тогда как мелкие могут быть как фототрофными, в том числе *Chlorobium*, размер которых обычно не превышает 1 мкм, так и гетеротрофными. В спектрах поглощения света есть отчетливое плечо в дальней красной области, которое может свидетельствовать о присутствии пурпурных серобактерий. В пробе с

глубины 9 м плечо в дальней красной области было выше, а на глубине 9,4 м оно было ниже, смещено в сторону меньших длин волн и по форме больше напоминало спектр поглощения света зелеными серными бактериями. Вполне вероятно, что на разной глубине доминируют разные фототрофные бактерии, и пурпурные как более устойчивые к присутствию небольшого количества кислорода занимают верхний этаж с положительным окислительно-восстановительным потенциалом, а строгие анаэробы *Chlorobium* – нижний, в зоне отрицательного Eh.

Обнаружив слой с серобактериями в хемоклине, мы нашли подтверждение гипотезе, которая была высказана шесть лет назад после того как подводный фотограф во время зимнего погружения обнаружил в придонном слое белый подводный «дым», о том, что белая взвесь – это сера, высвободившаяся из клеток серных бактерий после их гибели [10].

Бухта Биофильтров – первый в беломорском регионе водоем, в хемоклине которого доминируют пурпурные серные бактерии. Эта бухта дополняет ряд водоемов, в разной степени изолированных от Белого моря, самой ранней стадией, когда изоляции от моря еще нет, а есть только понижение донного рельефа. Прежде мы выявили закономерность о смене доминирующей формы анаэробных фототрофов в ходе прогрессирующей изоляции. Она начинается с коричневоокрашенных зеленых серных бактерий, характерных для водоемов, имеющих регулярную связь с морем, за ней следует стадия меромиктического озера с пресным миксолимнионом, в хемоклине которых доминирует зеленоокрашенная форма. Теперь этот ряд дополнен еще более ранней стадией с пурпурными серными бактериями.

Особенность беломорских ковшовых губ – наличие холодной водной массы, хранимой в донном понижении, где складываются условия для развития арктической фауны. Однако в бухте Биофильтров кислород до дна не доходит, и возникло сероводородное заражение. По предположению первых исследователей беломорских реликтовых водоемов, нарушение кислородного режима и появление сероводорода возникает при соотношении глубин порога и водоема не менее 1:12 [11]. В бухте Биофильтров это соотношение меньше (6:15), и повода для дефицита кислорода быть не должно. Почему в желобе застаивается и не обновляется зимой вода, чем, в этом отношении, бухта Биофильтров отличается от остальных ковшовых губ, пока остается загадкой.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 19-05-00377).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А. и др. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные

- исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов / Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. М.: Т-во научных изданий КМК Москва, 2016. С. 211–241.
2. Нинбург Е. А. Долгая губа: изоляция естественная и искусственная // Природа. 1990. № 7. С. 44–49.
 3. Наумов А.Д. Донная фауна губы Лов (Белое море, Кандалакшский залив) и ее особенности // Экология донного населения шельфовой зоны. М., 1979. С. 128–136.
 4. Наумов А.Д. Предварительные соображения о темпах водообмена Бабьего моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны. Геология, гидрология, биота: изменения на фоне трансгрессии берегов. Тр. Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2016. С. 67–73.
 5. Наумов А.Д., Бабков А.И., Федяков В.В. Биоценозы губы Колвица Кандалакшского залива Белого моря. // Экологические исследования донных организмов Белого моря. Л., 1986. С. 91–122.
 6. Столяров А. П., Мардашова М. В. Особенности структуры и разнообразие сообществ макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2017. Т. 122. № 3. С. 18–27.
 7. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Краснова Е.Д. и др. Сукцессионные процессы в сообществе аноксигенных фототрофных бактерий озера Кисло-Сладкое (Кандалакшский залив Белого моря) // Микробиология. 2016. Т. 85. №5. С. 531–544.
 8. Жильцова А.А., Харчева А.В., Краснова Е.Д. и др. 2018. Спектральное исследование зеленых серных бактерий в стратифицированных водоемах Кандалакшского залива Белого моря // Оптика атмосферы и океана. Т. 31. № 3. С. 233–239.
 9. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Бабенко В.В. и др. Сезонные изменения структуры сообщества аноксигенных фототрофных бактерий меромиктического озера Трехцветное (Кандалакшский залив Белого моря) // Микробиология. 2019. Т. 88. № 1. С. 100–115.
 10. Краснова Е.Д. Белые реки в Белом море // National Geographic Россия. 2013. № 6. С. 50.
 11. Гурвич Г.С., Соколова Е.В. К познанию реликтовых водоемов Белого моря. Труды ГГИ. 1939. Вып. 8. № 15. С. 142–163.

Underwater meromictic lake with hydrogen sulfide in the lower 5 m of depth and a pink layer with purple sulfur bacteria at a depth of 9-9.5 m was discovered in the bottom depression of the bay of Biofilters in vicinity of the White Sea Biological Station of Moscow State University in summer 2019.

Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М.

(Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова РАН, г. Архангельск, e-mail: glosyuk@yandex.ru)

Геохимия серы в озере Трехцветном (Кандалакшский залив Белого моря)

Losyuk G.N., Kokryatskaya N.M.

(N.Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk)

The geochemical cycle in the Lake Trekhtzvetnoe

Ключевые слова: сероводород, процесс сульфатредукции, стратифицированное озеро, донные отложения.

В отделившемся от Белого моря меромиктическом озере Трехцветном продолжены исследования химических параметров процесса анаэробного восстановления сульфатов (сульфатредукция) в воде и донных отложениях. В придонном анаэробном слое интенсивно протекает процесс сульфатредукции с накоплением огромных количеств сероводорода. В донных осадках процесс протекает с накоплением восстановленных форм серы.

Меромиктические водоемы – озера, не перемешивающиеся в течение всего года, представляют собой объект повышенного интереса исследователей. В водной толще таких акваторий формируются уникальные гидрохимические условия, которые способствуют развитию различных микробиологических сообществ. В придонных горизонтах с анаэробными условиями активно протекает процесс бактериального восстановления сульфатов (сульфатредукция) и идет накопление токсичного для гидробионтов сероводорода. Этот процесс продолжается и в донных осадках с накоплением восстановленных форм серы – производных бактериального сероводорода.

Озеро Трехцветное (Пеккелинская губа Кандалакшского залива Белого моря) по результатам многолетних наблюдений считается меромиктическим водоемом, полностью утратившим связь с морем в результате поднятия Кольского берега Белого моря. Ранее уже были получены первые результаты исследования биогеохимического цикла серы в воде и донных осадках водоема [1-3]. Озеро Трехцветное является уникальным объектом, в результате проведенных исследований получены интересные микробиологические и гидрохимические результаты, поэтому исследования были продолжены и получены новые сведения о химических параметрах процесса сульфатредукции в воде и донных осадках водоема.

Для изучения процесса сульфатредукции в озере Трехцветное были отобраны пробы воды и донных отложений. Вода с разных горизонтов отбиралась погружным насосом Mini Purger WP 4012 и горизонтальным

поликarbonатным батометром (с марта 2018 г.). Сероводород определялся фотометрическим методом по РД 52.24.450-2010 на фотометре Эксперт 003 и йодометрическим методом по РД 52.10.742-2010. Пробы воды с высоким содержанием сероводорода были отобраны с разбавлением дистиллированной водой при отборе и анализировались обоими методами [4]. Донные отложения были отобраны в марте 2019 г. ударной прямоточной трубкой в наиболее глубокой части озера и анализировались по методике [5].

В результате проведенных ранее исследований по изучению озер, находящихся на разной стадии отделения от Белого моря, на базе Беломорской биологической станции МГУ им. М.В. Ломоносова, начиная с 2012 года, получены сведения о стабильной (меромиктической) гидрохимической структуре озера Трехцветное в течение года и на протяжении всего периода наблюдений [1,6]. В озере выделяется верхний опресненный слой до глубины около двух метров – миксолимнион, далее идет эпилимнион с хемо- и галоклином и монимолимнион с анаэробными условиями и высоким содержанием сероводорода.

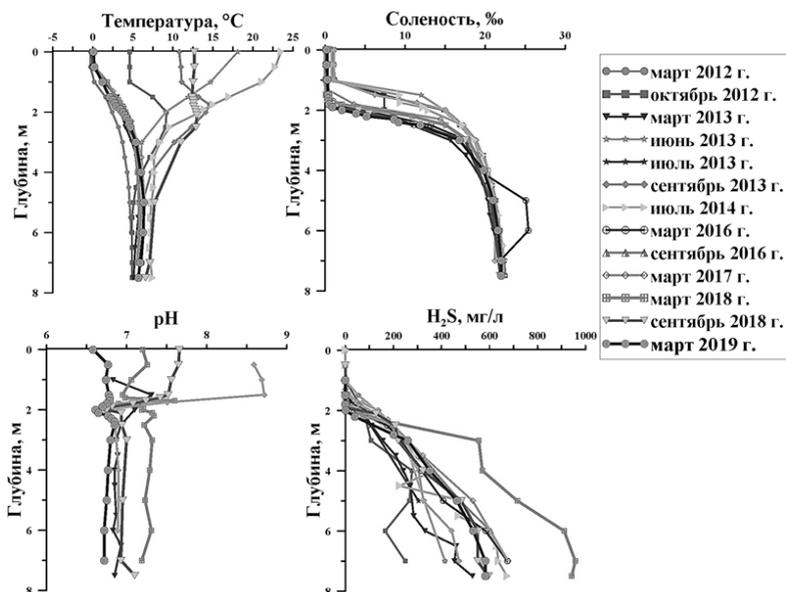


Рисунок 1. Гидрологические показатели в озере Трехцветное.

Концентрации сероводорода достигают огромных значений в придонном горизонте (рис. 1) (~ 600 мг/л). Такое большое количество сероводорода было определено на протяжении всего времени исследования. Чтобы исключить ошибки при определении столь высоких концентраций сероводорода

анализ проводили параллельно фотометрическим и йодометрическим методами. Кроме того, параллельно были отобраны пробы с разбавлением дистиллированной водой при отборе на анализ фотометрическим и йодометрическим методом. В результате были получены близкие результаты. Таким образом, было подтверждено определение больших количеств сероводорода. Профили распределения гидрологических параметров (рН, температура и соленость) характерны для меромиктических водоемов: изменения зарегистрированы только в верхних горизонтах (миксолимнионе), в мнимолимнионе значения показателей остаются неизменными (рис. 1).

Процесс сульфатредукции продолжается и в донных осадках озера. В донных отложениях, отобранных для анализа, было определено содержание восстановленных форм серы (рис. 2), представляющих собой продукты трансформации бактериального сероводорода [7]. В результате исследования получено, что количество моносльфидной серы (S^{2-}) незначительно увеличивается на глубине 15 - 30 см (до 0.04 %). Значения концентраций пиритной серы ($S_{\text{пир}}$) увеличиваются от верхних слоев до горизонта 15–20 см (0.28 %), ниже этого слоя уменьшается до 0.15 %. Содержание органической ($S_{\text{орг}}$) и элементной (S^0) серы максимально в поверхностных слоях осадков (0.18 % и 0.40 % соответственно).

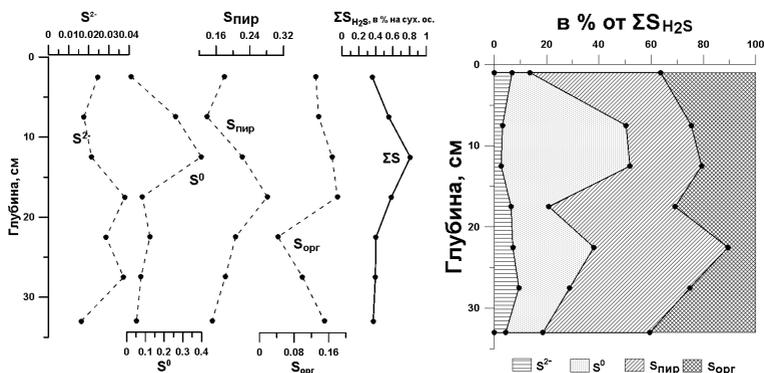


Рисунок 2. Распределение восстановленных форм серы в донных осадках озера Трехцветное

Общее содержание восстановленной серы (ΣS_{H_2S}) в осадках озера Трехцветного изменялось от 0.36 до 0.81 %, составляя в среднем 0.50 %. Наиболее высокие значения ΣS_{H_2S} отмечены на горизонте 15 см и обусловлены максимальным накоплением элементной серы, образование которой возможно только при окислении сероводорода.

Наибольший вклад в формирование ΣS_{H_2S} вносят пиритная и элементная формы в верхних слоях донных осадков, и пиритная и органическая формы в нижних.

По сравнению с результатами, полученными в результате отбора проб донных осадков в марте 2013 года и проанализированных по той же методике, получены схожие данные в распределении форм восстановленной серы по глубине отложений. Максимальное содержание общей восстановленной серы в пробах 2019 г. было определено немного выше (10–15 см вместо 15–20 см) и меньше почти в два раза (0.81 % в марте 2019 г. и 1.92 % в марте 2013 г.). Концентрации различных соединений форм серы в абсолютных значениях значительно изменились: количество сульфидной и элементной серы выросло до 0.04 % (было 0.02 %) и 0.40 % (вместо 0.21 %) соответственно, содержание пиритной и органической форм значительно уменьшилось (максимальные концентрации $S_{\text{пир}}$ в марте 2019 г. около 0.28 %, в 2013 г. 1.59 %, $S_{\text{орг}}$ в 2019 г. 0.18 % и 0.31 % в 2013 г.).

Также изменилось и распределение вклада каждой формы восстановленной серы в общее содержание. Если в распределении 2013 г. наибольший вклад вносила пиритная форма (на глубине 35 см более 90 %), то в отборе 2019 г. распределение по глубине различных форм серы примерно равномерное: небольшое уменьшение количество элементной серы по глубине, около 80 % приходится на пиритную и органическую серу.

Таким образом, в меромиктическом озере Трехцветном в придонном горизонте воды идет образование и накопление значительных количеств сероводорода, концентрации которого больше, чем в других водоемах с анаэробными условиями (например, в Черном море и озере Могильное). Также процесс сульфатредукции интенсивно протекает и в донных осадках озера, где идет накопление восстановленных форм серы. По результатам анализа проб донных осадков, отобранных в марте 2019 г., получены профили распределения форм восстановленной серы схожие с полученными ранее (при анализе проб, отобранных в марте 2013 г.). Меньшие значения общего содержания восстановленной серы в осадках 2019 года и различие вклада отдельных форм в суммарное содержание могут быть связаны как с особенностями протекающих биогеохимических процессов, так и с пятнистостью отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М. Химические параметры процесса сульфатредукции в озере Трехцветном (Кандалакшский залив Белого моря) // Материалы XXII международной научной конференции (Школы) по морской геологии «Геология морей и океанов», 20–24 ноября 2017 г., Москва. М.: ГЕОС, 2017. Т.3. С. 223–226.
2. Васильчук Ю.К., Фролова Н.Л., Краснова Е.Д. и др. Изотопно-геохимический состав воды в меромиктическом озере Трёхцветном на Беломорском побережье // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 5. С. 555–566.

3. Savvichev A.S., Babenko V.V., Lunina O.N. et al. Sharp water column stratification with an extremely dense microbial population in a small meromictic lake, Trekhtzvetnoe. // *Environmental Microbiology*, 2018. V.20 (10). P. 3784–3797. doi:10.1111/1462-2920.14384.
4. Дубинин А.В., Демидова Т.П., Кременецкий В.В. и др. Определение восстановленных форм серы в анаэробной зоне Черного моря: сравнение методов спектрофотометрии и иодометрии // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 2. С. 200–209.
5. Волков И.И., Жабина Н.Н. Методы определения различных соединений серы в морских осадках // *Химический анализ морских осадков* / Под ред. Э.А. Остроумова. М.: Наука, 1980. С. 5–27.
6. Krasnova E., Matorin D., Belevich T. et al. The characteristic pattern of multiple colored layers in coastal stratified lakes in the process of separation from the White Sea // *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 2018. V. 6. P. 1.
7. Волков И.И. *Геохимия серы в осадках океана*. М.: Наука, 1984. 272 с.

The chemical parameters of the process of anaerobic sulfate reduction in water and bottom sediments were continued in the meromictic Lake Trekhtzvetnoe which separated from the White Sea. The sulfate reduction process proceeds intensively with the accumulation of huge quantities of hydrogen sulfide in the bottom anaerobic layer. The accumulation of reduced forms of sulfur is in the bottom sediments. The process is the accumulation of reduced forms of sulfur in sediments.

**Лосюк Г.Н.¹, Кокрятская Н.М.¹, Василенко А.Н.²,
Воронов Д.А.^{3,4}, Ефимов В.А.², Краснова Е.Д.⁵**

(¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова РАН, г. Архангельск, e-mail: glosyuk@yandex.ru; ²Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва; ³Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва; ⁴Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва; ⁵Беломорская биологическая станция Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва)

**Прогрессирующее сероводородное заражение озера
Могильного по данным экспедиции 2019 года**

**Losyuk G.N.¹, Kokryatskaya N.M.¹, Vasilenko A.N.²,
Voronov D.A.^{3,4}, Efimov V.A.², Krasnova E.D.⁵**

(¹N.Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk; ²M.V. Lomonosov Moscow State Universities, Moscow; ³Kharkevich Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow; ⁴Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Moscow State Universities, Moscow; ⁵Pertsov White Sea Biological Station, Moscow State Universities, Moscow)

**Progressive hydrogen sulphide contamination of Lake
Mogilnoe according to the expedition in 2019**

Ключевые слова: меромиктическое озеро, сероводород, процесс сульфатредукции.

Получены новые сведения о сероводородном заражении придонного анаэробного слоя меромиктического озера Могильное (о. Кильдин Баренцево море). Показано поднятие границы распределения токсичного для живых существ сероводорода по сравнению с предыдущими исследованиями реликтового водоема.

Озеро Могильное (о. Кильдин Баренцево море) – уникальный гидрологический памятник природы федерального значения; служит местом обитания кильдинской трески – особого подвида атлантической трески, который образовался в оз. Могильном в результате изоляции. Согласно классическим представлениям, которые сформировались в конце XIX - начале XX веков, это меромиктическое озеро, для которого характерно наличие трех основных слоев: пресного верхнего, морского посередине и сероводородного возле дна. Начиная со второй половины XX века, в водоеме замечен тревожный тренд изменений в гидрологической системе. Поверхностный слой истончается и становится более соленым, а сероводород поднимается все выше. Цель данной работы – определение современной границы распространения сероводорода и его концентрации на разной глубине.

Из меромиктических озер России Могильное имеет самую большую историю изучения. Первые сведения о водоеме были получены еще в 1887 г. в ходе зоологических исследований в Баренцевом море С.М. Герценштейна. Позже исследования на озере проводили Н.М. Книпович, К.М. Дерюгин и др. [1–3]. Во второй половине XX века было замечено, что граница сероводородного слоя поднимается, в 1998-99 гг. впервые были зарегистрированы значения концентрации H_2S более 50 мг/л, и вода с такими характеристиками заполняла половину глубины сероводородного слоя.

В 2018–2019 гг. исследования оз. Могильного были продолжены в комплексных экспедициях, поддержанных Русским географическим обществом в рамках проекта: «Колыбельная трескового озера. Документация экосистемы оз. Могильного (о. Кильдин, Баренцево море)».

Для определения содержания растворенных сульфидов в озере Могильном были отобраны пробы с разных горизонтов в наиболее глубокой части водоема погружным насосом с размеченным проводом в 2018 г. и горизонтальным поликарбонатным батометром в июне 2019 г. Сероводород определяли фотометрическим методом по РД 52.24.450-2010 на фотометре Эксперт 003. Пробы воды с высоким содержанием сероводорода были отобраны с разбавлением дистиллированной водой при отборе [4].

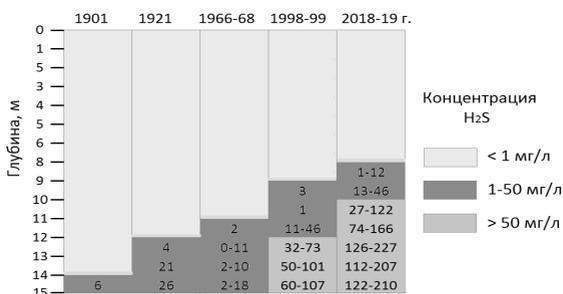


Рисунок 1. Результаты определений сероводорода в озере Могильном за весь период его исследований.

Для отслеживания динамики распределения сероводородных вод по толще вод озера были выделены три зоны: 1) верхняя с концентрациями сероводорода от аналитического нуля до следовых количеств (меньше 1 мг/л); 2) средняя с концентрацией от 1 до 50 мг/л и 3) нижняя, больше 50 мг/л (ис. 1). В течение периода исследований 2018–2019 гг. наиболее стабильной была граница между второй и третьей зонами. Положение между первой и второй в значительной мере зависит от сезона – осенью эта граница ниже, чем летом.

В ходе наших исследований были отмечены различия в концентрациях сероводорода в придонных горизонтах между 2018 и 2019 гг. – 140 и 200 мг/л соответственно. Возможно, они связаны с тем, что в июне 2019 г. аналитические определения были выполнены на месте отбора проб, что позволило избежать потери анализируемого вещества, а в 2018 г. зафиксированные пробы были проанализированы позже. Однако не исключено, что они отражают сезонную динамику. В зимнее время в известных нам аналогичных водоемах граница сероводорода обычно поднимается; согласно монографии [3] это справедливо и для оз. Могильного – весной 1999 г. подо льдом концентрации сероводорода больше 1 мг/л начинались с глубины 7–8 м, хотя летом того же года – только с 9 м. Скорее всего, и в июне 2019 г. граница распространения сероводорода могла не успеть опуститься после подъема к поверхности зимой. А несколько меньшие данные 2018 года получены в конце лета.

Также мы попытались отследить изменение положения границы сероводородной зоны с начала прошлого века до наших дней (Рис. 1). В 1901 году граница сероводорода находилась между 13 и 14 м и под ней концентрация была невысокой; в 1921 г. граница поднялась к 11–12 м, концентрация сероводорода в придонном слое существенно увеличилась; в 1966–68 гг. опубликованные значения концентрации были незначительно ниже, а граница поднялась еще на 1 м; в 1998–99 гг. впервые были зарегистрированы значения более 50 мг/л, вода с такими характеристиками заполняла половину глубины сероводородного слоя. И, наконец, в 2018–19 гг. сероводород распространился до глубины 8 м, а зона с высоким его содержанием расширилась вплоть до глубины 10 м.

Таким образом, за период с 1901 г. наблюдается прогрессирующее сероводородное заражение озера Могильного, которое выражается в увеличении его концентрации в придонной зоне (максимальная концентрация в июне 2019 г. – 210 мг/л) и подъеме границы его распространения.

Работа поддержана Русским Географическим обществом (проект «Колыбельная трескового озера. Документация экосистемы озера Могильного (о. Кильдин, Баренцево море)» № 13/2018-Р и РФФИ (грант №19-05-00377).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерюгин К.М. Реликтовое озеро Могильное (остров Кильдин в Баренцовом море) // Труды Петергофского естественно-научного института. Л., 1925. № 2.
2. Реликтовое озеро Могильное / Ред. Гуревич В.И., Цееб Р.Я. Л.: Наука, 1975, 298 с.
3. Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997–2000 гг.). Мурманск: Изд-во. ПИНРО, 2002. 164 с.

4. Дубинин А.В., Демидова Т.П., Кременецкий В.В. и др. Определение восстановленных форм серы в анаэробной зоне Черного моря: сравнение методов спектрофотометрии и иодометрии // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 2. С. 200–209.

New information has been obtained on hydrogen sulphide contamination of the bottom anaerobic layer in the meromictic Lake Mogilnoe (Kildin Island, Barents Sea). An increase in the distribution boundary of hydrogen sulfide-toxic for living creatures is shown in comparison with previous studies of a relict reservoir.

Лохов А.С.¹, Мискевич И.В.¹

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Архангельск, e-mail: a.s.lohov@yandex.ru)

Моделирование аварийных разливов нефти в зонах приливных осушек Белого моря

Lokhov A.S.¹, Miskevich I.V.¹

(¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk)

Oil spill modeling in the foreshore area of White Sea

Ключевые слова: разлив нефти, приливные осушки, Белое море.

В статье рассмотрен случай аварийного разлива нефти на обезвоженной осушке с последующим смывом пятна приливной волной. Проведен натурный эксперимент имитирующий разлив нефти в Кяндской губе Онежского залива Белого моря. Предложен подход к оценке масштабов загрязнения на основе синтеза двух математических моделей.

Акватория Белого моря в настоящее время является районом активного судоходства. В связи с этим всегда существует вероятность возникновения разливов нефти. Для их предотвращения, ликвидации и следственно сохранения экосистем моря, важно знать возможные негативные последствия разливов. Оценка и прогнозирование их масштабов требуют обязательного учета специфики природных условий.

Одной из специфических черт рассматриваемого района является наличие приливо-отливных явлений, средняя величина прилива в северной части Белого моря может достигать от 2 до 6 м. В Двинском заливе она составляет в среднем 1 м, тогда как в Онежском – 1-3 м. Следствием этого является наличие приливных осушек большой площади в особенности в устьях рек. Разлив нефти в данной области одновременно загрязняет морские воды, берега, донные осадки. Также разливы тяжелых нефтей и нефтепродуктов могут служить источником вторичного загрязнения.

В данной статье рассмотрен сценарий разлива нефти на приливной осушке одной из рек Белого моря. Наиболее вероятным является разлив нефти при посадке судна на мель в зоне осушки в фазу прилива и последующим его повреждением. Данный сценарий является наиболее сложным с точки зрения моделирования – на обезвоженном участке приливной осушки с её последующим затоплением.

С целью выбора места проведения эксперимента, были выполнены исследования на р. Северная Двина, в рамках экспедиционной деятельности Северо-Западного Отделения ИО РАН [1]. Подходящих осушек на ней найти не удалось, ввиду относительно небольшой величины приливов и большого

количества растительности. Поэтому для эксперимента была выбрана река Кянда в Онежском заливе Белого моря [2, 3]. Величина прилива в устье этой реки составляет 2–3 м, благодаря этому образуются достаточно обширные осушки с илистыми, илисто-глинистыми и песчаными отложениями. Исходя из этого, было выбрано наиболее ровное место на песчаной осушке, с отсутствующей растительностью на устьевом взморье реки Кянда, в точке с координатами $64^{\circ}16,637'$ с.ш. $37^{\circ}58,458'$ в.д. (рис. 1).

Провести эксперимент в природных условиях с разливом нефти, не нанеся реального ущерба, практически невозможно. Для решения этой задачи авторы симитировали реальный разлив нефти с близкой по характеристикам, и в тоже время менее токсичной жидкостью – растительным маслом. Измерения физических характеристик одного из сортов подсолнечного масла показали: его плотность при 20° составляет 920 кг/м^3 , вязкость – $72,7 \text{ сСт}$ что соответствует сырой нефти средней тяжести.



Рисунок 1. Фотография участка, на котором проводился эксперимент.

Для численной оценки масштабов распространения нефтяного пятна на обезвоженном участке можно использовать разработанную в Северо-Западном отделении Института океанологии РАН (СЗО ИО РАН) модель распространения нефти на поверхности суши [4, 5]. Данная модель модифицирована с учетом процессов растекания нефти по поверхности, её просачивания в почву и грунт, и испарения в атмосферу. Она основана на уравнении диффузионных волн, законе Дарси, и полученном эмпирическом законе испарения нефти [6].

Процесс растекания по поверхности определяется рельефом местности, шероховатостью почвенного покрова, типом растительности, а так же вязкостью нефти. На просачивание нефти, помимо её физико-химических свойств, влияет пористость и обводнённость грунта. Испарение, в свою очередь, определяется климатическими параметрами среды и фракционным составом нефти [7].

Для моделирования поведения нефти на фазе прилива, можно воспользоваться моделью радиально-симметричной диффузии примеси, модифицированной в Государственном океанографическом институте (ГОИН) для расчета рассеивания взвесей при операциях дампинга грунта [8, 9].

В ходе проведения эксперимента было разлито 10 литров растительного масла за 6 минут 30 секунд, исходя из этого, расход источника равен $2,56 \times 10^{-5}$ м³/с. Общее время наблюдения составило 2 часа 20 минут. Через 30 минут площадь пятна составляла порядка 5 м². И в последующие 2 часа оставалась практически неизменна.

В таблице 1 представлены результаты сравнения площадей разлива в случае натурального эксперимента с объемом флюида 10 л и модельных расчетов для объемов 10 и 20 л. Площади загрязнения приведены для трех промежутков времени, до начала прилива.

Таблица 1. Результаты расчета разливов флюида на обезвоженном участке, объемами 10 и 20 литров

Эксперимент	Объем разлившегося флюида, л	Площадь разлива спустя		
		10 мин, м ²	30 мин, м ²	2 ч., м ²
Натурный	10	2,3	5	5
Вычислительный	10	2,7	3,8	4,7
	20	4,3	6,4	8,6

Как видно из таблицы, различия между результатами модельного расчета и эксперимента имеют место, однако их можно считать не существенными. Они могут быть объяснены следующими фактами, вода с приливной осушки уходит медленно и при смешивании воды с маслом образуется эмульсия, которая может увеличить дальность растекания пятна. Помимо этого, в ходе эксперимента образовался микроручеек, и часть масла вместе с ним переместилась на расстояние порядка 5 метров. Учитывать это явление в модели нецелесообразно, так как при изменении масштабов разлива объем нефти, утекшей таким образом, будет незначительным относительно общего объема разлива.

В таблице 2 представлены результаты расчетов распространения нефтяного пятна в фазу прилива. Начальными условиями в данном случае служат результаты, полученные в ходе моделирования на обезвоженном участке (табл. 1). Нефтяное пятно со сверхнормативным содержанием углеводородов, распространится на расстояние до двух километров в фазу прилива, что в случае с рекой Кянда не нанесет значительного ущерба, так как вся хозяйственная деятельность в этом районе сосредоточена выше по течению.

Необходимо отметить, что в рассмотренных сценариях по масштабам распространения загрязнения дана «оценка сверху». Тем самым в модели не учтены процессы самоочищения и сбор нефти во время аварии. Например, в эстуарии реки Кянда существуют обильные заросли галофитных растений, которые могут задерживать часть разлитой нефти с последующей её

биодegradацией. Определить степень загрязнения данных территорий возможно при помощи анализа численности некоторых видов моллюсков [10].

Таблица 2. Характеристика параметров рассеивания пятна загрязненной бензином воды в устье р. Кянды в фазу прилива

Параметр	Сценарии разлива бензина	
	На нижней границе осушки при малой воде	На середине осушки при малой воде
Объем 10 литров		
Дальность переноса пятна, $L_{пр}$, м	1043	1361
Макс. площадь дна над которым проходит загрязненная вода, $S_{пр}$, м ²	48080	61615
Загрязненный объем воды, $W_{пр}$, м ³	96160	61615
Объем 20 литров		
Дальность переноса пятна, $L_{пр}$, м	1451	1840
Макс. площадь дна над которым проходит загрязненная вода, $S_{пр}$, м ²	67582	115319
Загрязненный объем воды, $W_{пр}$, м ³	135164	115319

Предложенный подход на основе синтеза двух математических моделей, ввиду отсутствия отработанных схем для получения оценок масштабов загрязнения нефтью при аварийных разливах, может использоваться для решения ряда прикладных задач. Например, для планирования действия по ликвидации последствий аварии или выбора месторасположения различных объектов транспортной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лещев А.В., Хоменко Г.Д., Коробов В.Б. и др. Экспедиционные работы в устьевой области реки Северной Двины в марте 2014 г. // Океанология. 2015. Т. 55. № 2. С. 348–350.
- 2 Лещёв А.В., Коробов В.Б., Федоров Ю.А. и др. Первые комплексные исследования реки Кянда и ее маргинального фильтра, Онежский залив Белого моря (22 июля–3 августа 2014 г.) // Океанология. 2015. Т. 55. № 5. С. 850–851.
- 3 Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б. и др. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря

- (28 июля-15 августа 2016 г.) // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 3. С. 369–373.
- 4 Лохов А.С. Расчет площади аварийного разлива нефти на суше для некоторых типов грунтов. // *Проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктических Территорий России: материалы научной конференции студентов и аспирантов высшей школы энергетики, нефти и газа* (апрель 2019 г.). Архангельск: САФУ, 2019. Вып. 2. С. 66–70.
 - 5 Лохов А.С., Мискевич И.В. Моделирование поведения разлитой нефти в зонах приливной осушки морей западного сектора Российской Арктики // *Проблемы региональной экологии*. 2019. № 1. С. 56–64.
 - 6 Губайдуллин М.Г., Лохов А.С., Коробов В.Б., Тарасова Г.М. Экспериментальное исследование испаряемости нефти с целью моделирования загрязнения природной среды при разливах на земную поверхность в Арктике // *Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов*. 2016. № 4(106). С. 137–145.
 - 7 Губайдуллин М.Г., Ёстбёл Х., Золотухин А.Б. и др. Моделирование разливов нефти в западном секторе Российской Арктики. Архангельск: САФУ, 2016. 219 с.
 - 8 Гончаров А.А., Кравчук М.А., Цветинский А.С. Оперативный метод расчета распространения взвеси в районе дампинга грунтов в приливном море // *Труды ГОИН*. 1984. Вып. 174. С. 98–107.
 - 9 Мискевич И.В. Оценка возможных масштабов загрязнения аварийной нефтью мезо-макроприливных устьев рек Белого моря // *Проблемы региональной экологии*. 2015. № 1. С. 26–31.
 - 10 Махнович Н.М. Исследование *Dreissena Polymorpha* (Pallas, 1771) как объекта биомониторинга в устье реки Северная Двина // *Проблемы региональной экологии*. 2016. № 1. С. 39–43.

Authors proposed an approach to the assessment of possible environmental damage from oil spills in foreshore area in the ice free season. This approach is based on synthesis of two mathematical models: the first is the model of oil spreading at land surface; the second is the model of additives diffusion in the water. This method explained on the most likely cases of possible oil spills in the Kyanda bay of the White Sea.

Махнович Н.М.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Архангельск, e-mail: nmakhnovich@yandex.ru)

Пространственное распределение макрозообентоса на осушках устья реки Тамицы (бассейн Белого моря)

Makhnovich N.M.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Arkhangelsk)

Spatial distribution of macrozoobenthos on the drying zone of the Tamitsa estuary (White Sea basin)

Ключевые слова: приливы, осушка, зообентос, распределение, Белое море, устье, река Тамица

В работе представлены результаты изучения пространственного распределения макрозообентоса осушаемых зон в мезоприливном эстуарии реки Тамица. Отмечены низкие показатели численности и биомассы донных животных на участке фронтального раздела между речными и морскими водами. Этот эффект объясняется высокой сезонной и приливной изменчивостью солёности на данном участке.

Река Тамица, как и многие реки Онежского залива, относится к водотокам с мезоприливым эстуарием, в котором величина сизигийного прилива колеблется в интервале 1,6–2,8 м [3]. Здесь формируются обширные приливные осушки, являющиеся зонами активных геохимических и гидробиологических процессов. В то же время эти участки наиболее уязвимы при аварийных разливах нефти [1]. Для оценки негативных последствий загрязнения эстуариев нефтью и нефтепродуктами крайне важно знать особенности пространственного распределения на их осушках сообществ донных беспозвоночных.

Северо-западным отделением ИО РАН в июне 2018 г. были организованы исследования устьевой области реки Тамицы, состоящей из полузакрытого устьевого взморья, протяженность которого по фарватеру составляет 2 км и однорукавного устьевого участка протяженностью около 2,5 км и шириной 50–100 м. Ширина приливной осушки на устьевом взморье достигает 500–700 м, на устьевом участке реки она обычно колеблется в интервале 8–30 м, уменьшаясь до 1 м вблизи речной границы устьевой области реки.

Спецификой устьевого взморья реки является значительное превышение ширины приливной осушки над шириной русла устьевого водотока в малую воду приливного цикла. В подобной ситуации донные биоценозы испытывают периодическое осыхание и подвергаются воздействию устьевых вод различной минерализации.

Пробы макрозообентоса были отобраны в нижней части осушек на малой воде приливного цикла практически на всём протяжении устья р.

Тамицы. На устьевом участке реки донные отложения исследуемой части осушки преимущественно представлены илами и песком с наилком, включая примеси гальки, камней и обломков раковин моллюсков, на устьевом взморье – крупнозернистым песком.

Отбор гидробиологического материала производился по общепринятым методикам [4]. Применяли рамку со сторонами 50×50 см, ограничивающую исследуемое место осушки площадью 0,25 м². В пределах ограниченного рамкой пространства крупных животных выбирали вручную. Поверхностный слой грунта промывали через сито с размером отверстий 1 мм. Полученный материал просчитывали на месте, обнаруженных животных фиксировали 70% спиртом. В местах отбора проб отмечался характер донных отложений. При обработке материалов обнаруженные организмы определяли до вида или более крупных таксонов, также находили численность и биомассу гидробионтов. Вес донных животных определяли в лаборатории на аналитических весах *Adventurer Ohaus RV214*.

Всего за период исследования было обнаружено шесть представителей бентофауны, среди которых два вида полихет, один вид моллюсков, один вид ракообразных и два вида двукрылых. Встреченные организмы относились к трем типам (кольчатые черви *Annelida*, моллюски *Mollusca*, членистоногие *Arthropoda*) и четырем классам (многощетинковые черви *Polychaeta*, двустворки *Bivalvia*, ракообразные *Crustacea* и насекомые *Insecta*). Количественные параметры макрозообентоса отражены в таблице 1.

Состав макрозообентоса исследованных приливных осушек был неоднороден, количественные и качественные показатели развития донных беспозвоночных на разных участках различны, что связано с изменением условий обитания по акватории устьевой области р. Тамицы. На характер донных сообществ в первую очередь влияет такой фактор, как соленость и ее приливные (полусуточные и суточные) колебания.

Особенностью исследованного участка реки является то, что наибольшее видовое разнообразие и наиболее высокие показатели численности и биомассы выявлены на станциях, расположенных около морской и речной границ устьевой области р. Тамицы (термохалинная изменчивость устьевых вод сглаженная).

Таблица 1. Состав, численность (N, экз/м²), биомасса (B, г/м²) и число видов (n) зообентосных организмов в устьевой области р. Тамица

№ станции	<i>Polychaeta</i>			<i>Bivalvia</i>			<i>Crustacea</i>			<i>Insecta</i>		
	N	B	n	N	B	n	N	B	n	N	B	n
1m	16	13,01	2	4	1,69	1	4	0,14	1	-	-	-
2m	4	3,25	1	8	2,86	1	-	-	-	-	-	-
4m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	184	0,85	2

Примечание – на станции 3m макрозообентос не обнаружен

Из таблицы следует, что по отдельным станциям численность и биомасса бентосных организмов неоднородны и сильно отличаются. На всех станциях отбора проб отмечено невысокое биоразнообразие макрозообентоса.

Станция 1м. Эта станция располагалась на морской границе устья р. Тамицы. Грунт на этом участке эстуария представляет собой песок с наилком, под которым залегает слой ила, в отдельных местах – с наличием раковин моллюсков. Типичный биоценоз на этом участке эстуария представлен литоралобиионтами *Arenicola marina* + *Macoma balthica* (табл. 2). Всего на этой станции были обнаружены 4 вида донных гидробионтов. Наибольшее представительство имели полихеты – 2 вида. Также был обнаружен 1 вид моллюсков и 1 вид ракообразных. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 24 экз./м² и биомасса – 14,84 г/м².

Станция 2м. Станция 2м располагалась на створе 2 км выше морской границы устья реки. Грунты на этой станции представлены крупнозернистым песком с примесью мелкого галечника. Здесь был зарегистрирован биоценоз *Polychaeta sp.* + *Macoma balthica*. В видовом отношении 50 % приходится на долю полихет и 50% на долю моллюсков. Плотность бентоса составила 12 экз./м² и биомасса – 6,11 г/м².

Станция 3м. Эта станция располагалась на створе 4 км выше морской границы устья реки. Грунты на данном участке эстуария представлены мелкозернистым песком и илом. В гидробиологических пробах отсутствовали представители макрозообентоса.

Станция 4м. Это станция наиболее близко расположена к речной границе устьевой области реки. Донные отложения осушки представлены наилком с мелкозернистым песком с примесью мелких камней и остатков гниющей растительности. На этом участке в донных отложениях обнаружены представители двух видов, относящихся к отряду *Diptera* – личинки *Chironomidae* и *Tabanus sp.* Численность этих животных составила 184 экз./м², биомасса – 0,85 г/м².

Таблица 2. Видовой состав бентофауны устьевой области реки Тамица на станциях отбора проб

Виды	Номера станций		
	1м	2м	4м
Тип <i>Annelida</i> , класс <i>Polychaeta</i>			
1. <i>Ophelia limacine</i> (Rathke, 1843)	+		
2. <i>Arenicola marina</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	
Тип <i>Mollusca</i> , класс <i>Bivalvia</i>			
3. <i>Macoma balthica</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	
Тип <i>Arthropoda</i> , класс <i>Crustacea</i>			
4. Вид <i>Amphipoda sp.</i>	+		
Тип <i>Arthropoda</i> , класс <i>Insecta</i>			
5. <i>Chironomidae sp.</i>			+
6. <i>Tabanus sp.</i>			+

В целом донная фауна приливных осушек устья реки Тамица бедна, отличается пространственной неоднородностью и сравнительно низкими численностью и биомассой. Наиболее часто встречаемыми видами в таких зонах оказались моллюск *Macoma balthica* и полихета *Arenicola marina*.

В районе станции 3м исчезновение представителей макрозообентоса на осушке можно связать с наличием высокой короткопериодной и сезонной приливной изменчивостью температуры и солености воды. Проведенные исследования летом 2014 и 2015 гг. в устьевых областях рек Кянда и Ухта соответственно выявили схожую закономерность в пространственном распределении макрозообентоса. Биомасса и численность донных беспозвоночных на всех трех реках возрастают на морской и речной границах устьевых областей, где короткопериодная изменчивость гидрологических параметров выражена сравнительно слабо [2].

Таким образом, на приливных осушках реки Тамицы нами отмечены зоны с низкими показателями численности, биомассы и биоразнообразия зообентоса. Локализация таких зон приурочена к участкам эстуария, в которых наблюдается высокая короткопериодная изменчивость гидрологических и гидрохимических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лохов А.С., Мискевич И.В. Моделирование поведения разлитой нефти в зонах приливной осушки морей западного сектора Российской Арктики // Проблемы региональной экологии. 2019. № 1. С. 56–64.
2. Махнович Н.М., Мискевич И.В. Особенности пространственного распределения бентоса на осушках мезоприливных устьев рек Белого моря на примере устья р. Кянды // Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. 2015. С. 235–239.
3. Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 5–14.
4. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зообентос и его продукция / Под ред. А.А. Салазкина, А.Ф. Алимова, Н.П. Финогеновой. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 52 с.

The paper presents the results of a study of the spatial distribution of macrozoobenthos of drained zones in the estuary of the Tamitsa River. Low indices of abundance and biomass of benthic animals in the frontal section between river and sea waters are noted. This effect is explained by the high seasonal and tidal variability of salinity in this area.

Мискевич И.В.

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

Особенности формирования гидролого-гидрохимического режима устьев рек Белого моря в зимний период

Miskevich I.V.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Features of the formation of hydrological and hydrochemical regime of the mouths of the rivers of the White Sea in winter

Ключевые слова: гидрология, гидрохимия, изменчивость, устья рек, прилив, лед, взвеси, Белое море

Исследована пространственно-временная изменчивость гидрологических и гидрохимических показателей в устьях рек Белого моря в зимний период. Показано, что она зависит от соотношения глубин устьевого взморья, величины прилива и толщины льда. Наибольшие отличия от процессов, наблюдаемых в период открытой воды, при наличии льда фиксируются в устьях малых рек с мелководным устьевым взморьем. В первую очередь это касается транспорта наносов.

Гидрологические и, особенно, гидрохимические процессы в устьях рек Белого моря при наличии ледового покрова изучены очень слабо. Во многом, это обусловлено техническими сложностями, возникающими при проведении полевых работ в зимний период, а также спецификой требований норм охраны труда при нахождении на льду. Исследования, выполненные Северо-Западным отделением Института океанологии РАН (СЗО ИО РАН) в 2015–2019 гг. в устьях рек с различной величиной прилива, позволяют выделить особенности смешения речных и морских вод в рассматриваемый сезон года. Это коснулось таких рек, как Северная Двина и Мудьюга в Двинском заливе, Кянда и Тамица в Онежском заливе, а также Мезени.

При проведении исследований для замера температуры, солености (минерализации), кислорода и величины pH использовался многопараметрический анализатор жидкости *Multi 3420* фирмы *WTW* (Германия). Для измерения гидрологических параметров (глубины, температура воды, соленость, параметры течения) применялся зонд-регистратор *SeaGuard RCM SW* фирмы *AANDERAA* (Норвегия). Уровень воды также дополнительно определялся по стандартной водомерной рейке с привязкой к условному нулю поста. Определение содержания взвесей проводилось методом мембранной ультрафильтрации проб воды под вакуумом через чистые (обработанные 4 %-ной особо чистой азотной кислотой и тщательно промытые бидистиллированной водой) ядерные фильтры. Взвешивание ядерных фильтров осуществлялось на электронных

лабораторных весах «*Adventurer Pro*» model RV214 (производства фирмы «*OHAUS Europe*», Швейцария). Ядерные фильтры (диаметр - 47 мм; диаметр пор - 0,45 мкм) были изготовлены в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна). Фильтрация каждой пробы воды проводилась через 3 параллельных ядерных фильтра при помощи вакуумного мембранного насоса НВМ 2×2-К производства ЗАО «*ВЛАДИСАРТ*» г. Владимира. Анализ содержания биогенных веществ в пробах воды производился согласно рекомендациям пособия [1].

Проведенные исследования показали, что характер процессов смешения речных и морских вод в устьях рек Белого моря зависит от соотношения глубин устьевого взморья, величины прилива и толщины льда. Условно устья рек можно разделить на 2 группы. В первой группе глубины устьевого взморья реки заметно превышают величину прилива. В неё, в частности, входит устье р. Северной Двины. Здесь необходимо заметить, что зимой приливы в Белом море значительно ослабевают, и речь в данной статье идет именно о зимней величине прилива, которая чаще всего бывает в 2-3 раза меньше, чем его летняя величина. Во вторую группу входят устья рек, на устьевых взморьях которых глубины, величина прилива и толщина льда соизмеримы между собой. В них на малой воде приливного цикла лед, опускаясь на грунт, сильно ограничивает или полностью блокирует водообмен между рекой и морем. Такие условия наиболее характерны для устьев малых рек Белого моря.

Кроме этого, следует отметить, что на гидролого-гидрохимические процессы на рассматриваемых водных объектах сильное влияние может оказывать работа ледокольного флота.

Временная изменчивость гидролого-гидрохимических показателей в устьевых областях рек с приглубым устьевым взморьем зимой заметно ослабевает [2]. Это с одной стороны, обусловлено снижением короткопериодных колебаний речных расходов и отсутствием влияния на водную среду солнечного света, с другой стороны, - уменьшением величины прилива, приливных скоростей и воздействия сгонно-нагонных явлений под влиянием ледового покрова. Пространственная изменчивость таких показателей зимой, наоборот, возрастает за счет смещения фронтального раздела между морскими и речными водами на устьевой участок реки или в дельту реки. Здесь их пространственные градиенты увеличиваются за счет влияния граничных условий устьевых водотоков.

Наличие приливных трещин и разводей в ледовом покрове благоприятствует аэрации устьевых вод и за счет открытия доступа к солнечному свету стимулирует более раннюю вегетацию планктона уже в конце зимы, что создает дополнительное органическое вещество, выносимое в море. Вспышка развития микроводорослей в данное время года может

получать мощное развитие из-за высоких концентраций биогенных веществ в устьевых водах перед началом весеннего половодья. В короткопериодной изменчивости таких показателей как, кислородонасыщение, величина рН и биогенные вещества появляется хорошо заметный суточный цикл, генерируемый солнечной активностью. Подобное влияние увеличивается по мере возрастания величины прилива. В частности, в мезо- и макроприливных эстуариях не наблюдается глубокий дефицит кислорода в конце зимней межени [3], который может возникать в микроприливных условиях [4].

Во второй группе устьев рек наблюдается сильная трансформация прилива, на которую основное влияние помимо глубины оказывает рельеф (конфигурация) нижней кромки льда [5]. Из-за малых глубин при наличии прилива и осенних штормов на устьевом взморье ледовый покров, как правило, представлен хаотичным скоплением смерзшихся обломков льдин с различной ориентацией их осей по вертикали. Образуется своего рода «ледовая плотина», в формировании которой принимает не только сильно сторошенный лед, но льдины, удерживаемые в мерзшими в них водными макрофитами, обширные заросли которых характерны для приливных устьев рек.

Приливная изменчивость площади поперечного сечения устьевого водотока, через который идет обмен речными и морскими водами, в подобной ситуации теряет свою «синусоидальную» сглаженность типичную для периода открытой воды. Колебания уровня воды приобретают аномальный «импульсный» характер с наличием короткого промежутка времени резкого подъема и резкого спада воды, который затем сопровождается его медленным уменьшением в «удлиненной» фазе отлива. Такие колебания могут сопровождаться появлением своеобразной ступенчатости, когда уровень в течение 1-3 часов в различные фазы прилива практически не меняется. В научной литературе подобный тип прилива в устьях рек не описан. Целесообразно его назвать «ледовым мелководным типом прилива», который должен наблюдаться в устьях рек с устьевым взморьем, на котором величины глубин, прилива и толщина льда соизмеримы между собой.

Изменения солености (минерализации) и взвешенных веществ в зоне смещения речных и морских вод в мелководном устье реки зимой также носят импульсный характер. При этом максимуму солености соответствует минимум мутности устьевых вод. В конце зимы всю устьевую область малой реки за счет полного оседания ледовой плотины на грунт могут занимать пресные воды с минерализацией менее 1000 мг/дм³. С другой стороны, в отдельных случаях при отсутствии вышеуказанной плотины и полном перемерзании малой реки, всю её устьевую область в зимнюю межень могут занимать морские воды. На больших и средних реках подобные явления не наблюдаются.

Приливные подвижки льда, оседающего на донный грунт, и значительные скорости приливо-отливных течений обуславливают интенсификацию взмучивания донных отложений в устье малой реки. Наиболее ярко данный процесс выражен в водотоках с наличием обширных глинисто-илистых приливных осушек. Концентрации взвешенных веществ в данный период могут быть сопоставимыми с величинами, наблюдаемыми при весеннем паводке или при прохождении сильных осенних штормов или даже превышать их. В свою очередь, это повышает вынос различных веществ в нерастворимых формах из устья реки в море, что, в частности, должно находить свое отражение в повышении содержания органики, идентифицируемой по показателям БПК и ХПК.

Наибольшие концентрации взвесей в устьях малых рек наблюдаются при максимальном градиенте изменения уровня вод (при максимальной скорости течения) и малой глубине исследуемого участка. Однако, следует заметить, что такая закономерность характерна для приливных устьев рек любого типа, в том числе, в период открытой воды [6].

В изменчивости гидролого-гидрохимических показателей в устьях малых рек зимой большой удельный вес приобретает полумесячный (квадратурно-сизигийный) цикл. В квадратуру лед оседает на несколько суток на грунт без подъёма в фазу прилива, способствуя максимальному промерзанию поверхностного слоя донных отложений, а в сизигию происходит его отрыв от грунта и деструкция целостности донных отложений. Формирование на нижней границе льда слоя, насыщенного взвесью из зоны геохимического устьевого барьера, порождает механизм её дальнего переноса весной с дрейфующими льдами, вынесенными из устья реки в море, на расстояния до нескольких десятков километров. В то же время, в отличие от средних и больших рек, вынос взвесей весной из устьев малых рек в Белое море происходит на небольшие расстояния-обычно на несколько сотен метров. В данной ситуации не исключается появление локальных аномалий в химическом составе морских осадков, которых не связывают с влиянием конкретной малой реки, а объясняют только воздействием стока близкорасположенных больших или средних рек.

Таким образом, можно предположить, что гидролого-гидрохимические процессы в приливных устьях рек в зимний период могут давать существенный вклад в лавинную седиментацию в Белом море.

Работа выполнена в рамках темы № 0149-2019-0007 - государственного задания «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана — геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов — литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР. 1992. 200 с.
2. Лещев А.В., Мискевич И.В., Коробов В.Б. и др. Пространственные особенности приливной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устьевой области реки Северная Двина в зимнюю межень // Океанология. 2017. Т. 57. № 2. С. 303–310.
3. Мискевич И.В. Гидролого-гидрохимическая характеристика пресноводной зоны эстуария реки Мезень в зимний период // Труды Архангельского центра Русского географического общества. 2018. Вып.6. С. 288-295
4. Кузнецов В.С., Мискевич И.В., Зайцева Г.Б. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 195 с.
5. Мискевич И.В. Оценка синоптической, сезонной и междугодовой изменчивости гидролого-гидрохимического режима устьев малых рек Белого моря на примере эстуария реки Кянды // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. Москва. 2017. С. 235–239.
6. Мискевич И.В., Коробов, В.Б. Гидродинамические аспекты формирования высоких концентраций взвешенных веществ в мезоприливных и макроприливных устьях рек Белого и Баренцева морей // Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». К 70-летию со дня рождения Л.Н. Карлина. С-Пб.: 2017. С. 344–347.

The spatio-temporal variability of hydrological and hydrochemical parameters in the mouths of the White Sea rivers in winter is studied. It is shown that it depends on the ratio of the depths of the estuary, the magnitude of the tide and the thickness of the ice. The greatest differences from the processes observed in the period of open water in the presence of ice are recorded in the mouths of small rivers with shallow depths. First of all it concerns the sediment transport.

Мискевич И.В.

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

Характеристика влияния приливов на мутность вод устьев рек Белого моря

Miskevich I.V.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Characteristics of the effect of tides on turbidity of the White Sea estuaries

Ключевые слова: устья рек, Белое море, взвеси, прилив, уровень, течения, корреляция

Исследована связь концентраций взвесей с параметрами прилива в устьях рек Белого моря. В устьях рек с наличием приливных осушек она для диапазона содержания взвесей 1-1000 мг/дм³ имеет нелинейный характер и высокие коэффициенты корреляции. Для микроприливных условий (величина прилива менее 1,6 м) такая связь сохраняет линейность. Для прогноза содержания взвесей в устьях рек Белого моря можно успешно использовать одномерную регрессионную модель на основе указанных связей.

Для Белого моря характерно наличие хорошо развитых приливных явлений и широко развитая сеть устьев рек. К сожалению, их транспортная малодоступность, особенно в его северных и восточных районах, в подавляющем большинстве случаев обусловила их крайне слабую изученность. Данная проблема особенно актуальна для оценки роли приливов в транспорте взвешенных веществ, происходящих в зоне смешения речных и морских вод. Это крайне важно для экологически безопасного и рационального использования прибрежных территорий. Здесь и далее, содержание взвешенных веществ (взвесей) и мутность будем условно считать тождественными понятиями.

В условиях дефицита необходимой натурной информации по экосистемам устьев рек Белого моря одним из путей решения данной проблемы может быть использование математических моделей адеквативно-диффузионного переноса взвешенных веществ. К настоящему времени имеется значительное количество таких моделей, но их параметризация по граничным условиям, геоморфологии водотока, гидродинамике, гидравлике, турбулентности и ряду других показателей, требует большого объема дополнительной информации, которая чаще всего отсутствует. С другой стороны, её сбор в арктических и субарктических условиях, особенно в зимний период, влечет за собой большие технические сложности и финансовые затраты. Альтернативой такому направлению, в ряде ситуаций, может быть разработка эмпирических моделей, не требующих значительного объема полевых работ. В настоящей

статье показаны результаты исследований по разработке таких моделей на основе анализа связей параметров приливов и содержания взвешенных веществ в устьевых водах.

Для измерения параметров прилива (уровень, течения) применялся зонд-регистратор *SeaGuard RCM SW* фирмы *AANDERAA* (Норвегия). Уровень воды также дополнительно определялся по стандартной водомерной рейке с привязкой к условному нулю поста. Определение содержания взвесей проводилось методом мембранной ультрафильтрации проб воды под вакуумом через чистые (обработанные 4 %-ной особо чистой азотной кислотой и тщательно промытые бидистиллированной водой) ядерные фильтры. Взвешивание ядерных фильтров осуществлялось на электронных лабораторных весах «*Adventurer Pro*» model *RV214* (производства фирмы «*OHAUS Europe*», Швейцария). Ядерные фильтры (диаметр - 47 мм, диаметр пор - 0,45 мкм) были изготовлены в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна). Фильтрация каждой пробы воды проводилась через 3 параллельных ядерных фильтра при помощи вакуумного мембранного насоса НВМ 2×2-К производства ЗАО «*ВЛАДИСАРТ*» г. Владимира.

Для решения поднятой проблемы решено применить регрессионные модели, использующие наличие связей концентраций взвешенных веществ с параметрами прилива в целом. В работе [1] приведена такая модель, представленная следующим выражением [5]

$$C = 50,056 (D/V)^{-1,838}, \quad (1)$$

в котором C – концентрация взвеси в мг/дм³ на поверхностном горизонте на станции (вертикали), D – глубина станции в метрах, V – скорость придонного течения на этой станции. Здесь параметр D/V может быть условно охарактеризован, как период заполнения всей водной толщи на вертикали взвесью с концентраций C .

В качестве другого примера приведем одномерную регрессионную модель, описывающую зависимость содержания взвешенных веществ от величины прилива, разработанную на основе исследований устьевых областей рек Северной Двины и Кянды [2]. Она имеет следующий вид

$$\ln C_T = 2,26H - 1,65 \pm 0,67, \quad (2)$$

в котором C_T – трехсредняя концентрация взвесей, полученная по данным полусуточной серии наблюдений (мг/дм³), величина прилива (H) – в метрах, 0,67 (мг/дм³) - погрешность расчетов с доверительной вероятностью 95 %, а коэффициент корреляции составляет 0,975. Трехсредняя концентрация вычисляется по следующей формуле

$$C_T = 0,25 (C_{0,25} + 2 C_M + C_{0,75}), \quad (3)$$

в которой C_M – медиана, $C_{0,25}$ и $C_{0,75}$ – квартили или другими словами медианы для половинок выборки, ранжированной по убыванию величин. Данный робастный (помехоустойчивый) параметр наиболее подходит для

статистической оценки центра распределения для параметров качества воды в приливных устьях рек [3]. По мере увеличения объема выборки исследуемого показателя трехсреднее значение приближается к среднеарифметическому значению, а при соблюдении нормального (гауссова) закона распределения данных эти статистики совпадают.

При зафиксированной корреляции уравнение (1) пригодно для ведения прикладных расчетов [4]. Проверка уравнения (2) на данных независимых исследований устья р. Мудьюги в сентябре 2018 г., показала, что отклонение расчетного значения от наблюдаемого составило 0,7 мг/дм³ или 18%, т.е. подтверждается его пригодность для ведения прогнозных расчетов.

Для уточнения моделей, представленных уравнениями (1)-(2), полезным будет проведение дополнительных наблюдений в виде полусуточных (суточных) серий замеров содержания взвесей в устьевых областях рек, в первую очередь, с величиной прилива более 2-х метров. Тем не менее, по уравнению (2) уже можно рассчитать наиболее вероятные концентрации взвешенных веществ для неисследованных устьев рек Белого моря с микроприливыми и мезоприливыми условиями (табл.). Классификация приливных условий здесь дана по работе [5]. Перспективным в данном направлении исследований является замена в уравнении (1) параметра V на параметр ΔH - градиент скорости падения (роста) уровня воды. Необходимо отметить, что для микроприливных условий (H менее 1,6 м) связь C_t и величины прилива имеет линейный характер, а её нелинейность появляется при переходе к мезоприливым условиям, усиливаясь в зоне макроприливных условий.

Следует иметь в виду, что полученные результаты не учитывают антропогенное влияние и воздействие других, помимо приливов природных факторов, таких, например, как речные паводки, штормовое волнение, ливневые дожди и другие гидрометеорологические явления.

Таблица. Расчетное соответствие содержания взвешенных веществ величине прилива в устьях рек с микроприливыми и мезоприливыми условиями

Условия	H , м	C_t , мг/л	Интервал C_t (мг/л) с учетом погрешности расчетов
Микроприливные	0,3	2,6	1,4-5,2
	1,6	7,1	3,7-14,0
Мезоприливные	1,7	9,0	4,6-17,5
	2,8	107,6	55,0-107,6

Разумеется, полученные цифры носят ориентировочный характер, т.к. опираются на детальные исследования лишь 2-х устьев рек. Тем не менее, при отсутствии необходимой информации они могут быть полезны для

решения широкого круга практических задач, в частности, при планировании полевых работ и инженерно-экологических изысканий [6] в малоизученных устьях рек западного сектора российской Арктики.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что тенденция к увеличению концентраций взвешенных веществ при возрастании величины прилива в устьях рек имеет не линейный характер. При этом резкое возрастание мутности вод наблюдается при смене микроприливных условий на мезоприливные, т.е. при сизигийной величине прилива более 1,6 метра. Для прогнозирования возможных концентраций взвешенных веществ в малоизученных устьях Белого моря рекомендуется использование одномерных регрессионных моделей на основе связи содержания взвесей с параметрами прилива после её предварительной линеаризации.

Работа выполнена в рамках темы № 0149-2019-0007 – государственного задания «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мискевич И.В., Коробов В.Б. Гидродинамические аспекты формирования высоких концентраций взвешенных веществ в мезоприливных и макроприливных устьях рек Белого и Баренцева морей // Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». К 70-летию со дня рождения Л.Н. Карлина. С-Пб.: 2017. С. 344–347.
2. Яковлев А.Е., Мискевич И.В. Оценка влияния приливов на содержание взвесей в устьях рек западного сектора российской Арктики // Вестник современных исследований. 2018. № 8-1(23). С. 93–98.
3. Мискевич И.В. Гидрохимия приливных устьев рек: методы расчетов и прогнозирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. С-Пб.: РГГМУ. 2005. 50 с.
4. РД 52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. С-Пб.: Гидрометеоиздат, 2001. 63 с.
5. Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 5–14.

6. Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б. и др. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля – 15 августа 2016 г.) //Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 369–373.

The relationship between the concentrations of suspensions and the parameters of the tide in the estuaries of the White Sea is studied. In estuaries with the presence of the tidal foreshores of it for a range of the content of suspended solids of 1-1000 mg/dm³ has a nonlinear nature and high correlation coefficients. For microtidal conditions (tide value less than 1,6 m), this relationship remains linear. A one-dimensional regression model based on these relationships can be successfully used to predict the content of suspensions in the estuaries of the White Sea rivers.

Мискевич И.В., Чульцова А.Л.

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

Оценка содержания общего азота и общего фосфора в растворимой форме в устьях малых рек Белого моря

Miskevich I.V., Chultsova A.L.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Assessment of total nitrogen and total phosphorus in soluble form in the mouths of small rivers of the White Sea

Ключевые слова: устья рек, Белое море, общий азот, общий фосфор, макрофиты, антропогенное влияние.

Дана характеристика содержания общего азота и общего фосфора в 4-х устьях малых рек Белого моря в разные сезоны с различной величиной прилива. Средние концентрации общего азота в устьях рек с отсутствием антропогенного влияния, колеблются в интервале 179-552 мкг/л. Для общего фосфора подобный диапазон изменчивости составит 18-25 мкг/л.

Пространственно-временная изменчивость концентраций общего азота и общего фосфора в устьях рек Белого моря изучена крайне слабо. В отличие от них подобная изменчивость минеральных солей азота и фосфора, включая их содержание в речных водах, освещена в научной литературе достаточно хорошо [1]. Исследования Северо-Западного отделения Института океанологии РАН, проведенные в 2015-2019 годах в устьях ряда рек, позволяют сформировать определенный прогресс в решении данной проблемы.

Для определения общего азота использовался метод, предложенный Королёвым и уточнённый Вальдеррамом [2, 3]. Применяемый окислительный реактив, в который, кроме персульфата калия, входят натрия щёлочь и борная кислота, позволяет проводить сжигание органического азота до нитратов, сначала в щелочной, а затем в кислой среде, то есть единым процессом достигается двухэтапное разложение органического вещества. Последующее определение нитратов проводилось колориметрическим методом, основанным на восстановлении нитратов до нитритов в кадмиевых колонках. Метод определения общего фосфора был основан на окислении фосфорсодержащих органических соединений, находящихся в воде, до фосфатов под действием персульфата калия. Дальнейшее определение проводится теми же реактивами, что и при определении фосфатов методом Морфи-Райли [2, 3]. Анализируемые пробы воды предварительно фильтровались через ядерные фильтры (диаметр – 47 мм, диаметр пор – 0,45 мкм).

Было выявлено, что на тех устьевых участках, где присутствуют обширные приливные осушки (марши), занятые галофитной водной и околоводной растительностью, наблюдается накопление органического азота за счет деятельности симбиотических микроорганизмов, образующих ризосферу с высшими растениями галофитами [4, 5]. Такие симбиотические микроорганизмы переводят молекулярный азот атмосферы в соединения, связываемые высшими растениями в ходе процесса азотификации. Возможно, вышеуказанный процесс интенсифицируется спецификой приливных явлений – периодическим (2 раза в сутки) заливанием и осушкой участков с наличием массовых зарослей галофитов, что в частности усиливает их прогрев. Здесь концентрации общего азота за счет дополнительной генерации органического азота могут на порядок превышать их величины в речных и морских водах, поступающих в устье реки, формируя локальные внутриэстуарные максимумы [5]. В то же время для концентраций общего фосфора фиксировалась «классическая» картина – они уменьшались по мере осолонения устьевых вод при сохранении линейной связи с изменениями солености.

Указанное явление, в первую очередь, характерно для приливных устьев малых рек. В них расходы устьевых вод через поперечное сечение водотока, занятого водными макрофитами, обычно соизмеримы или даже превышают их расходы через основное русло водотока, лишенное какой-либо растительности.

Концентрации общего растворенного азота в речных водах в среднем составляют 375 мкг/л, в морских водах различных океанов- 80-510 мкг/л [6]. Выявленные нами его значения в устьях малых рек Белого моря с различной величиной прилива, отраженные в таблице, заметно отличаются от этих цифр. В таблице параметр C_{cp} – среднеарифметическое значение, параметр *размах* – диапазон изменчивости (минимальное и максимальное значения). Заметим, что река Мудьюга впадает в губу Сухое Море в Двинском заливе, реки Кянда и Тамица впадают в Онежский залив и река Пыя - в эстуарий р. Мезени в Мезенском заливе Белого моря.

Как показывают полученные данные, концентрации общего азота в исследованных водных объектах колеблются в очень широком диапазоне – 37–3203 мкг/л. Для общего фосфора диапазон изменчивости сравнительно мал – 6–46 мкг/л.

Аномально высокие концентрации общего азота были обнаружены в устье р.Мудьюги осенью 2018 года. Это, с одной стороны, связано с наличием обширных зарослей макрофитов в дельте реки и на её устьевом взморье, с другой стороны, стоками ливневых (дренажных) вод с близлежащих к створу наблюдения животноводческой фермы и конюшни в д. Патракеевка. Они, в частности, прослеживались визуально. Высокая концентрация общего азота

также была зафиксирована на одном из створов наблюдений в эстуарии р. Тамицы. По всей вероятности, она связана со стоком талых вод с территории животноводческой фермы в д. Тамице.

Таблица. Характеристика содержания общего азота и общего фосфора в растворенной форме в устьях малых рек Белого моря

Река	Периоды (кол-во проб)	Приливные условия	Общий азот (мкг/л)		Общий фосфор (мкг/л)	
			C_{cp}	<i>размах</i>	C_{cp}	<i>размах</i>
Мудьюга	осень, (4)	микро- приливные	2489	1823- 3203	24,3	20,6-26,1
Мудьюга	зима (4)	микро- приливные	378	337-429	25,3	19,5-27,9
Кянда	лето (11)	мезо- приливные	179	37-229	21,4	10,0-44,0
Тамица	весна (6)	мезо- приливные	968	298-2236	26,6	5,5-46,1
Пья	лето (5)	макро- приливные	552	430-638	17,8	13,2-22,2

В тоже время, в устье реки Мудьюги при наличии ледового покрова, когда отсутствуют вегетация макрофитов и дренажный сток, концентрации общего азота становятся на порядок ниже.

Анализ данных из приведенной таблицы позволяет предположить, что в устьях малых рек Белого моря с отсутствием антропогенного влияния средние концентрации общего азота в растворенной форме, быстрее всего, будут колебаться в интервале 179–552 мкг/л. Для общего фосфора подобный диапазон изменчивости составит 18–25 мкг/л.

Получаем, что в приливных устьях рек Белого моря должна наблюдаться следующая закономерность – чем больше площадь приливных осушек, занятых макрофитами, тем выше будут концентрации азота в вегетационный период. Такие участки, видимо, являются высокоэффективными зонами перевода атмосферного азота в его растворимые в устьевых водах соединения. Их площадь при прочих равных условиях должна увеличиваться по мере возрастания величины прилива.

Также можно предположить, что общий азот, точнее органический азот, является наиболее репрезентативным показателем влияния сельского хозяйства на качество устьевых вод Белого моря. Общий фосфор, а также минеральные соли азота, не всегда могут обнаружить подобное влияние.

Работа выполнена в рамках темы № 0149-2019-0007 - государственного задания «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового

океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов — литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д. и др. Особенности геохимии речного стока в Белое море // Система Белого моря. Том. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 225–308.
2. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб. 1993. 264 с.
3. Современные методы гидрохимических исследований океана. М. АН СССР. Институт океанологии им. П.П. Ширшова. 1992. 200 с.
4. Мискевич И.В., Чульцова А.Л. Оценка зависимости гидрохимических показателей от распределения солёности в устье р. Кянды в Белом море в период летней межени // Геология морей и океанов: XXI Международная научная конференция (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС. 2015. С. 240–243.
5. Мискевич И.В., Чульцова А.Л., Мосеев Д.С. Марши мезо-макроприливных эстуариев рек арктической зоны как источник растворенного органического азота для водных экосистем // Естественные и технические науки. 2018. № 4. С. 75–81.
6. Гордеев В.В. Геохимия системы река-море. М.: И.П. Матушкина И.И., 2012. 452 с.

The content of total nitrogen and total phosphorus in 4 estuaries of small rivers of the White Sea in different seasons with different tides is characterized. The average concentrations of total nitrogen in estuaries with the absence of human impact, ranging in the interval 179-552 µg/l. For total phosphorus is similar to the variability range will be 18 to 25 µg/L.

Мосеев Д.С.

(Институт океанологии РАН им. П.П. Ширшова, Москва; e-mail:
viking029@yandex.ru)

**Динамика развития маршей на юге Онежского залива
Белого моря под влиянием галофитной растительности (на
примере эстуария р. Кянда)**

Moseev D.S.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Dynamics of development of the marshes in the south Onega
Bay of the White Sea under the influence of the halophytic
vegetation (for example, Kyanda estuary)**

Ключевые слова: Белое море, река Кянда, наносы, приливы, приморские
фитоценозы

Приморская растительность выступает важным фактором в развитии берегов эстуариев. На осушках маршей эстуария реки Кянда происходит накопление наносов, обусловленное приливо-отливными явлениями, которое инициируется приморской растительностью. Наиболее активно происходит седиментация наносов в сомкнутых осоковых сообществах маршей.

Малая река Кянда впадает в Онежский залив Белого моря. Устье реки, где действуют мезоприливные условия [1], представлено эстуарием, который выходит в осушаемый залив, именуемый Кяндской губой, последняя, по сути, представляет собой ватт (ваттовую осушку) с разнообразными типами донных отложений. В вершине губы представлены донные отложения илистых и илисто-глинистых фракций, формирующиеся под влиянием приливов, по направлению к морю, ввиду усиления волноприбойного воздействия, они сменяются илисто-песчаными и песчаными отложениями. С небольшим возрастанием уклона берегов, ватты в эстуарии сменяются обширными маршами. Марш – низкий аккумулятивный берег, формирующийся под влиянием морских приливов, путем выноса илистых и песчаных наносов в осушную зону, покрытый субаэральной галофитной растительностью [2]. На маршах можно выделить три уровневых пояса; пояс низкого уровня – ежедневно заливаемый приливами, который занят в основном слабо-сомкнутыми фитоценозами; средний – заливаемый только в сизигийные приливы, покрыт сомкнутой галофитной растительностью, высокий – заливаемый в нагоны и выше при наложении нагонов на сизигийные приливы. Растительность маршей изменяется по градиенту «море–суша» и сообщества, состоящие преимущественно из

облигатных галофитов (обитающих на засоленных субстратах морской границы эстуария), в вершине эстуария сменяются на сообщества растений гликофитов (слабоустойчивых и не устойчивых к засолению) [3]. Для осушек Кянды можно выделить следующий экологический ряд смены растительных сообществ по градиенту «море-суша»: *Glaux maritima*+*Puccinellia maritima* *Triglochin maritima* + *Tripolium vulgare* *Bolboschoenus maritimus* *Phragmites australis* + *Bolboschoenus maritimus* *Bolboschoenus maritimus* + *Tripolium vulgare* *Phragmites australis* *Carex salina* *Carex aquatilis* *Carex aquatilis* + *Alisma plantago-aquatica* [4].

Основной фон растительности маршей здесь формируют сообщества тростника обыкновенного, образующие, так называемые тростниковые берега, они являются одним из типов фитогенных берегов. Под пологом тростника и слоем треста, происходит накопление торфа, толщина слоя торфа здесь может достигать 1 м и более, почвогрунты заболачиваются и образуются, так называемые «соленые и солоноватые болота», периодически подверженные влиянию соленых вод приливов и нагонов. В прилив морские воды просачиваются в грунты участков маршей низкого и среднего уровня, где происходит их накопление, в фазу отлива грунты осушек отдают накопленную воду, повышая тем самым соленость стоковых речных вод [5]. Большое значение для формирования тростниковых берегов эстуария Кянды имеют весенние паводки, приносящие взвеси, оседающие на марше, кроме того, воды паводков долгое время сохраняются на марше, вызывая уменьшение засоленности почвогрунтов.

В русле эстуария и по берегам приливо-отливные процессы вызывают накопление илистых наносов, которое на разных участках берегов не одинаково, и не малое значение в этом имеет неоднородность приморской растительности. Принесенный приливной волной взвешенный материал осаждается и накапливается, что способствует приросту осушки в высоту. При росте осушки в высоту, происходит активное развитие растительного покрова. В свою очередь растительность инициирует накопление наносов, и прирост осушки становится интенсивнее. На седиментацию также оказывают влияние механический состав грунтов осушек, величина приливов, особенности перемещения приливной волны по эстуарию, продолжительность заливания осушек приливом. Такие процессы характерны для маргинального фильтра, который формируется и в устье р. Кянды [6].

Таким образом, происходит изостатический подъем аккумулятивного берега [7].

Исследования динамики седиментации наносов на ваттово-маршевых осушках эстуария Кянды проводились в разных типах растительных сообществ, в летне-осенний период 2017–2018 гг., на реперных участках путем постановки гидрометрических реек.

Рейки углублялись в глубину грунта на 50 см. Дискретность наблюдений в 2017 г. составила около 2-х месяцев от даты начала установки (конец июня) и последнего измерения показателей уровня накопления наносов (начало августа), в 2018 г. 3 месяца (установка – начало июля, измерение показателей – конец сентября). Расстояние между реперами составило в основном около 500 м (рис. 1). На участках установки реперов в фитоценозах с однородными условиями произрастания закладывались пробные площадки размером 2×2 м, где проводились геоботанические описания.

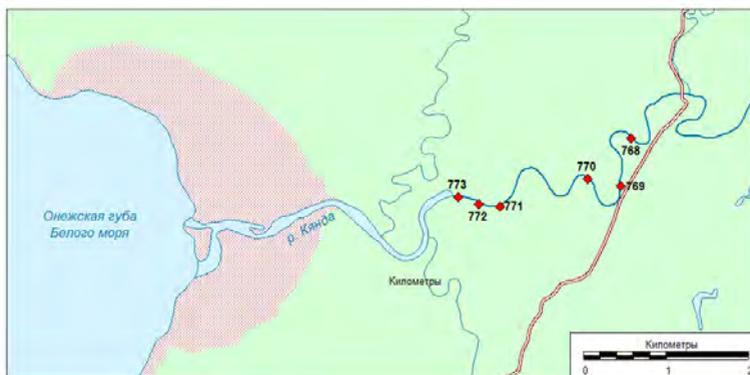


Рисунок. Схема расположения реперов в устье р. Кянда

Динамика накопления наносов на осушках не одинакова и зачастую зависит от видового состава и структуры фитоценозов маршей.

Во все периоды наблюдений наиболее интенсивное накопление наносов наблюдалось на илисто-глинистых осушках зоны ежедневного заливания приливом в осоковых сообществах (крупносочниках); на 0.5 см в сообществе с доминированием *Carex salina* (2018 г.), в сообществах с доминированием *Carex aquatilis* и *Carex aquatilis*+*Alisma plantago-aquatica* на 1.5 (2018 г.) и 0.8 см (2017 г.), соответственно, что является следствием их большой сомкнутости, общее проективное покрытие (ОПП) – 90–100% (табл. 1).

Менее интенсивное накопление наносов наблюдалось на илистой осушке в зоне ежедневного заливания приливом, в разреженном сообществе с доминированием тростника (*Phragmites australis*) (ОПП – 25 %) т.770 – на 0.4 см. Отметим, что на этой осушке в 2017 г. у рейки наблюдался размыв донного грунта, что объяснялось динамическим воздействием приливного течения, в частности вызываемым им вихревым движением воды около рейки при низкой сомкнутости растительного покрова. Поскольку общее проективное покрытие сообществ меняется в течение вегетационного периода при их развитии в течение лета, не исключено, что при отсутствии

наблюдений показатели общего проективного покрытия в августе 2018 г. в сообществе были выше, чем в 2017 г., что могло повлиять на накопление наносов. Величина накопления наносов в сообществе *Phragmites australis* + *Bolboschoenus maritimus* (тростниково-клубнекамышовом) в 2018 г. не изменилась и сохранилась на уровне – +0.5 см.

Несколько иная ситуация по седиментации наносов, складывается на маршах в зоне заливания сизигийными приливами. Здесь в 2017 г. в сомкнутых моnodоминантных сообществах тростника (*Phragmites australis*), которые занимают наибольшие площади в эстуарии Кянды, наблюдался размыв грунта при углублении на –2.0 см, что объяснялось влиянием прилива и частными дождями в летний период. В 2018 г. показатели измерения не изменились на обеих точках (773а, 770а) от уровня установки реек, что возможно связано с засушливым летом.

Таблица 1. Динамика накопления наносов в разных типах приморских фитоценозов

№ описания	Координаты	Сообщество	ОПП, %	Тип донных отложений	Мезорельеф (экотон)	Величина накопления наносов*, см	
						2017 г.	2018 г.
773 Кя	64°17'21.2'' 38°02'20.4''	<i>Phragmites australis</i> + <i>Bolboschoenus maritimus</i>	70%	Ил + глина	Ежедневно заливаемая осушка марша низкого уровня	+ 0.5	+ 0.5
773 а Кя	64°17'21.0'' 38°02'20.8''	<i>Phragmites australis</i>	80	Торф + ил	Осушка марша, заливаемая в сизигийный прилив	-2.0	Без изменений
772 Кя	64°17'21.3'' 38°02'58.1''	<i>Bolboschoenus maritimus</i> + <i>Triplolium vulgare</i>	60	Ил + глина	Ежедневно заливаемая осушка марша низкого уровня	+0.5	..
771 Кя	64°17'19.3'' 38°03'18.3''	<i>Carex salina</i>	100	Ил + глина	Ежедневно заливаемая осушка марша низкого уровня	+0.8	+ 0,5
770 Кя	64°17'30.8'' 38°04'44.7''	<i>Phragmites australis</i>	25	Ил	Ежедневно заливаемая осушка марша низкого уровня	-2.0	+ 0,4
770а Кя	64°17'30.3'' 38°04'45.0''	<i>Phragmites australis</i>	90	Торф	Осушка марша, заливаемая в сизигийный прилив	..	Без изменений
769	64°17'26.5'' 38°03'19.0''	<i>Carex aquatilis</i>	90	Ил + глина	Ежедневно заливаемая осушка	..	+ 1.5
768	64°17'47.2'' 38°03'29.4''	<i>Carex aquatilis</i> + <i>Alisma plantago-natatica</i>	70	Ил + глина	Ежедневно заливаемая осушка	+0.8	..

Примечание*. Знаком «+» показано накопление грунта на осушках, знаком «-» – размыв. Данные за каждый год приведены относительно показателя установленной рейки.

Таким образом, накопление наносов на маршевых осушках эстуариев главным образом зависит: от величины приливов, особенностей перемещения приливной волны, степени заливания осушек водами приливов, механического состава грунта, сомкнутости растительного покрова и типа сообществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б., Демиденко Н.А., Попрядухин А.А. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля – 15 августа 2016 г.) // *Океанология*/ 2018. Т. 58. № 3. С. 369–373.
2. Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М., 1975. 336 с.
3. Мосеев Д.С. Пространственная структура растительных сообществ побережья юго-востока Онежского залива на примере эстуария реки Кянда // *Труды Архангельского центра РГО: сборник научн. статей*. Архангельск, 2016. Вып. 4. С. 302–309.
4. Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А. Растительный покров солончатых приливных устьев малых рек юго-востока Двинского залива Белого моря // *Ученые записки Петр ГУ*. 2016. № 2 (155). С. 25–37.
5. Коробов В.Б. Исследование режима устьевых областей рек Белого моря // *Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. 2015. С. 199–202.
6. Лещёв А.В., Коробов В.Б., Федоров Ю.А. и др. Первые комплексные исследования реки Кянда и ее маргинального фильтра, Онежский залив Белого моря (22 июля – 3 августа 2014 г.) // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 5. С. 850–851.
7. Невеский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М., 1977.

Seaside vegetation is an important factor in the development of the coasts of the estuaries. On the dewaterings estuary sediment accumulation marches due to the tidal phenomena, that is the seaside vegetation. The most active is the accumulation of sediment in closed communities caricaceae marshes.

Нецветаева О.П.

(ООО «Агентство прикладной экологии», г. Архангельск, e-mail: melob@bk.ru)

Межгодовая динамика кислородонасыщения вод Белого моря в изменяющихся условиях окружающей среды по данным многолетних наблюдений

Netsvetaeva O.P.

(LLC “Agency of applied ecology”, Arkhangelsk)

Interannual dynamics of the oxygen saturation of the White Sea waters depending on changing environmental conditions according to long-term observations

Ключевые слова: кислородонасыщение, растворенный кислород, Белое море, межгодовая динамика, глобальные осцилляции

Рассмотрена межгодовая динамика кислородонасыщения вод Белого моря за период 1979–2014 гг. Установлен нисходящий тренд кислородонасыщения при росте содержания хлорофилла «а», а также отмечено отсутствие влияния глобальных осцилляций (AO, NAO, ONI, PNA) на температуру, соленость, содержание растворенного кислорода и кислородонасыщение в поверхностном горизонте.

В новом тысячелетии в различных морских бассейнах наметилась тенденция как активизации заморных явлений, что связывают с предполагаемым глобальным изменением климата [1]. Одним из важнейших факторов в ухудшении кислородного режима выступает антропогенное эвтрофирование водоемов [2, 3].

В Белом море дефицит кислорода не обнаруживался в предыдущих исследованиях, его воды насыщены и перенасыщены кислородом, особенно в поверхностном горизонте. Однако возможность появления его дефицита в придонном горизонте глубоководной части моря было впервые высказано Л.А. Зенкевичем в 1947 г. [4].

Учитывая конфигурацию моря, а именно обособление стратифицированной глубоководной зоны мелководным Горлом от северной части моря, обменивающейся водами с Баренцевым морем, существует риск появления зоны дефицита кислорода в придонном горизонте глубоководной части моря.

В изменяющихся условиях природной среды крайне важно понимание происходящих процессов. Поэтому цель настоящей работы заключается в исследовании межгодовой динамики кислородонасыщения с выявлением трендов и влияющих на изменчивость факторов.

В основе исследования лежат данные за летний и осенний сезоны по температуре (°C), солености (‰), содержанию растворенного кислорода

– в виде объемной концентрации (мл/л), а также степени насыщения (%), полученные в экспедициях ФГБУ «Северное УГМС» в поверхностном и придонном горизонтах за период 1979–2014 гг. [5], а также по массовой концентрации хлорофилла «а» (мкг/л) в поверхностном горизонте, полученные в экспедициях Северного филиала ФГБНУ «ПИНРО» за период 2001–2014 гг. [6] (рис. 1).

Растворенный кислород определяли объемным методом Винклера [7, 8], концентрацию хлорофилла «а» – по ГОСТу 17.1.4.02-90. «Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а» [9].

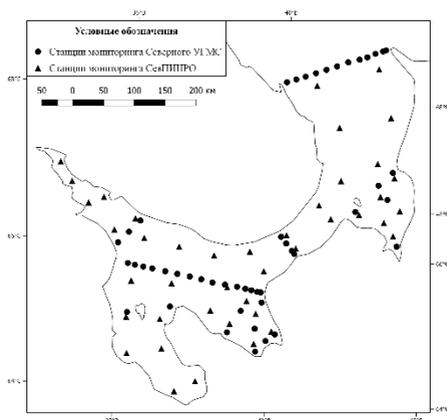


Рисунок 1. Карта-схема с обозначением станций комплексного мониторинга ФГБНУ «ПИНРО» и ФГБУ «Северное УГМС»

Графики межгодовой динамики за период 1979–2014 гг. температуры, солёности, содержания растворенного кислорода и степени насыщения кислородом в поверхностных и придонных водах Белого моря в летний и осенний сезоны построены для полигона в Двинском заливе, стандартного разреза «м. Зимнегорский – Ивановы Луды» в Бассейне, векового разреза «м. Инцы – р. Пулоньга» в Горле и векового разреза «м. Канин Нос – м. Святой Нос» на границе Белого моря с Баренцевым морем. Выбор именно этих районов обусловлен наличием наибольшего количества данных. Графики межгодовой динамики содержания хлорофилла «а» за период 2001–2014 гг. в поверхностном горизонте построены для полигонов в Двинском заливе, Горле, Бассейне и Воронке. Исследование изменчивости кислородонасыщения и влияющих на него параметров не по всему морю, а по отдельным районам обусловлено особенностью Белого моря: его районы в значительной степени отличаются друг от друга по многим параметрам (поступление речных вод, влияние приливов, интервалы солёности, ледовые условия, биота и т.д.). Для наглядного примера на рисунке 2 приведены

графики межгодовой изменчивости рассматриваемых показателей для летнего сезона в Двинском заливе.

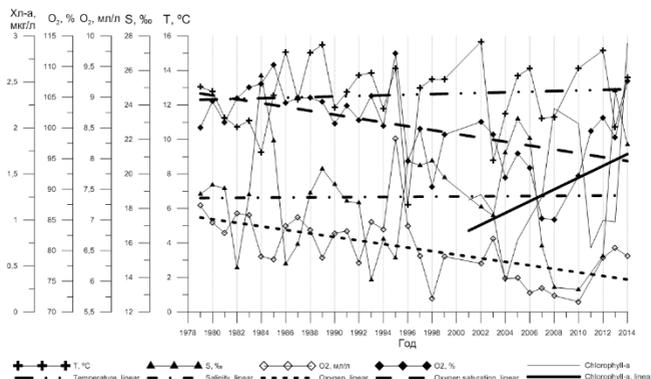


Рисунок 2. Межгодовая динамика и линейные тренды среднемноголетних показателей температуры, солёности, содержания растворенного кислорода, степени насыщения кислородом и содержания хлорофилла «а» летом в поверхностном горизонте Двинского залива

При отсутствии каких-либо тенденций к изменениям солёности, различным тенденциям к изменениям температуры, включая и отсутствие тренда, в отдельных районах Белого моря, а также при росте содержания хлорофилла «а» в поверхностном горизонте содержание растворенного кислорода и степень насыщения кислородом неуклонно снижались как летом, так и осенью в обоих горизонтах и во всех районах, за исключением поверхностных вод на разрезе «м. Зимнегорский – Ивановы Луды» летом, хотя степень насыщения здесь также снижалась. При этом более крутыми были тренды снижения именно степени насыщения кислородом. Наименее интенсивное снижение кислородонасыщения отмечено на разрезах «м. Зимнегорский – Ивановы Луды» и «м. Канин Нос – м. Святой Нос», где влияние речного стока менее существенно, чем в заливах. На разрезе «м. Инцы – р. Пулоньга» снижение кислородонасыщения более значительно, в Горле влияние речного стока выше, так как в этот район вдоль Зимнего берега поступают трансформированные в Двинском заливе и в устьевой области Северной Двины речные воды. В Двинском заливе, испытывающем на себе наибольшее во всем море влияние речного стока, воды которого обеднены кислородом [10, 11], интенсивность снижения кислородонасыщения еще выше, причем сильнее оно проявляется осенью, а не летом, как в ранее рассмотренных районах. Таким образом, снижение степени насыщения кислородом происходит независимо от изменений температуры и солёности вод, и вызвано, вероятно, эвтрофикацией водоема, о чем косвенно свидетельствует рост содержания хлорофилла «а», и которая

может быть вызвана загрязнением речного стока, так как более значительное снижение кислородонасыщения отмечено именно в Двинском заливе.

Межгодовая изменчивость кислородонасыщения вод Белого моря в первую очередь обусловлена климатической изменчивостью [12]. Охарактеризовать изменчивость современного климата на Земле можно широким спектром колебаний (Северо-Атлантическое, Северо-Тихоокеанское, Южное и др.) [13].

Закономерно предположить, что, если глобальные осцилляции связаны с температурой поверхностных вод Белого моря [14], то и с кислородонасыщением они также могут быть связаны. Например, в работе [15] показано, что гипоксические явления в восточной части Финского залива Балтийского моря обусловлены именно Северо-Атлантическим колебанием.

Для выяснения, влияют ли глобальные осцилляции на кислородонасыщение и параметры, влияющие на него в поверхностном горизонте Белого моря были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции между температурой, соленостью, содержанием растворенного кислорода, степенью насыщения кислородом в поверхностном горизонте отдельных районов Белого моря за период 1979–2014 гг. в летний и осенний сезоны и индексами глобальных осцилляций, такими как Арктическое колебание (АО), Северо-Атлантическое колебание (NAO), события Эль-Ниньо и Ла-Нинья (ONI) и Северо-Тихоокеанское колебание (PNA). Все индексы взяты из открытого источника – сайта Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA) [16].

В результате установлено, что рассмотренные глобальные осцилляции не оказывают существенного влияния на температуру, соленость, содержание растворенного кислорода и степень насыщения кислородом в поверхностном горизонте отдельных районов Белого моря ни в летний, ни в осенний сезоны. Однако интерес вызывают результаты корреляционного анализа между индексом ONI и содержанием растворенного кислорода, а также степенью насыщения в поверхностном горизонте летом на разрезах «м. Инцы – р. Пулоньга» и «м. Канин Нос – м. Святой Нос» и осенью на разрезах «м. Канин Нос – м. Святой Нос» и «м. Зимнегорский – Ивановы Луды». Районы Белого моря, где заложены эти разрезы в меньшей степени, чем заливы, испытывают на себе влияние материкового стока, и имеют водообмен с Баренцевым морем. Вероятно, события Эль-Ниньо и Ла-Нинья оказывают опосредованное влияние на кислородонасыщение поверхностных вод открытых районов Белого моря, но на основании имеющихся в настоящей работе данных с уверенностью такой вывод сделать нельзя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gewin V. Oceanography: Dead in the water // Nature. 2010. V. 466. P. 812–814.
2. Diaz R.J., Rosenberg R. Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems // Science. 2008. V. 321. P. 926–929.

3. Levin L.A., Ekau W., Gooday A.J. [et al.] Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos // *Biogeosciences Discuss.* 2009. V. 6. P. 3563–3654.
4. Зенкевич Л.А. Фауна и биологическая продуктивность моря. Т. 2. М.; Л.: Советская наука, 1947. 588 с.
5. Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. Том 2. Часть 1. Белое море. 1979–2014.
6. Нецветаева О.П., Македонская И.Ю., Коробов В.Б., Змётная М.И. Зависимость кислородонасыщения от содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое вод Белого моря // *Арктика: экология и экономика.* 2018. № 3 (31). С. 31–41.
7. РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб: Гидрометеиздат, 1993. 128 с.
8. РД 52.10.736-2010. Объемная концентрация растворенного кислорода в морских водах. Методика измерений йодометрическим методом. М.: ФГУ «ГОИН», 2010. 21 с.
9. ГОСТ 17.1.4.02–90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла-а. – Введ. 1991–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1999. – 12 с.
10. Нецветаева О.П. Изменчивость кислородонасыщения вод в устьевой области р. Северной Двины // *Arctic Environmental Research.* 2017. Т. 17. № 2. С. 88–97.
11. Нецветаева О.П., Коробов В.Б. Особенности кислородного режима устьевой области Северной Двины // *Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии.* Т. III. 2017. С. 250–253.
12. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР в 10 т. Т. II. Белое море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биопродуктивности. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 193 с.
13. Кондратьев К.Я. Глобальный климат. СПб.: Наука, 1992. 360 с.
14. Толстикова А.В. Изменчивость температуры поверхностного слоя Белого моря. – М.: ГЕОС, 2016. 212 с.
15. Еремина Т.Р., Максимов А.А., Волощук Е.В. Влияние изменчивости климата на кислородный режим глубинных вод восточной части Финского залива // *Океанология.* 2012. Т. 52. № 6. С. 836–845.
16. Сайт Национального управления океанических и атмосферных исследований, США. URL: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/> (21.04.2019).

The article discusses the interannual dynamics of temperature, salinity, dissolved oxygen content, oxygen saturation and chlorophyll “a” content in the White Sea waters. Also article is about the dependence of these parameters on global oscillations (AO, NAO, ONI, PNA).

**Репкина Т.Ю.¹, Романенко Ф.А.¹, Зарецкая Н.Е.²
³, Кублицкий Ю.А.⁴, Леонтьев П.А.⁴, Шилова О.С.¹,
Беличенко А.Е.⁵, Архипов В.В.¹, Яковлева А.П.¹**

(¹МГУ Географический ф-т, г. Москва, ²ИГ РАН, Москва, ³ГИН РАН, Москва,

⁴РГПУ им. А.И. Герцена, г. СПб, ⁵ИА РАН, Москва, e-mail: t-repkina@yandex.ru)

**Динамика западного берега Унской губы (Летний берег
Белого моря) в голоцене и его заселение**

Repkina T.Yu.¹, Romanenko F.A.¹, Zaretskaya N.E.^{2,3},

Kublitskiy Yu.A.⁴, Leontev P.A.⁴, Shilova O.S.¹,

Belichenko A.E.⁴, Arkhipov V.V.¹, Yakovleva A.P.¹

(¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, ²IG RAS, ³GIN RAS,

⁴Herzen University, ⁵Institute of Archaeology RAS)

**Dynamics of the west coast of the Unska Bay (Letniy coast of the
White Sea) and its settling n the Holocene**

Ключевые слова: берег, морфодинамика, голоцен, хронология, памятники археологии, Белое море

В результате комплексного исследования рельефа, голоценовых отложений и археологических объектов западного побережья Унской губы Белого моря определены механизмы и условия развития берегов; выделены и датированы основные этапы их формирования и заселения.

Западное побережье Унской губы – одна из редких на берегах Белого моря областей интенсивной голоценовой аккумуляции. Морские террасы шириной до 5 км с крупными системами переветренных береговых валов наложены на постройки краевой зоны невиской стадий деградации последнего оледенения [1]. Хорошая сохранность форм берегового рельефа позволила восстановить последовательность и условия развития берега. Вместе с тем, особенности морфолитогенеза аккумулятивных берегов: перестройка низких террас штормами и нагонами; перевевание тыловых частей пляжей и береговых валов, уже вышедших из-под уровня штормового заплеска; задержка начала накопления органогенных отложений относительно времени осушения террас, затрудняют определение возраста древних береговых линий. Более объективным источником хронологической информации являются отложения палеолагуна. Дополнительным критерием оценки возраста служат стоянки и поселения носителей приморских культур, тяготеющие к древним берегам.

На западном побережье Унской губы проведены геоморфологическое картографирование и археологическое обследование, измерены глубины озер Мураканского и Малого Мураканского (отметки уреза – 6.9 и

10.9 м). Выполнены литостратиграфическое описание, предварительный диатомовый анализ и радиоуглеродное датирование отложений этих озер, палеолагуна, проливов и понижений между береговыми валами. Возраст отложений определен в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии ГИН РАН (рис.). Калибровка радиоуглеродных дат выполнена в программе Calib 611 с помощью калибровочной кривой IntCal09. В результате выделены и датированы 4 геоморфологических уровня, отвечающих основным этапам развития и заселения западного берега губы.

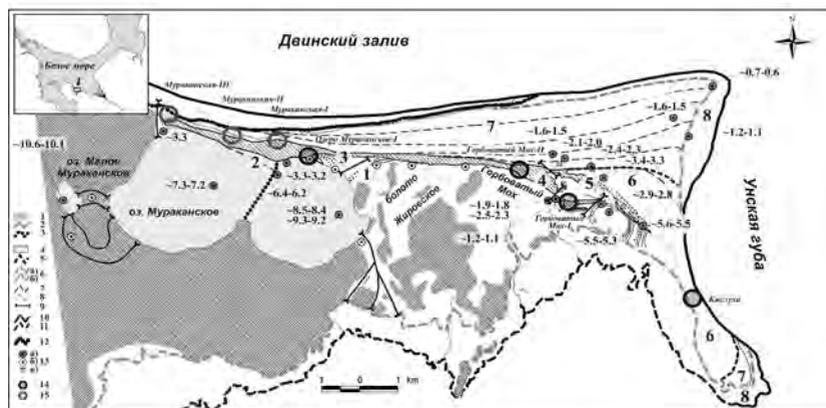


Рисунок. Строение рельефа западного побережья Унской губы и положение археологических памятников. Условные обозначения. *Формы и комплексы форм рельефа: Ледникового, частично измененного морскими и биогенными процессами:* (1) - моренные постройки на высотах 5-40 м, (2) - контуры моренных холмов, перекрытых торфом; (3) - моренная гряда в котловине озера Мураканского. *Берегового (цифра – номер генерации):* (4) - коса на высотах 7.5-11 м (генерации 2-5); границы генераций на высотах: (5) - ~7.5 м, пологие склоны; (6) - ~5 м: а) уступы размыва, б) пологие склоны; (7) – границы комплексов береговых валов; (8) - отдельные валы и косы; (9) – палеопроливы; *современные берега:* (10) - абразионные и аккумулятивные, (11) - осушные. *Эолового:* (12) – внутренняя граница прибрежных дюн. *Положение разрезов и скважин (13):* а) отложения датированы (цифра – возраст, кал.т.л.н.), б) отобраны образцы на радиоуглеродное датирование, в) материал для датирования отсутствует. *Местонахождение археологических объектов, условно датированных:* 14 - IV-III тыс. до н.э., 15 - позже кон. III - II тыс. до н.э.

1). На высотах 11–20 м над уровнем моря ледниковый рельеф не был существенно переработан волнами. Палеозаливы и проливы, в том числе котловина озера Малого Мураканского (порог стока – 15 м),

занимают понижения в кровле морены (рис.). Они были затоплены во время позднеледниковой трансгрессии [1] и осушены в ходе регрессии раннего голоцена, когда на дне водоемов накапливался торф. Возраст торфа, вскрытого на дне озера Малого Мураканского – 9230 ± 145 (10.4–10.1 кал.т. л.н.) (ГИН-15912), а озера Мураканского – 8280 ± 70 (~9.3–9.2 кал.т. л.н.) (ГИН-15914) в подошве и 7670 ± 50 (~8.5–8.4 кал.т. л.н.) (ГИН-15913) в кровле слоя. Береговые процессы, ослабленные в условиях холодного, ледовитого бассейна [2], не создавали аккумулятивных форм и не влияли на продолжительность стадии изоляции. К берегам проливов могут быть приурочены стоянки и поселения каменного века [3].

2). Береговые формы генераций 1–6 (рис.) на высотах 7.5–11 м сформировались при незначительных колебаниях относительного уровня моря во время трансгрессии тапес, позже ~8.5–8.4 и ранее ~5 кал.т. л.н.

Береговые валы генерации 1 образовались за счет поперечного переноса наносов на мелководье, обрамлявшем моренные острова, при положении относительного уровня моря на 9–10.5 м выше современного, вероятно, на ранних этапах трансгрессии среднего голоцена тапес.

Коса протяженностью ~17 км при ширине 0.25–2 км (генерации 2–6) нарастала с запада на восток в основном за счет разгрузки вдольберегового потока наносов у перегибов береговой линии. Ее дисталь, примыкая к выступам моренного цоколя отчленяла «ячейки» лагун. Генерации 2 и 3 на высотах 7.5–9.5 м отделили озеро Мураканское. Западная ванна ~ 6300 ± 140 (~7.3–7.2 кал.т.л.н.) (ГИН-15920) была частично изолирована косой генерации 2, примкнувшей к моренной гряде (рис.). На дне лагуны начали накапливаться илы и гиттия, содержащие солоноватоводные диатомеи. Восточная ванна оставалась полузамкнутой лагуной до ~ 5460 ± 140 (6.4–6.2 кал.т. л.н.) (ГИН-15921). В центре ванны смена лагунных условий озерными маркирована постепенным переходом от минеральных осадков, содержащих солоноватоводные диатомеи, к органогенным с пресноводными видами диатомей. На склоне гряды смена обстановок сопровождалась размывом морских осадков. Дистали косы генерации 3, огибающие восточную ванну, не перекрывали пролив, соединявший лагуну с морем. Вероятно, основным фактором изоляции стало понижение относительного уровня моря до высоты порога стока озера (~7–7.5 м).

Косы генерации 4 отделили от открытого моря залив Горбоватый Мох с отметками дна 4.5–6 м, ставший заливом Унской губы, а косы генерации 5 –палеолагуны на высотах 8.5–9 и 9–9.5 м к востоку от него. Согласно датам из подошвы органогенных отложений, лагуны были изолированы от моря не позднее 4770 ± 40 (~5.6–5.5 кал.т. л.н.) (ГИН-14943) и 4620 ± 60 (~5.5–5.3 кал.т. л.н.) (ГИН-15911) соответственно. Большие высотные отметки гребней аккумулятивных форм (до 10.5 м) и остаточных водоемов между

ними (8.5-9.5 м) могут свидетельствовать о незначительном повышении относительного уровня моря и/или увеличении силы штормов.

Генерация 6 (7.5–10.5 м) образовалась в условиях слабого понижения относительного уровня моря и очень быстро. В дистали косы берег выдвинулся на 2–3 км, а в ее корне, где аккумуляция сопровождалась размывом древних валов, – на 0.2–0.3 км. Учитывая оценки возраста археологических памятников (рис.), генерация возникла и была освоена носителями Беломорской морской культуры позднего неолита - раннего металла не позднее ~5 тыс. лет назад [3].

Археологические объекты IV-III тыс. до н.э. тяготеют к берегам лагун и тыловым косам генераций 3-6 (рис.).

3). Террасы на высотах 5–7.5м формировались позже ~5 тыс. кал. л.н. в условиях понижения относительного уровня моря. Внешние и внутренние берега косы развивались под действием разных гидродинамических факторов. Сильные волны создали на берегу Двинского залива «лестницы» береговых валов генерации 7, активно перевевавшихся. Затишные заливы Унской губы, постепенно выходя из-под уровня заплеска, становились плоскими заболоченными террасами. Низкие прибрежные равнины могли быть перестроены во время сильных штормов и нагонов. На современных берегах района экстремальные повышения уровня моря могут достигать 2 м [4]. В среднем – начале позднего голоцена, когда Двинский залив был 9-12 месяцев в году свободен от ледового покрова [2], штормовые нагоны были, вероятно, не меньше. Поэтому время стабилизации форм берегового рельефа и начала накопления озерно-болотных отложений варьирует в широких пределах. Заболачивание понижений между береговыми валами на отметках 7-7.5 м началось 2350±40 (~2.4-2.3 кал.т. л.н.) (ГИН-14946), 2100±40 (~2.1-2.0 кал.т. л.н.) (ГИН-14947), 1680±40 (~1.6-1.5 кал.т. л.н.) (ГИН-14948) и 1650±40 (~1.6-1.5 кал.т. л.н.) (ГИН-14949), а на отметках ~5 м – 660±40 (~0.7-0.6 кал.т. л.н.) (ГИН-14950), очевидно, с задержкой относительно их осушения. Валы срезаны протяженным уступом размыва (рис.), маркирующим резкую смену гидро- и литодинамических условий, имевшую место не позднее 1170±40 ¹⁴C л.н. (~1.2-1.1 кал.т. л.н.) (ГИН-14951). Вместе с тем, проливы (промои), созданные штормами в теле древней косы (рис.), отмерли в ее корне не позднее 3060±30 (~3.3 кал.т. л.н.) (ГИН-15910), а к востоку от стоянки Горбоватый Мох-I – 2770±40 (~2.9-2.8 кал.т. л.н.) (ГИН-14944). Последним - 2360±60 (~2.5-2.3 кал.т. л.н.) (ГИН-15720), вышел из-под уровня заплеска пролив к западу от стоянки, что подтверждается наличием в датированном горизонте диатомей, характерных для марша. Непосредственно выше него залегают торф возрастом 1940±60 (~1.9-1.8 кал.т. л.н.) (ГИН-15719).

Можно полагать, что третий этап развития берега завершился ~2.5-2.3 тыс. кал.л.н. (рис.) Археологические объекты, возникшие позже кон.

III - II тыс. до н.э. тяготеют к внешнему склону косы. Благоприятные для заселения условия существовали на берегах проливов.

4). Террасы на отметках <5 м н.у.м. образовались позже ~2.5-2.3 тыс. кал.л.н., в обстановках близких современным. Археологические памятники на этих террасах не обнаружены.

Таким образом, на западе Унской губы комплекс береговых форм рельефа сформировался, в основном, в интервале <~8.5-8.4 – ~2.5-2.3 кал.т. л.н. в условиях колебаний относительного уровня моря на отметках 7.5-10.5 м н.у.м. во время трансгрессии тапес (~8-5 кал.т.л.н.), а затем его понижения до ~5 м н.у.м. со скоростью ~1.3 мм/год. После ~6.4-6.2 кал.т. л.н. объемы аккумуляции резко возросли в результате увеличения продолжительности безледного периода, и, вероятно, интенсивности воздействия волн. Практически в то же время на молодые берега пришли представители Беломорской морской культуры позднего неолита – раннего металла (~ IV- II тыс. до н.э.). Стратегия заселения изменялась с увеличением сложности береговых форм, обеспечивая близость поселений к морю, свободный доступ к источникам пресной воды и рыбным ресурсам. После ~2.5 кал.т. л.н. гидродинамические условия резко изменились и стали близки современным, средняя скорость относительного поднятия берега составила ~1.9 мм/год, а объемы аккумуляции заметно уменьшились.

Полевые исследования выполнены по теме ГЗ АААА-А16-116032810089-5, в рамках договора о научном сотрудничестве № 325 от 17.05.2017 г. между НП «Кенозерский» и географическим факультетом МГУ имени М.В.Ломоносова, обработка данных – при поддержке проекта РФФИ 19-05-00966 (геоморфологический анализ), тем ГЗ АААА-А16-116032810055-0 (диатомовый анализ) и ГЗ ГИН РАН (геохронологические исследования).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта РФ м-ба 1:200 000. Листы Q-37-XXVII, XXVIII. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 56 с.
2. Новичкова Е.А., Рейхард Л.Е., Лисицын А.П. и др. Новые данные по истории развития Двинского залива Белого моря в голоцене // ДАН. 2017. Т. 474. № 3. С. 365–369.
3. Беличенко А.Е. Заселение южного побережья Белого моря в эпоху неолита – раннего металла // Кенозерские чтения - 2019. Архангельск, 2019 (в печати).
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. II. Белое море. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.

As a result of a comprehensive study of the topography, Holocene deposits and archaeological sites of the western coast of the Unskii Bay of the White Sea, the mechanisms and conditions of coastal development are determined. The main stages of their formation and of human settlement are identified and dated.

Ружникова Н.Н., Мискевич И.В.

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

Оценка роли малых рек в геохимических процессах Белого моря

Ruzhnikova N.N., Miskevich I.V.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Assessment of the role of small rivers in the geochemical processes of the White Sea

Ключевые слова: Белое море, малая река, устье, приливы, гидрология, взвеси, геохимия, гидробиология, изменчивость.

Показано, что малые реки формируют 89-100 % устьевых систем в различных районах Белого моря при доминировании мезоприливных условий. На специфику их геохимических процессов большое влияние оказывают соизмеримость глубин, величины прилива и толщины льда, а также наличие обширных приливных осушек и морских лугов. Такие процессы здесь получают наибольшее развитие в летнюю межень, генерируя в прибрежной зоне моря процессы осадконакопления, отличающиеся от зон, граничащих с устьями больших и средних рек.

Для Белого моря характерно значительное распреснение морских вод, обусловленное влиянием большого количества впадающих в него рек, при небольших размерах этого арктического водоёма. Основной вклад в данный процесс вносят большие и средние реки, причем, около 85 % стока пресной воды в море обеспечивают 8 наиболее крупных рек с доминирующим влиянием р. Северной Двины. Не удивительно, что при исследованиях устьев рек Белого моря основной объем исследований академической и ведомственной наук приходится на такие крупные водотоки. При этом природные особенности устьев малых рек, хотя их количество во много раз превышает количество устьев больших и средних рек (табл.1), изучены крайне слабо. С другой стороны, они играют большую роль в поддержании продуктивности и биоразнообразия экосистемы Белого моря, а на отдельных его участках могут давать ощутимый вклад в транспорт взвешенного вещества и формирование состава морских донных осадков. Их изучение осложняется наличием в прибрежных районах моря разнообразных приливных и гидрометеорологических условий, не позволяющих наблюдения на нескольких водотоках распространить на всю акваторию моря. В рамках решения указанной проблемы Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (СЗО ИО РАН) в последние 5 лет выполнило комплекс исследований в ряде устьев рек с различной величиной прилива. Их результаты, в частности, нашли отражение в ряде опубликованных работ [1-5] и позволяют лучше понять роль малых рек в геохимических процессах, происходящих на Белом море.

Под малой рекой в соответствии с ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения» принято понимать *реку, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны*. При этом площадь водосбора малой реки не должна превышать 2000 км². В геоморфологическом отношении к малым рекам также можно отнести и некоторые протоки в дельтах рек. В частности, это вполне справедливо для многочисленных мелководных проток шириной 10-100 метров в дельте р. Северной Двины.

Для Белого моря характерны хорошо выраженные приливные явления с доминантой полусуточного цикла. По величине сизигийного прилива (H) на устьевых взморьях рек согласно В.Н. Михайлову [1] принято выделять устьевые области рек с микроприливными ($0,3 \text{ м} < H < 1,6 \text{ м}$), мезоприливными ($1,6 \text{ м} < H < 2,8 \text{ м}$) и макроприливными ($H > 2,8 \text{ м}$) условиями.

В Белом море преобладают реки с мезоприливными условиями, среди которых, если ориентироваться на их геоморфологические очертания, часто встречаются «классические» эстуарии с воронкообразным устьевым взморьем. На таких водных объектах образуются обширные приливные осушки, ширина которых может достигать нескольких сотен метров и даже более. Здесь большое распространение получают марши – морские луга, покрытые зарослями галофитов. На маршах углерод и азот, извлекаемые из атмосферы галофитной растительностью и фитопланктоном, дают дополнительный приток биогенной органики в прибрежные морские воды. Для устьев малых рек такой приток в меженные периоды часто превышает соответствующий вклад речного стока [5]. Дополнительный приток биогенной органики здесь также обеспечивает более ранняя вегетация микроводорослей, которые получают хорошие условия для своего развития в многочисленных приливных трещинах и промоинах уже в конце зимы при увеличении продолжительности светового дня. В таких ситуациях в морских осадках около устьев малых рек должно заметно наблюдаться возрастание органической компоненты.

В устьях малых рек, преобладающие глубины обычно бывают меньше величины прилива и лишь в микроприливных условиях они становятся соизмеримыми. При этом отсутствуют условия для формирования устойчивой стратификации устьевых вод даже в периоды весенних и осенних дождевых паводков. Сочетание малых глубин при наличии высоких скоростей приливоотливных течений в подобных устьях рек приводит к квазипостоянному взмучиванию донных отложений, усиливая обмен взвешенными и влекомыми наносами между рекой и морем. Наиболее интенсивно данный процесс протекает в летнюю межень при сизигийных приливах. В отличие от устьев больших и средних рек весной в устьях малых рек он, как правило, выражен

гораздо слабее, т.к. речные паводковые расходы, чаще всего не превышают расходы устьевых вод в фазу прилива в летний период.

Таблица 1. Характеристика распределения рек различной категории (по ГОСТ 19179-73) в Белом море [6–8]

Район моря	Приливные условия	Количество рек	Малые реки		Большие и средние реки	
			кол-во	%	кол-во	%
Воронка	<i>макро</i>	22	22	100	0	0
Горло	<i>мезо-макро</i>	31	29	93,5	2	6,5
Бассейн	<i>микро</i>	25	23	92,0	2	8,0
Кандалакшский залив	<i>мезо</i>	39	35	89,7	4	10,3
Онежский залив	<i>мезо</i>	60	56	93,3	4	6,7
Двинский залив	<i>микро</i>	28	27	96,4	1	3,6
Мезенский залив	<i>макро</i>	18	16	88,9	2	11,1

Для акваторий Белого моря, граничащих с устьями больших и средних рек, весной типично наличие вытянутых шлейфов сильно распресненных вод небольшой толщины, проникающих в зоны, удаленные от побережья. Для участков моря около устьев малых водотоков они не характерны. Локальные пятна распресненных вод, формирующиеся на их устьевых взморьях, в фазу отлива, быстрее всего, вовлекаются в процессы вдольберегового транспорта наносов. Это, в свою очередь должно формировать осадки речного генезиса в виде узких полос небольшой протяженности (*сотни метров-километры*) вблизи морского побережья. Их попадание на глубоководные участки Белого моря может наблюдаться лишь при прохождении аномально сильных штормов редкой повторяемости.

В устьях малых рек Белого моря в летне-осенний период на геохимические процессы большое влияние оказывают синоптические процессы, связанные с прохождением над его водосбором циклонических образований. Их цикличность обычно составляет несколько суток. Они, вызывают дополнительный приток взвесей в море, вымываемых с илистых и глинисто-илистых наносов, покрывающих приливные осушки, с которых стекают дождевые потоки в виде сети микроручьев. С учетом преобладания в дождевых осадках ярко выраженных кислотных свойств величина рН в устьях малых рек становится меньше 7 и может уменьшаться до отметок 6,5-6,7 и даже менее. В таких ситуациях происходит возрастание миграционной способности металлов и наблюдается изменение баланса между растворенными и нерастворенными формами различных веществ.

В зимний период на приливных осушках и мелководных участках в устьях малых рек ледовый покров на отливе обычно ложится на дно, часто прерывая водообмен между морскими и речными водами. В квадратуру он может примерзать к донному грунту, а в сизигию вновь отрываться от него, захватывая с собой его верхний примерзший слой. При этом происходит сильная деформация целостности донных осадков по глубине, которая не может иметь место при открытой воде даже на пике весеннего половодья или при прохождении сильных штормов. В свою очередь, данное явление может существенным образом менять геохимический фон устьевых вод.

Таким образом, можно предположить, что состав донных осадков в прибрежной зоне Белого моря в районах, удаленных от влияния больших и средних рек, может иметь специфический характер, определяемый геохимией смешения пресных и морских вод в устьях малых рек. В них формируются уникальные экосистемы, не нарушаемые антропогенным влиянием, т.к. в подавляющем количестве таких объектов населенные пункты и какая-либо хозяйственная деятельность отсутствуют. Данный фактор, в частности, целесообразно принимать во внимание при экологической классификации побережья Белого моря [9, 10].

Работа выполнена в рамках темы № 0149-2019-0007 государственного задания «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов — литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мискевич И.В. Оценка цикличности короткопериодной изменчивости гидрологических и гидрохимических показателей в мезоприливном устье р. Кянды в Белом море в период летней межени. Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Москва, 2015. Т. III. С. 235–239.
2. Мискевич И.В., Коробов В.Б. Гидродинамические аспекты формирования высоких концентраций взвешенных веществ в мезоприливных и макроприливных устьях рек Белого и Баренцева морей //Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». К 70-летию со дня рождения Л.Н. Карлина. Санкт-Петербург, 2017. С. 344–347.
3. Мискевич И.В., Коробов В.Б., Алабян А.М. Специфика инженерно-экологических изысканий в приливных устьях малых рек западного сектора российской Арктики // Инженерные изыскания, 2018. Том 12, № 3-4, С. 50-61.

4. Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б. и др. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля – 15 августа 2016 г.) // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 3. С. 369–373.
5. Мискевич И.В., Чульцова А.Л., Мосеев Д.С. Марши мезо-макроприливных эстуариев рек арктической зоны как источник растворенного органического азота для водных экосистем // *Естественные и технические науки*. 2018. № 4. С. 75–81.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность: Т. 1. Кольский полуостров / под ред. Н. Д. Шека. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 133 с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность: Т. 2. Карелия и Северо-Запад. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 700 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность: Т. 3. Северный край / под ред. Н. Д. Шека. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 611 с.
9. Ружникова Н.Н., Коробов В.Б. Сезонная изменчивость районирования акватории Белого моря // *Проблемы региональной экологии* 2017. № 3. С. 48–55.
10. Ружникова Н.Н. Динамика сезонного геоэкологического районирования акватории Белого моря // *Успехи современного естествознания*. 2019. № 2. С. 73–78.

It is shown that small rivers form 89-100 % of estuarine systems in different areas of the White Sea under the domination of mesopillic conditions. The specificity of their geochemical processes is greatly influenced by the commensurability of the depths of the tide and the thickness of the ice, as well as the presence of extensive tidal drifts and sea meadows. Such processes here are most developed in the summer low water, generating in the coastal zone of the sea sedimentation processes, different from the zones bordering the mouths of large and medium rivers.

Савенко А.В.¹, Савенко В.С.¹, Покровский О.С.²

(¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, e-mail: Alla_Savenko@rambler.ru; ² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, г. Архангельск, e-mail: oleg.pokrovski@get.omp.eu)

Распространенность растворенных микроэлементов в водах рек Российской Арктики

Savenko A.V.¹, Savenko V.S.¹, Pokrovsky O.S.²

(¹ Moscow M.V. Lomonosov State University; ² Federal Research Centre of Complex Studying of the Arctic Region RAS, Arkhangelsk)

Abundance of dissolved trace elements in the river waters of the Russian Arctic

Ключевые слова: микроэлементы, растворенные формы, речные воды, Арктика

Обобщены данные авторов и литературных источников по содержанию растворенных форм более 40 микроэлементов в водах рек водосборов Белого и Карского морей. Для подавляющего большинства микроэлементов средние концентрации значимо не отличаются от таковых в мировом речном стоке и только для некоторых из них (P, Fe, Zn, Cd, Y, Zr, B, W для рек водосбора Белого моря и Cs, Fe, Zn, Cd для рек водосбора Карского моря) расхождения превышают 3 раза.

Хотя основная масса химических элементов переносится речными водами в составе взвешенного вещества [1], роль растворенных форм чрезвычайно велика, поскольку они служат количественной характеристикой химической дифференциации вещества в процессе формирования материкового стока и важнейшим фактором эколого-геохимического состояния водных экосистем. К настоящему времени собран обширный массив данных по основному солевому составу вод крупнейших рек мира и получены достаточно надежные оценки ионного стока в океан [2–5]. Аналогичные сводки по растворенным микроэлементам [1, 6] базируются на несравнимо меньшем объеме фактического материала и могут рассматриваться только как сугубо предварительные оценки. Поэтому большое значение имеет расширение базы данных по содержанию растворенных форм микроэлементов в речных водах разных природно-климатических зон. В настоящей работе представлено обобщение данных авторов и литературных источников для рек водосборов Белого и Карского морей.

Отобранные пластиковым батометром пробы воды сразу после подъема на борт отфильтровывали через мембранный фильтр 0.45 мкм в 3 герметично закрывающиеся емкости: 1) в пластиковые флаконы на 100 мл с добавлением 1 мл хлороформа для определения содержания минерального фосфора и кремния колориметрическими методами с молибдатом аммония; 2) в

аналогичные флаконы на 30 мл без консервации для измерения содержания фтора потенциометрическим методом; 3) в полипропиленовые пробирки на 10 мл с предварительно внесенными туда в лабораторных условиях 0.25 мл 5 N азотной кислоты ос.ч. для определения концентраций всех остальных микроэлементов методом ICP-MS на приборе Agilent 7500ce. На каждом пресноводном устьевом участке реки было отобрано не менее 5 проб воды во время периодических гидролого-гидрохимических съемок, которые для большинства изученных рек охватывали разные фазы гидрологического режима (таблица), что позволило обеспечить достаточную репрезентативность оценок средних концентраций.

Таблица. Характеристики отбора проб воды на устьевых участках рек

Река (число проб)	Период наблюдений	Фаза гидрологического режима	Источник
Водосбор Белого моря			
Малые реки и ручьи Кандалакшского залива* (16)	07–09.2008, 07–08.2010	Летне-осенняя межень	Данная работа
	02.2010	Зимняя межень	То же
	06.2016	Весеннее половодье	«
Онега (16)	07.1998	Летне-осенняя межень	[7]
	06.2011	Весеннее половодье	Данная работа
	01.2017	Зимняя межень	То же
	08.2017	Летне-осенняя межень	«
Кянда (5)	08.2016	То же	«
	02.2017	Зимняя межень	«
Северная Двина (44)	06.1998	Летне-осенняя межень	[7]
	02.2007, 03.2008	Зимняя межень	[8]
	05.2007, 04– 06.2008	Весеннее половодье	«
	08.2007	Летне-осенняя межень	«
	07.2016, 08.2017	То же	Данная работа
Кулой (9)	08.2018	«	То же
	02.2019	Зимняя межень	«
Мезень (13)	07.1998	Летне-осенняя межень	[7]
	07.2009, 08.2015	То же	Данная работа
Сёмжа (5)	08.2018	То же	То же

Водосбор Карского моря			
Обь (55)	1993–2001	Летне-осенняя межень, зимняя межень	[9]
	08.1998	Летне-осенняя межень	[7]
	09.2007	То же	[10]
	09.2018	«	Данная работа
	11.2018	Зимняя межень	То же
Пур (5)	06.2013, 06.2014	Весеннее половодье	[11]
	08.2013, 08.2014	Летне-осенняя межень	«
	02.2014	Зимняя межень	«
Таз (5)	06.2013, 06.2014	Весеннее половодье	«
	08.2013, 08.2014	Летне-осенняя межень	«
	02.2014	Зимняя межень	«
Енисей (35)	1993–2001	Летне-осенняя межень, зимняя межень	[9]
	08.1998	Летне-осенняя межень	[7]
	08.2009, 09.2010	То же	Данная работа
	03.2016	Зимняя межень	То же

В силу относительно высокой пространственно-временной изменчивости содержания растворенных микроэлементов в поверхностных водах, исходя из эмпирических закономерностей, обычно полагают, что при расхождении средних концентраций в 2–3 раза различия незначительны и только при расхождении более чем на половину порядка величины (>5 раз) их можно принимать во внимание.

Рассматривая с этой точки зрения данные по рекам водосбора Белого моря, можно утверждать, что для большинства определявшихся химических элементов (Si, Li, Rb, Cs, Sr, Ba, Mn, Co, Ni, Cu, Tl, Pb, Al, Ga, Ti, Hf, Th, U, редкоземельные элементы, F, V, Cr, Ge, As, Mo, Sb) средние концентрации растворенных форм значимо не отличаются от таковых для рек мира и только для нескольких элементов (P, Fe, Cd, Y, Zr, B) расхождения составляют 3–5 раз (рисунок).

Существенные расхождения средних концентраций цинка в водах рек водосбора Белого моря (4.2 мкг/л) и мира (0.6 мкг/л) вызваны, скорее всего, ошибкой в определении последней величины, поскольку предыдущие оценки давали концентрации порядка 20–30 мкг/л [13, 14], а содержание растворенной меди в речных водах только в редких случаях превышает концентрацию цинка. Для вольфрама, который современными прецизионными

методами в речных водах определялся не часто, напротив, можно предположить завышение в [7] средней концентрации в мировом речном стоке (0.10 мкг/л по сравнению с 0.03 мкг/л по оценке [14]). Кроме того, согласно [7], отношение Mo/W в водах рек мира равно 4.2, тогда как по нашим данным для рек водосбора Белого моря это отношение составляет 22.5, что соответствует известному факту значительно меньшей подвижности вольфрама в зоне гипергенеза, чем молибдена. Для редкоземельных элементов наблюдается закономерное снижение расхождений с данными по рекам мира по мере увеличения атомного номера (рисунок).

Аналогичная ситуация характерна для рек водосбора Карского моря. Незначительные расхождения концентраций растворенных форм по сравнению с водами рек мира наблюдаются для P, Si, Li, Rb, Sr, Ba, Mn, Co, Ni, Cu, Pb, Al, Y, Ti, U, La, Ce, Pr, V, Cr, Ge, As, Mo; в 3–5 раз – для Cs, Fe и Zn (рисунок). При этом обращает внимание на порядок величины более низкое содержание кадмия (4 нг/л) по сравнению с мировым речным стоком (80 нг/л), что может быть связано с особенностями регионального геохимического фона.

Таким образом, из представленного материала следует, что средние концентрации растворенных микроэлементов в речных водах водосборов Белого и Карского морей за немногими, требующими подтверждения исключениями близки к средним концентрациям микроэлементов в водах рек мира. Сходство микроэлементного состава речных вод Российской Арктики и мира может возникать в результате нивелирования его пространственной изменчивости на больших водосборах.

Авторы выражают признательность Н.А. Демиденко, М.Н. Кожину и П.Н. Маккавееву за отбор проб воды для химических анализов.

Изучение микроэлементного состава речных вод Российской Арктики выполнено при поддержке РФФИ (грант 18–05–60219).

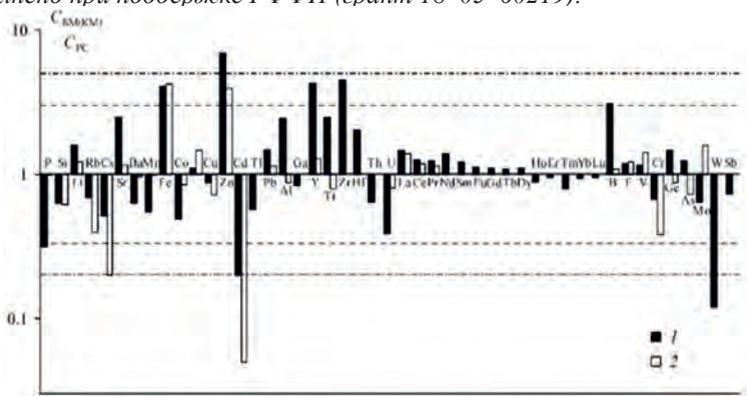


Рисунок. Сравнение средних концентраций растворенных микроэлементов в водах устьевых участков рек водосборов Белого (1) и Карского (2) морей ($C_{\text{об}}$ и $C_{\text{кар}}$, мкг/л) с мировым уровнем (C_{pc} , мкг/л: P [12], Si [5], F [13], остальные микроэлементы [6]). Штриховыми и штрихпунктирными линиями показаны соответственно различия в 3 и 5 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М., 2012. 452 с.
2. Livingstone D.A. Chemical composition of rivers and lakes // U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1963. V. 440G. P. 64 p.
3. Алекин О.А., Бражникова Л.В. Сток растворенных веществ с территории СССР. М.: Наука, 1964. 144 с.
4. Meybeck M. Pathways of major elements from land to the oceans through rivers // River Inputs to Ocean Systems. Switzerland: UNEP and UNESCO, 1981. P. 18–30.
5. Meybeck M. Global occurrence of major elements in rivers // Treatise on Geochemistry. V. 5. Amsterdam: Elsevier–Pergamon, 2004. P. 207–223.
6. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // Treatise on Geochemistry. Vol. 5. Amsterdam: Elsevier–Pergamon, 2004. P. 225–272.
7. Guay C.K.H., Zhulidov A.V., Robarts R.D. et al. Measurements of Cd, Cu, Pb and Zn in the lower reaches of major Eurasian arctic rivers using trace metal clean techniques // Environ. Pollut. 2010. V. 158. № 2. P. 624–630.
8. Pokrovsky O.S., Viers J., Shirokova L.S. et al. Dissolved, suspended, and colloidal fluxes of organic carbon, major and trace elements in the Severnaya Dvina River and its tributary // Chem. Geol. 2010. V. 273. № 1–2. P. 136–149.
9. Gordeev V.V., Beeskow B., Rachold V. Geochemistry of the Ob and Yenisey estuaries: A comparative study. Berichte zur Polar- und Meeresforschung. 2007. V. 565. 235 p.
10. Демина Л.Л., Гордеев В.В., Галкин С.В. и др. Биогеохимия некоторых тяжелых металлов и металлоидов на разрезе эстуарий реки Обь – Карское море // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 771–784.
11. Pokrovsky O.S., Manasypov R.M., Loiko S.V. et al. Trace element transport in western Siberian rivers across a permafrost gradient // Biogeosciences. 2016. V. 13. № 6. P. 1877–1900.
12. Савенко В.С., Савенко А.В. Геохимия фосфора в глобальном гидрологическом цикле. М.: ГЕОС, 2007. 248 с.
13. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
14. Martin J.M., Meybeck M. The content of major elements in the dissolved and particulate load of rivers // Biogeochemistry of Estuarine Sediments. Paris: UNESCO, 1978. P. 95–110.

Data of authors and literature sources on the content of dissolved forms of more than 40 trace elements in the river waters of the White and Kara Seas watersheds was generalized. The average concentrations for the majority of trace elements do not significantly differ from those in the global river runoff and only for some of them (P, Fe, Zn, Cd, Y, Zr, B, W for rivers of the White Sea watershed and Cs, Fe, Zn, Cd for rivers of the Kara Sea watersheds) differences exceeds 3 times.

Толстикова А.В.¹, Чернов И.А.², Яковлев Н.Г.³

(¹Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск alexeytolstikov@mail.ru; ²Институт прикладных математических исследований Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск; ³Институт вычислительной математики РАН, г. Москва)

Численное моделирование обмена веществом и энергией между районами Белого моря

Tolstikov A.V.¹, Chernov I.A.², Iakovlev N.G.³

(¹Institute on Northern Water Problems of Karelian RC RAS, Petrozavodsk; Institute of Applied Math Research of Karelian RC RAS, Petrozavodsk; ³Institute of numerical mathematics of RAS)

Numerical modeling of matter and energy exchange for subregions of the White Sea

Ключевые слова: Белое море, моделирование, вещество, примесь, JASMINE, BFM

Программный комплекс JASMINE используется для моделирования термогидродинамического состояния и биогеохимических процессов в Белом море. В частности, он позволяет рассчитать потоки вещества и водообмен между Онежским, Двинским, Кандалакшским и Мезенским заливами Белого моря, которые выделены согласно лоции. Представлены некоторые особенности переноса примеси для демонстрации возможностей численной модели.

Белое море полностью входит в территориальные воды Российской Федерации и активно используется для рыболовства, рекреации, транспорта, сохранения биоразнообразия. Поэтому изучение изменчивости физических и биологических процессов в этом водоеме необходимо для развития Северного экономического района. Особую роль в исследовании морей играет численное моделирование процессов, которые либо сложно наблюдать в природе, либо это требует значительных затрат ресурсов. В частности, моделирование помогает изучать распространение примесей различной природы, оценивать водо- и массообмен между отдельными районами моря, уточнять границы зон смешения морских и речных вод и т.д. Безусловно, для этого существуют и другие количественные методы, но численное моделирование при адекватном воспроизведении термогидродинамических и биогеохимических процессов имеет ряд преимуществ. Например, расчет реакции моря на изменения климата по различным сценариям или последствий тех или иных долговременных воздействий (многолетнее развитие экосистем под воздействием антропогенного загрязнения), оценка трудноизмеримых величин и постановка численных экспериментов.

Исследование потоков вещества и энергии между отдельными районами Белого моря, выделенными согласно лоции [1], выполнено с помощью

программного комплекса JASMINE [2] (рис. 1). Расчеты проводились на вычислительном кластере КарНЦ РАН [3]. Результаты моделирования достаточно хорошо воспроизводят природные процессы [2].

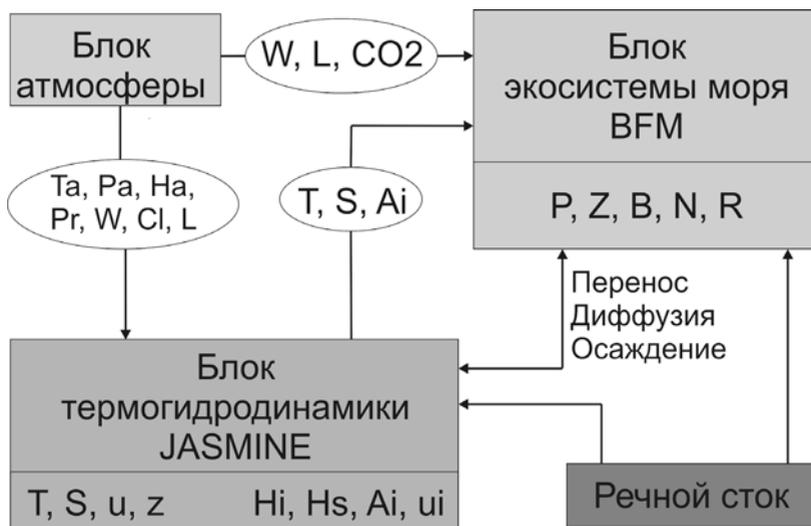


Рисунок 1. Схема блоков и их сопряжения в программном комплексе JASMINE. W – скорость ветра, L – освещенность, CO_2 – углекислый газ в атмосфере. T_a – температура воздуха, P_a – давление на уровне моря, N_a – влажность воздуха, P_r – осадки, C_l – облачность. T – температура воды, S – соленость, u – векторная скорость течений, z – уровень моря, N_i – количество льда, N_s – количество снега, A_i – сплоченность морского льда, u_i – векторная скорость дрейфа льда. P – характеристики фитопланктона, Z – зоопланктона, B – бактериопланктона, N – концентрации биогенного неорганического вещества, R – концентрации и характеристики неживой органики

Рассматривался перенос пассивной примеси произвольной природы между отдельными районами Белого моря и распространение вещества из точечных источников загрязнений. Программный комплекс JASMINE позволяет моделировать распространение различных видов примеси: *плавучей*, то есть сосредоточенной на поверхности моря и переносимой горизонтальными течениями по той же схеме, что и поля, описывающие морской лед), *трехмерной* с нулевой плавучестью (аналогичной, например, солености), *тонущей* (обладающей вертикальной скоростью относительно воды - сюда относится, например, детрит), *с заданной плотностью* (такая

примесь может тонуть в менее плотной воде и всплывать в более плотной). Пассивная примесь может также меняться в силу воздействия различных процессов, а не только перемешиваться течениями: так, биогеохимические поля взаимодействуют в рамках модели экосистемы, компоненты экосистемы морского льда обмениваются веществом с пелагиалью, примесь может преобразовываться в ходе химических реакций или живыми организмами.

Для расчета водообмена через жидкие границы произвольной акватории применялась теорема Гаусса-Остроградского с учетом потока воды через поверхность моря (осадки и испарение) и стока рек. Расчеты подтверждают, что в Белом море баланс между испарением и осадками близок к нулевому [4], а эффективный водообмен Белого моря с Баренцевым и между частями Белого моря практически совпадает со стоком рек. Граничным условием на жидкой границе для переноса плавучей пассивной примеси является отсутствие потока вещества при втекании и условие излучения при вытекании воды. Иными словами, выносится имеющееся на границе вещество, а при втекании воды концентрация по другую сторону границы полагается равной концентрации по эту сторону.

Были проведены три численных эксперимента (шаг по горизонтали ~3 км) по переносу за три года пяти полей плавучей примеси; четыре изначально сосредоточены в одном узле сетки — в вершинах Онежского, Двинского, Кандалакшского и Мезенского заливов, а пятое поле было изначально равномерно распределено по акватории моря. В эталонном расчете (2000–2002 гг.) ветер брался из данных реанализа NCEP/NCAR [3], а полусуточный прилив задавался как гармоническое колебание внешнего уровня моря на жидкой границе. Два других расчета отличались отсутствием либо прилива, либо ветра.

Результаты показывают, что ветер оказывает более существенное влияние на перенос плавучей примеси, хотя роли прилива и ветра сравнимы. Заливы имеют существенно разную специфику. Онежский залив наиболее долго очищается от примеси (за три года средняя концентрация снижается всего в три раза), причем прилив препятствует выносу вещества: без прилива (но с ветром) концентрация снижается (за три года) более чем в 20 раз, а без ветра (но с приливом) вообще почти не снижается. Вещество из других заливов, попадающее в Онежский, также надолго задерживается там. Без ветра концентрация вещества из Двинского и Кандалакшского заливов и равномерного поля монотонно растет в Онежском заливе в течение трех лет. Такой эффект “ловушки” был нами ранее выявлен [4] на модели с разрешением в 8 км. Из трех других заливов примесь выносится совместно ветром и приливом; для Двинского важнее ветер, а для Кандалакшского — прилив. Мезенский залив очищается быстрее всего, без ветра несколько дольше. Вещество из него заносится в Горло приливными течениями, но этому препятствует ветер. Без ветра некоторое количество вещества попадает

в Двинский залив. Равномерное поле практически полностью уносится из моря (средняя концентрация снижается в 20 раз) за срок порядка двух лет, а без прилива — снижается почти до нуля. Без ветра Онежский залив и в этом случае почти не отдает вещество.

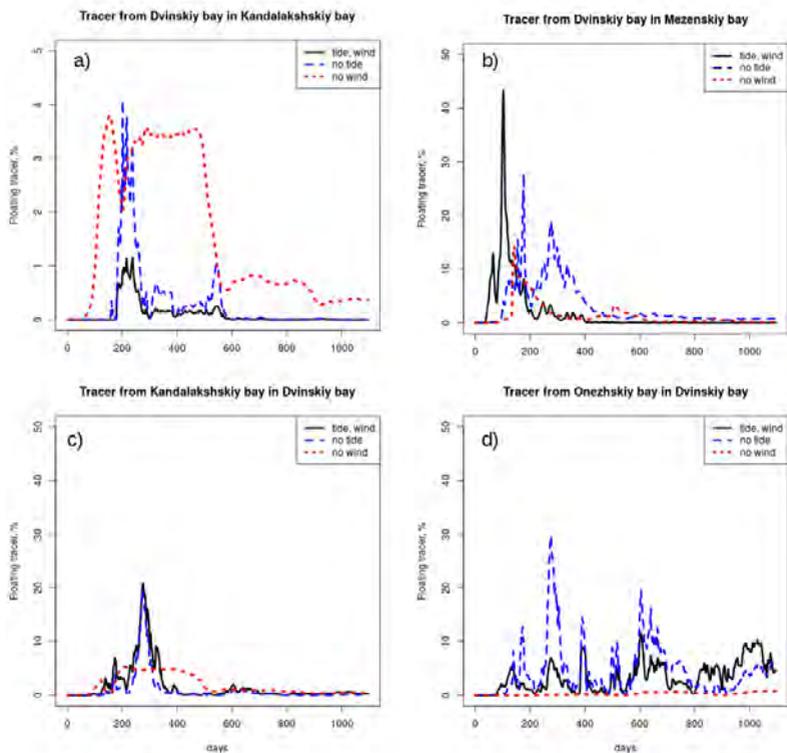


Рисунок 2. Средняя по (а), (с) – Кандалакшскому, (b) – Мезенскому, (d) – Двинскому заливу концентрация плавучей пассивной примеси, изначально сосредоточенная в (а), (b) – Двинском, (с) – Кандалакшском, (d) – Онежском заливах в процентах от начальной концентрации. Сплошная, пунктирная, штриховая линии — расчет с ветром и приливом, без прилива, без ветра, соответственно.

Имеется небольшой приливной перенос примеси, подавляемый ветром (который, однако, тоже осуществляет перенос) из Двинского залива в Кандалакшский (рис 2-а), а в Мезенский — существенный перенос, причем и ветром, и приливом (рис. 2-б). Из Кандалакшского залива вещество попадает во все три залива во всех трех экспериментах (рис. 2-с), причем

пятно расширяется почти на всю акваторию. Ветер перемещает вещество из Онежского залива (рис. 2-d) во все остальные. Все сказанное согласуется с общепринятой картиной основных течений, за исключением аномальной закрытости Онежского залива.

Работа выполнена в рамках темы Госзадания «Закономерности изменений экосистем Белого моря при интенсификации освоения Арктической зоны региона и под влиянием изменений климата», № АААА-А18-118032290034-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лощия Белого моря. СПб: Мин. обороны СССР, ГУНиО. 1995. № 1110. 336 с.
2. Chernov I., Lazzari P., Tolstikov A. et al. Hydrodynamical and biogeochemical spatiotemporal variability in the White Sea: A modeling study // *Journal of Marine Systems*. 2018. № 187. P. 23–35.
3. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 1996. V. 77. P. 437–470.
4. Chernov I., Tolstikov A., Iakovlev N. Modelling of Tracer Transport in the White Sea // *Proceedings of the 11-th International Scientific and Practical Conference «Environment. Technology. Resources»*. Rezekne, Latvia. 2017. V. I. P. 54–58.
5. Вычислительный кластер Карельского научного центра. Режим доступа: <http://cluster.krc.karelia.ru/>
6. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Под ред. Н.Н. Филатов, А.Ю. Тержевик. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 335 с.

The JASMINE numerical model is used to simulate the thermohydrodynamic state and biogeochemical processes in the White Sea. In particular, it allows to calculate the flux of matter and water exchange between the Onezhskiy, Dvinskiy, Kandalakshskiy, and Mezenskiy bays of the White Sea. Some features of floating tracer transport are presented in order to demonstrate the capabilities of the numerical model.

Чеканов К.А., Краснова Е.Д.

(Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: chekanov@mail.bio.msu.ru)

Характеристики фотосинтетического аппарата криптофитовых жгутиконосцев *Rhodomonas* sp. из хемоклина стратифицированной лагуны на Зеленом мысе (Белое море, Кандалакшский залив)

Chekanov K.A., Krasnova E.D.

(Biological Faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow)

Characteristics of the photosynthetic apparatus of cryptophyte flagellates *Rhodomonas* sp. from the chemocline of a stratified lagoon at the cape Zeleny (White Sea, Kandalaksha Bay)

Ключевые слова: Белое море, меромиктические водоемы, *Rhodomonas*, нефотохимическое тушение, фотосинтез

С помощью импульсно-модулированного флуориметра FluorPen FP 100 исследованы параметры кинетики флуоресценции хлорофилла «а» жгутиконосцев *Rhodomonas* sp. (Ruegnomonadales, Cryptophyta) из хемоклина лагуны на Зеленом мысе в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ.

На побережье Белого моря из-за изрезанности береговой линии, неровного рельефа дна и продолжающегося послеледникового поднятия берега образовалось множество лагун и соленых озер, в разной степени изолированных от Белого моря [1]. В хемоклине таких водоемов в летнее время нередко наблюдается цветение, и даже гиперцветение, криптофитовых жгутиконосцев, которые образуют над редокс-переходом ярко окрашенный красный слой толщиной 10–20 см [2]. Зона их обитания характеризуется: 1) соленостью, близкой к морской и относительным постоянством физико-химических характеристик среды обитания, по сравнению с вышележащей водной массой и с морем; 2) крайне слабой освещенностью; 3) соседством с сероводородной водной массой, из которой некоторое количество сероводорода диффундирует вверх и там окисляется; 4) диффузионным подтоком биогенных веществ из сероводородной зоны, где их концентрация очень велика, и 5) соседством со слоем аноксигенных фототрофных бактерий, расположенным чуть ниже криптофитового слоя в анаэробной части хемоклина, которые за счет газовых пузырьков в заметном количестве всплывают вверх и становятся доступными для миксотрофов. Фикобиллины, входящие в состав фотосинтетического аппарата криптофитовых водорослей, обладают повышенной чувствительностью к свету в зеленой области спектра и позволяют им улавливать слабый свет в глубине воды. Данная работа

посвящена изучению параметров кинетики флуоресценции хлорофилла «а» жгутиконосцев *Rhodomonas* sp. (Ruegenomonadales, Cryptophyta) из хемоклина лагуны на Зеленом мысе в окрестностях Беломорской биологической станции МГУ с помощью импульсно-модулированного флуориметра FluorPen FP 100 (PSI Instruments, Чехия).

Методы

Пробы из слоя с высокой численностью клеток криптофитовых водорослей *Rhodomonas* sp. (более 80% от биомассы всего фитопланктона), отобранные в лагуне на Зеленом мысе, инкубировали в течение 4 часов на свету («световые» клетки) и в темноте («темновые» клетки) при температуре +4°C, и при тех же условиях – с добавлением разбавителя фотосинтетической электрон-транспортной цепи и фосфорилирования АТФ 50 мМ сульфатом аммония. В разных вариантах опытов использовали белый свет, красный и зеленый с интенсивностью, близкой естественным условиям в горизонте обитания криптофитовых водорослей (150-200 Лк). Кроме того, для оценки скорости перестройки фотосинтетического аппарата, пробы затемняли на разное время: от 0,5 часа до 4 часов с шагом 30 минут. В каждом варианте опыта в трех повторностях клетки подвергали темновой адаптации в течение 5 минут и регистрировали индукционные кривые флуоресценции хлорофилла «а».

Результаты

1) Как «темновые», так и «световые» клетки обладали функционирующим фотосинтетическим аппаратом и сравнительно высокими значениями нормированной переменной флуоресценции, что свидетельствует о потенциальной способности к утилизации поглощенной энергии света. Однако «темновые» клетки в отличие от «световых» не были способны к активации нефотохимического тушения возбужденных состояний хлорофилла в ответ на актиничный свет, что было определено по кинетике параметра NPQ Штерна-Фольмера при действии на клетки яркого синего света (480 нм, 800 мкмоль/м²/с).

2) В опытах с освещением светом в разных диапазонах выяснилось, что клетки *Rhodomonas* sp. одинаково реагируют на белый и зеленый свет и иначе – на красный. Действие на клетки *Rhodomonas* sp. зеленого света приводило к активации нефотохимического тушения (как и в случае белого света). Однако адаптация клеток к красному свету не приводила к индукции тушения (аналогично «темновым» клеткам). На основании полученных данных можно сделать предположение о том, что клетки *Rhodomonas* sp. не способны реагировать на красный свет вследствие особенностей их естественной среды обитания. Верхние слои озера поглощают свет из красной и инфракрасной области спектра, а голубую и зеленую пропускают.

3) Добавка соли аммония во всех вариантах освещения приводила к подавлению нефотохимического тушения.

4) В эксперименте с разной продолжительностью затемнения было определено, что утрата способности к активации регулируемого нефотохимического тушения возбужденных состояний хлорофилла в ответ на актиничный свет происходит после 2,5 часов содержания в темноте.

Обсуждение

Криптофитовые водоросли обладают уникальным механизмом нефотохимического тушения, заключающимся в отсоединении светособирающих антенных комплексов от реакционных центров фотосистем и формированием хлорофилл а/с-комплексов, являющихся эффективными сайтами тушения [3]. Данный тип механизмов отличается высокой гибкостью в ответ на действие света и считается энергозависимым типом тушения, то есть регулируемым трансмембранным протонным градиентом тилакоидных мембран. Это подтверждается полным подавлением нефотохимического тушения у клеток родомоноса, инкубированных с разобщителем. Нулевые значения параметра NPQ у «темновых» клеток можно объяснить тем, что в них фотосинтетический аппарат исходно находится в «разобранном» состоянии (антенные комплексы отсоединены от реакционных центров). Это свидетельствует о существенных перестройках в клетках *Rhodomonas* sp. на уровне центрального метаболизма. По-видимому, предпочтительными становятся реакции диссимиляции, а не автотрофного усвоения углерода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 19-05-00377).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А. и др. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полу-изолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов / Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 12. М.: Т-во научных изданий КМК Москва, 2016. С. 211–241.
2. Kaňa R., Kotabová E., Sobotka R., Prášil O. Non-photochemical quenching in cryptophyte alga *Rhodomonas salina* is located in chlorophyll a/c antennae // PLoS One. 2012. V. 7(1). e29700.

Using a pulse-modulated fluorometer FluorPen FP 100, the kinetics of chlorophyll “a” fluorescence of the flagellates *Rhodomonas* sp. (Pyrenomonadales, Cryptophyta) from the chemocline of the lagoon at the cape Zeleny in the vicinity of the White Sea Biological station of Moscow State University was studied.

**Чупаков А.В.¹, Покровский О.С.^{2,3}, Морева О.Ю.¹,
Широкова Л.С.^{1,2}, Неверова Н.В.¹, Чупакова А.А.¹,
Котова Е.И.¹, Воробьева Т.Я.¹**

(¹Институт экологических проблем Севера, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН, г. Архангельск, e-mail: artem.chupakov@gmail.com; ²Geoscience Environment Toulouse, Тулуза; ³Лаборатория БИО-ГЕО-КЛИМ, Томский государственный университет, Томск)

Сезонное распределение стока растворённого углерода, биогенных элементов и металлов в Белое море на примере реки Северная Двина

**Chupakov A.V.¹, Pokrovsky O.S.^{2,3}, Moreva O.Y.¹,
Shirokova L.S.^{1,2}, Neverova N.V.¹, Chupakova A.A.¹,
Kotova E.I.¹, Vorobyeva T.Y.¹**

(¹Institute of Ecological Problems of the North, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk; ²Geoscience Environment Toulouse, Toulouse; ³BIO-GEO-CLIM Laboratory, Tomsk State University, Tomsk)

Seasonal distribution of the flow of dissolved carbon, nutrients and metals into the White Sea as exemplified by the Severnaya Dvina River

Ключевые слова: Северная Двина, распределение потоков элементов

Изучалась межгодовая и сезонная изменчивость элементного состава реки Северной Двины. Выделены группы элементов по характеру поведения в годовом гидрологическом цикле.

Прогнозирование динамики континентального стока в условиях меняющегося климата является одной из основных задач научного сообщества, работающего в настоящее время в арктическом регионе [1, 2]. По этой причине основные потоки и потоки микроэлементов в крупных арктических реках активно исследуются [3–7]. Бореальная и субарктическая континентальные зоны обладают огромными запасами органического углерода в торфяниках, почвенном и растительном покрове. В этих зонах происходит формирование континентального речного стока, обогащённого как растворённым органическим веществом (РОВ), так и биогенными элементами. Высокие концентрации РОВ в значительной степени повышают миграционный потенциал множества элементов из-за образования устойчивых комплексных соединений, коллоидных частиц или других ассоциатов, понижения pH и др.

Для данной территории характерны большие вариации, как объёма речного стока, так и его химического состава, особенно в периоды весеннего и осеннего паводков [8–10]. В рамках работы мы охарактеризовали сезонную динамику речного стока элементов в растворённой фракции (<0,45 мкм) для реки Северной Двины.

В качестве пункта регулярных наблюдений (рис.) нами был выбран участок акватории реки в начале дельты, где не наблюдается проникновение осолонённых вод (лишь изредка, в результате сильнейших нагонов возможно проникновение, в период проведения работ не наблюдалось). Район выбирался с позиций доступности и репрезентативности. Для оценки репрезентативности точки наблюдений было выполнено три пространственные съёмки в период конца летней межени различных годов. В конце летней межени можно ожидать максимальное проявление неоднородностей элементного состава вод, вызванных поверхностным и подземным стоком, а также активностью гидробионтов.



Рисунок. Карта схема расположения точки регулярных наблюдений

Анализ выборок пространственных съёмок на нормальность распределения с помощью построения гистограмм и критерия Шапиро-Уилка показал возможность применения параметрического одновыборочного теста Стьюдента для доказательства репрезентативности точки. В результате было установлено, что для 38 показателей из 40 нет оснований считать, что значение показателя в реперной точке наблюдений не соответствует математическому ожиданию генеральной совокупности.

Для определения элементного состава растворенной фракции речного стока применялись методы ВЭЖХ (Dionex ICS 2000), ИСП-МС (Agilent ce 7500). Определение органической и неорганической форм углерода проводили методом каталитического окисления (Shimadzu TOC-VCSN). Определение форм P, N и Si проводили фотометрическими методами.

В зависимости сезонного поведения было выделено три основных группы элементов, демонстрирующих четкую взаимосвязь между концентрацией и расходом реки. Растворенный неорганический углерод (РНУ), основные анионы (Cl^- , SO_4^{2-}), щелочные и щелочноземельные элементы (Li, Na, Mg, K, Ca, Rb, Sr, Ba), кислородсодержащие анионы (B, Mo, Ge, As) и U продемонстрировали минимальные концентрации во время весеннего половодья и осеннего поднятия уровня (20-25% годового стока, таблица). Наибольший сток этих подвижных элементов происходит в периоды межени (в основном зимней, 35-40%), что согласуется с общими знаниями о сезонности вариаций содержания Ca, Mg, РНУ и других растворимых элементов в бореальных реках, включая российскую субарктическую зону и саму Северную Двину. Обогащение речной воды этими элементами происходит за счет их поступления из глубинных подземных вод, которые постепенно разбавляются поверхностными водами.

Концентрации растворенного органического углерода (РОУ), малорастворимых гидролизатов (Al, Ti, Ga, Y, PЗЭ, Zr, Nb, Hf, Th) и связанных с органическим веществом металлов (V, Cr, Co, Ni, Cu, Cd, Pb) имели максимум на пике весеннего половодья, что согласуется с другими крупными и малыми высокоширотными речными бассейнами. В этот период в зону смешения реки Северной Двины поступает около половины (или более) годового стока данных элементов (таблица).

На динамику содержания N, Si, Mn и Fe в значительной степени оказывают влияние как поверхностный, так и подземный сток, а также автохтонные биологические процессы в русле реки. Концентрация растворенного Fe продемонстрировала два годовых максимума содержания: в период в период весеннего половодья ($46 \pm 13\%$ годового стока), в форме органических коллоидов, и зимний максимум, который связан с увеличением подземного стока Fe(II). Летний минимум Fe может быть связан с протеканием целого ряда биологических (биодegradация, поглощение планктоном и перифитоном) и физико-химических (фотодеструкция) процессов. Подобные летние минимумы в содержании растворенных формах N, P и Si могут быть связаны с биологическим поглощением речным планктоном и перифитоном, как это известно для других рек в умеренных и бореальных зонах.

Марганец продемонстрировал единственный пик концентрации в начале весеннего паводка, который, вероятно, связан с его выщелачиванием из растительной подстилки и десорбцией из речной взвеси.

Годовое распределение стока воды и некоторых элементов (<0.45 мкм) в реке Северная Двина

% годового стока	зима (дек-апр)	весеннее половодье (май-июн)	лето (июл-сен)	осень (окт-ноя)
Расход реки	24±10	46±6	14±4	17±11
РОУ	18±12	52±9	12±6	18±16
РНУ	37±5	24±2	22±3	17±4
Cl ⁻	39±4	21±5	23±2	18±2

SO ₄ ²⁻	40±7	20±3	22±3	17±3
PO ₄ ³⁻	20±8	41±14	9±2	30±28
P _{tot}	19±13	38±7	10±3	33±32
NO ₂ ⁻	18±6	55±36	15±3	12±5
NO ₃ ⁻	43±13	36±8	6±2	16±7
NH ₄ ⁺	22±11	33±3	11±3	34±19
N _{tot}	21±9	46±13	8±3	25±21
Si	34±12	39±6	10±5	17±12
Li	35±4	28±3	20±3	17±4
B	35±5	27±10	21±3	17±3
Na	38±5	22±6	22±2	18±2
Mg	36±5	26±7	21±3	18±4
Al	15±13	59±7	9±5	17±16
K	28±7	40±11	16±3	16±7
Ca	37±8	25±6	20±5	18±3
Ti	14±8	59±33	4±3	23±20
V	22±15	48±9	14±4	17±17
Cr	20±14	54±8	9±4	18±17
Mn	39±9	42±19	8±5	11±7
Fe	26±7	46±13	7±5	21±21
Co	25±14	50±16	8±4	17±12
Ni	16±6	54±13	13±6	16±15
Cu	20±12	52±10	12±5	16±12
Ga	19±13	49±10	14±4	18±17
Ge	30±9	41±12	14±5	15±10
As	20±7	42±9	20±6	18±13
Rb	28±6	38±6	18±3	16±8
Sr	39±5	23±6	21±3	17±3
Y	14±12	62±8	9±5	16±15
Zr	17±13	56±9	10±6	17±15
Mo	35±4	26±7	23±3	17±4
Cd	25±16	47±9	8±3	20±19
Sb	24±7	52±10	15±6	9±4
Ba	33±6	32±7	19±2	17±6
La	13±12	62±12	7±5	18±17
Hf	11±6	65±36	11±8	13±13
Pb	21±12	50±11	10±5	18±17
Th	11±10	65±16	6±5	18±17
U	39±3	22±4	22±2	17±2

Работа выполнена при финансовой поддержке Исследование выполнено в рамках темы ФНИР № 0409-2015-0140 «Комплексные исследования биотических и абиотических компонентов водных экосистем водосборного бассейна Белого и юго-востока Баренцева морей» (2018-2020 гг.). Грантов РФФИ №18-05-01041 и РФФИ: №17-05-00348.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bring A., Fedorova I., Dibike Y. et al. Arctic terrestrial hydrology: A synthesis of processes, regional effects, and research challenges // *J. Geophys. Res.: Biogeosci.* 2016. 121. P. 621–649.
2. McClelland J.W., Holmes R.M., Raymond P.A. et al. Particulate organic carbon and nitrogen export from major Arctic rivers // *Global Biogeochem. Cycles.* 2016. V. 30. P. 629–643 doi:10.1002/2015GB005351.
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 // *Amer. J. Sci.* 1996. V. 296. P. 664–691.
4. Tank S.E., Striegl R.G., McClelland J.W., Kokelj S.V. Multi-decadal increases in dissolved organic carbon and alkalinity flux from the Mackenzie drainage basin to the Arctic Ocean // *Environ. Res. Lett.* 2016. V. 11. 054015. doi:10.1088/1748-9326/11/5/054015.
5. O'Donnell J.A., Aiken G.R., Swanson D.K. et al. Dissolved organic matter composition of Arctic rivers: Linking permafrost and parent material to riverine carbon // *Global Biogeochem. Cycles.* 2016. 30. P 1811–1826.
6. Kaiser K., Canedo-Oropeza M., McMahon R., Amon R.M.W. Origins and transformations of dissolved organic matter in large Arctic rivers // *Sci. Reports.* 2017. V. 7. 13064. doi:10.1038/s41598-017-12729-1.
7. Griffin C.G., McClelland J.W., Frey K.E., Holmes R.M. Quantifying CDOM and DOC in major Arctic rivers during ice-free conditions using Landsat TM and ETM+ data // *Remote Sen. Environ.* 2018. V. 209. P. 395–409.
8. Gordeev V.V., Sidorov I.S. Concentration of major elements and their outflow into the Laptev Sea by the Lena River // *Marine Chemistry.* 1993. V. 43. P. 33–45.
9. Rember R.D., Trefry J.H. Increased concentrations of dissolved trace metals and organic carbon during snowmelt in rivers of the Alaskan Arctic // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2004. V. 68(3). P. 477–489.
10. Yang D., Shi X., Marsh P. Variability and extreme of Mackenzie River daily discharge during 1973–2011 // *Quarter. Internat.* 2015. V. 380–381. P. 159–168.

The interannual and seasonal variability of the elemental composition of the Northern Dvina River was studied. Groups of elements are distinguished by the nature of behavior in the annual hydrological cycle.

Шилова О.С.

(Московский университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва, e-mail: o.olyunina@mail.ru)

Особенности формирования диатомовых ассоциаций в осадках отделяющихся от моря водоемов Карельского берега Белого моря

Shilova O.S.

(Lomonosov Moscow State University, Moscow)

Features of diatom associations in sediments of lakes separating from the sea, Karelian Coast, White Sea

Ключевые слова: диатомей, меромиктические озера, донные отложения, Белое море

Изучены диатомовые ассоциации в поверхностных осадках двух меромиктических озер, расположенных на Карельском берегу Белого моря. Для озера Трехцветного отмечается единство состава диатомовых ассоциаций во всех пробах несмотря на резкие градиенты среды, тогда как в озере Еловом обнаруживается четкая зональность видового состава.

Меромиктические озера, по-видимому, являются закономерным этапом эволюции отделяющихся от моря водоемов [1]. В разрезах донных отложений поднятых озер стадия меромиктического озера представлена тонкими слоистыми органогенными илами, длительность ее по оценкам может оставлять несколько сотен лет [2]. Специальных исследований диатомей в донных осадках современных меромиктических озер на побережье Белого моря до настоящего времени не проводилось. Однако подобное исследование весьма актуально, поскольку интерпретация данных диатомового анализа, являющегося одним из основных методов при изучении перемещения береговой линии моря, опирается на изучение особенностей формирования диатомовых ассоциаций в донных осадках современных водоемов различного типа. Особенности накопления диатомей в поверхностных осадках меромиктических водоемов будут определяться сосуществованием в озере сообществ диатомовых водорослей, адаптированных к разной солености, и наличием анаэробной зоны, непригодной для их обитания. Постоянная стратификация и резкие различия в физико-химических характеристиках водных масс должны отражаться в концентрической зональности диатомовых ассоциаций в донных осадках меромиктических водоемов.

В апреле и сентябре 2018 исследованы 6 меромиктических водоемов в районе Беломорской биологической станции МГУ имени Н.А.Перцова, находящихся на разной стадии изоляции от моря: озера Нижнее Ершовское, Трехцветное, Еловое, Большие Хрусломены и Кисло-Сладкое и лагуна на

Зеленом мысе. В данной работе представлены результаты диатомового анализа поверхностных отложений озер Трехцветного и Елового.

Озеро Трехцветное (66°35'31"N, 32°58'40"E) в Пеккелинской губе – стабильный меромиктический водоем [1]. Пресный миксолимнион располагается до глубины 1 м, застойная соленая водная масса (монимолимнион, ~22 ‰) начинается с глубины 1.5 м, а между ними находится узкий пикноклин с резкими физико-химическими градиентами. Сероводород отмечается с глубины 1.5 м и у дна достигает очень высоких концентраций (до 600 мг/л).

Озеро Еловое (66°28'53"N, 33°16'50"E), расположенное на северо-западном побережье губы Кузокоцкой, имеет пресный (0.1-0.4‰) поверхностный слой толщиной 0.5-1 м и соленый слой (16-25‰), разделенные узким галоклином [1]. Озеро может считаться меромиктическим, поскольку такая структура сохраняется в течение всего года. На глубине 3.5 м фиксируется хемоклин, выше которого условия аэробные, а ниже – появляется сероводород.

Диатомовые ассоциации изучены в пробах поверхностного слоя донного грунта (0-1 см), собранных с помощью дночерпателя. Глубина воды в местах их отбора составила от 0.6 до 7.5 м в оз. Трехцветном и от 0.5 до 5.0 м в оз. Еловом. В каждой пробе определялось 500 створок и рассчитывалась концентрация диатомей в 1 г воздушно-сухого осадка. Кроме того, подсчитывались цисты золотистых водорослей и определялось значение C/D-индекса (отношение количества цист к числу панцирей диатомей [3]).

В осадках оз. Трехцветного отмечены высокие концентрации (100-280 млн. ств./г) и таксономическое разнообразие (100-130 видов) диатомей. Их состав близок во всех пробах, в том числе практически идентичен состав доминантных и субдоминантных видов. В массе встречаются виды семейства Fragilariaceae: *Stauriforma exiguiformis* (Lange-Bertalot) Flower & Jones, *Fragilaria sopotensis* Witkowski & Lange-Bertalot, *Pseudostaurisira* sp. – мелкие колониальные формы, обрастатели камней и макрофитов. На их долю приходится 65-85 % всех створок. *F. sopotensis* классифицируется как галофильный или мезогалобный вид, обычный для марша [4], в то время как *S. exiguiformis* – пресноводный вид, широко распространенный в северных водоемах, традиционно относится к галофобам [5, 6]. Для озера Трехцветного характерно преобладание мелких форм *S. exiguiformis*, по размеру близких к нижней границе диагноза.

В составе субдоминантов преобладают пресноводно-солонатоводные (галофильные) и солонатоводные (мезогалобные) виды: *Ctenophora pulchella* (Ralfs ex Kützing) D.M. Williams & Round, *Amphora copulata* (Kützing) Schoeman & Archibald, *Mastogloia smithii* Thwaites, *Navicula rhynchotella* Lange-Bertalot, *Ulnaria danica* (Kützing) Compère & Bukhtiyarova и др. Из пресноводных индифферентных видов к наиболее часто встречающимся

в пробах относятся *Epithemia adnata* (Kützing) Brébisson и *Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) O. Müller – виды, весьма характерные для различных прибрежно-морских биотопов. Последнюю группу пресноводных видов с высокими оценками обилия составляют эвритопные виды, встречающиеся практически повсеместно: *Navicula radiosa* Kützing, *Caloneis silicula* (Ehrenberg) Cleve, *Neidium bisulcatum* (Lagerstedt) Cleve. Во всех пробах, в том числе на мелководье, в поверхностных осадках в значительном количестве встречается *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, широко распространенный вид, традиционно считающийся морским, но, по недавним исследованиям [7], переносящий распреснение до 1 ‰.

Почти все вышеуказанные виды относятся к донным формам, прикрепленным или подвижным. Разнообразны меропланктонные виды, живущие как в планктоне, так и на субстрате: *P. sulcata*, *Odontella aurita* (Lyngbye) Agardh, *Cyclotella menegheniana* Kützing, *Melosira* spp., но за исключением *P. sulcata* все они имеют невысокие оценки обилия. Истинно планктонные виды немногочисленны. Из пресноводных единично встречается *Aulacoseira* sp. Морские планктонные диатомеи появляются ниже пикноклина и представлены *Thalassiosira* spp., *Coscinodiscus* spp., *Hyalodiscus* spp., *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky, *Ehrenbergiulva granulosa* (Grunow) Witkowski, Lange-Bertalot & Metzeltin и другими видами с оценками встречаемости «единично».

Концентрация цист золотистых водорослей высокая, от 3 до 44 млн./г. Их разнообразие и количество существенно ниже в поверхностных осадках прибрежной мелководной части озера. Значение C/D-индекса низкое в пределах миксолимниона и пикноклина (0.03–0.07) и существенно возрастает с глубиной (до 0.31).

Состав и структура диатомовых ассоциаций в поверхностных осадках оз. Еловое существенно различаются для разных интервалов глубин. Осадки прибрежной части озера до глубины 1 м, соответствующие пресному поверхностному слою, характеризуются очень высокими концентрациями створок диатомей (до 2 млрд. ств./г) за счет массового развития мелких колониальных форм - представителей семейства Fragilariaceae: *S. exiguiformis*, *Staurosira* cf. *venter* (Ehrenberg) Cleve & Moeller, *Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) D.M. Williams & Round, *F. sopotensis*, *Pseudostaurosira* sp. На их долю приходится более 90 % всех створок. Они являются обрастателями камней и макрофитов, но также часто отмечаются в планктоне, особенно в небольших мелководных озерах. Большинство классифицируется как пресноводные виды, индифференты или галофобы [5, 6], только *F. sopotensis* представляет собой пресноводно-солонатоводный вид, обычный для марша [4]. Если исключить из подсчета массовые виды семейства Fragilariaceae, то в составе диатомовых ассоциаций прибрежной зоны преобладают бентосные олигогалобные виды: *E. adnata*, *M. smithii*, *Rossithidium pusillum*

(Grunow) Round et Bukhtiyarova, *Navicula vaneii* Lange-Bertalot in Witkowski, Lange-Bertalot & Stachura, *C. silicula*, *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki 1994, *Melosira varians* C.Agardh, *Brachysira neoexilis* Lange-Bertalot, *N. radiosa*. Доля галофилов среди них составляет около 20 %. Также присутствуют поли- и мезогалобы, но, за исключением *P. sulcata*, их вклад незначителен.

В области соленого слоя выше хемоклина концентрация диатомей в осадках по прежнему высокая, хотя и снижается в несколько раз по сравнению с прибрежной зоной. Также в массе представлены виды семейства Fragilariaceae, но их суммарное содержание уменьшается до 70-80 %, а видовой состав становится более разнообразным и включает некоторые мезогалобные виды, например *Opephora guenter-grassii* (Witkowski & Lange-Bertalot) Sabbe & Vyverman. Без учета семейства Fragilariaceae абсолютно доминируют морские и солоноватоводные виды: *P. sulcata*, *Karayevia amoena* (Hustedt) Bukhtiyarova, *Melosira moniliformis* (O.F. Müller) C.A. Agardh, *M. arctica* (Ehrenberg) Ralfs in Pritchard, *M. lineata* (Dillwyn) C.Agardh, *Navicula peregrina* (Ehrenberg) Kützing, *Diploneis didyma* (Ehrenberg) Cleve, *Amphora commutata* Grunow. Олигогалобы суммарно составляют только около 10-15 % и представлены в основном галофильными и индифферентными видами, часто встречающимися на литорали: *E. adnata*, *R. gibba*, *Planothidium delicatulum* (Kützing) Round & Bukhtiyarova и др.

В поверхностных осадках в наиболее глубокой части озера ниже хемоклина состав диатомовых ассоциаций смешанный и включает виды обеих зон, описанных выше. Поскольку анаэробные условия исключают возможность развития донных и планктонных диатомей, диатомовые ассоциации формируются за счет сноса осадков с подводных склонов озерной котловины и осадения диатомей, развивающихся в планктоне выше хемоклина. Практически все параметры диатомовых ассоциаций имеют усредненные значения: концентрации диатомей в осадках, процент и состав створок видов семейства Fragilariaceae, состав доминантов и субдоминантов при исключении из подсчетов видов семейства Fragilariaceae, процентное соотношение поли-, мезо- и олигалобов.

Из-за небольших размеров и глубины озера (хемоклин на глубине 3.5 м играет роль «псевдодна») истинно планктонные виды в оз. Еловом практически отсутствуют. Меропланктонные виды (*P. sulcata*, *Melosira* spp., *Tabellaria* spp., *Aulacoseira* spp.) имеют невысокие оценки обилия в прибрежной части озера и составляют существенную часть диатомовых ассоциаций (около 40 % без учета сем. Fragilariaceae) в осадках ниже галоклина.

В целом видовой состав диатомовых ассоциаций донных осадков оз. Елового близок к таковому оз. Трехцветного. Однако в оз. Еловом отмечается четкая зональность состава и структуры диатомовых ассоциаций,

в то время как в оз. Трехцветном диатомовые ассоциации показывают хорошее усреднение по площади озера и единство состава доминантов и субдоминантов во всех изученных пробах. Вероятно, это связано с различным положением хемоклина по отношению к галоклину в изученных озерах: практически полное их совпадение в оз. Трехцветном и существенно более низкое положение хемоклина в оз. Еловом.

Автор выражает глубокую признательность за помощь в организации и проведении полевых работ Е.Д. Красновой, Д.А. Воронову, М.Б. Гулину, Е.А. Ивановой, Ф.А. Балабину, А.В. Косенкову и сотрудникам Беломорской биологической станции МГУ имени Н.А.Перцова.

Работы выполнены по теме ГЗ АААА-А16-116032810055-0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Демиденко Н.А. и др. К инвентаризации реликтовых водоемов, отделяющихся от Белого моря // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов / Мокиевский О.В., Исаченко А.И., Дгеубадзе П.Ю., Цетлин А.Б. (ред.). Тр. Беломорской Биостанции МГУ. Т. 12. 2016. С. 211–241.
2. Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В. и др. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446. № 2. С. 183–190.
3. Smol J.P. The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: A useful paleolimnological index // Hydrobiologia. 1985. V. 123. P. 199–204.
4. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Diatom Flora of Marine Coasts I. pp. A.R.G. Gantner, Ruggell. 2000. 925 p.
5. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H. & Mollenhauer, D. (Eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, Germany. 1991. V. 2(3). P. 1–576.
6. Hofman G., Werum M., Lange-Bertalot H. Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. Koeltz Scientific Books, Königstein. 2011. 908 p.
7. Уланова А.А. Водоросли водоемов с нестабильной соленостью побережий Белого и Баренцева морей, Автореф. дисс. канд. биол. наук. СПб. 2003. С. 1–19.

Diatom associations were examined in the surface sediments of two meromictic lakes located on the Karelian shore of White Sea. In Trekhtzvetnoe Lake diatom associations characterized by the unity of the composition of dominants and subdominants in all samples despite the sharp environmental gradients. In Elovoye Lake a clear zonation in the species composition is revealed with the exception of the family Fragilariaceae.

**СИСТЕМА КАСПИЙСКОГО И
АРАЛЬСКОГО МОРЕЙ,
4-D ИССЛЕДОВАНИЯ**

**CASPIAN AND ARAL SEAS SYSTEM,
4-D INVESTIGATIONS**

Амбросимов А.К.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,

e-mail: ambrosimov@ocean.ru)

О процессе образования осадочных волн на западном склоне Каспийского моря

Ambrosimov A.K.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS)

On the formation of sedimentary waves on the western slope of the Caspian Sea

Ключевые слова: Каспийское море, континентальный склон, донные осадки, осадочные волны, мутьевые гравитационные потоки, внутренние волны, гидравлические скачки давления.

В статье рассматривается процесс образования волновой структуры осадочных волн на континентальном склоне Каспийского моря, который формируется под воздействием гидравлических скачков давления при движении мутьевых потоков вниз по склону. Обсуждается динамика осадконакопления на западном склоне моря.

Волнообразные осадочные структуры или осадочные волны (ОВ) широко распространены на континентальных склонах морей и океанов, в том числе и на западном склоне Среднего Каспия [1, 5–6]. В литературе присутствуют две основных концепции образования ОВ. В одной образование ОВ связывают с деформацией осадков в результате процессов гравитационного оползания, например индуцируемого землетрясением или медленной деформацией крипа под длительным воздействием давления на неуплотненные осадки на неровностях поверхности морского дна [4–5]. В другой, основная роль отводится гидравлическому воздействию внутренних волн и придонных течений на осадочный материал, где формирование циклической структуры ОВ на склонах объясняется периодическими гидравлическими скачками давлений внутренних волн на осадки [7–9].

Скачки давлений генерируются при движении мутьевых потоков вниз по склону при выполнении условия перехода числа Фруда от значения $Fr < 1$ к значению, когда $Fr > 1$ (рис. 1). Каскадные плотностные течения играют основную роль в седиментации на склоне, при этом рельеф ОВ подчеркивает как эрозионную, так и осадочную природу режима плотностного течения, которое контролируется градиентом наклона. Линейные размеры ОВ и впадин между ними, в условиях Фруда определяются длиной разгона потока и его торможением, т.е. уклоном склона, который должен быть не менее 0.01 [7–9]. Высоты и длины и извилистость ОВ варьируются в зависимости от наклона склона и морфологического расположения волнового поля. Ориентация ОВ, в основном, ортогональна направлению основного склона.

Преобразование энергии внутренних волн в энергию переноса осадочного вещества на постилающей рифленной поверхности склона – это типичный механизм воздействия внутренних волн на донные отложения. Во время гравитационного движения мутьевого плотностного потока вниз по склону происходит вовлечение осадочного материала в водную среду. При этом происходит передача энергии потока частицам, вовлекаемым в движение, из-за чего последний тормозится. Возникает, так называемая, антиреактивная сила сопротивления движению. При выпадении же частиц из потока на дно скорость последнего не изменяется. В динамике движения взвесенесущий поток можно разделить на три части: головную часть, зону вихреобразования (тыльная сторона головной части) и зону оторвавшегося вихря [2]. Оторвавшийся от потока вихрь тормозится и останавливается. Скорость взвесенесущего гравитационного потока после разгона по склону становится постоянной, что указывает на существование баланса сил, интегрально действующих на поток. Баланс сил между донными отложениями и потоком наступает довольно быстро и не меняется в процессе движения. Подобного не наблюдается при обычном гравитационном течении с сохраняющейся массой.

При выпадении осадка из мутьевого потока, движущегося вниз по склону, происходит распределение взвеси по размеру и плотности. На склонах осадочных волн, обращенных вверх, откладывается более грубый материал и в большем количестве (поток осадков тормозится), а на противоположном склоне ОВ обращенном вниз – более тонкий осадок и в меньшем количестве (поток осадков разгоняется). В результате мощности индивидуальных слоев на разных флангах каждой волны разные, образуется асимметрия волн с миграцией вершин в сторону берега – источника сноса. По направлению вниз по склону, как правило, наблюдается уменьшение размеров осадочных волн, уменьшения скорости придонного течения и поступления осадка. В процессе формирования ОВ на западном склоне Среднего Каспия, кроме мутьевых плотностных потоков с шельфа, идущих поперек склона, в осадкообразовании участвует и вдольсклоновое течение, насыщенное взвешенным материалом стоковых вод Волги, Урала и рек северного Кавказа. Для исследуемого участка западного склона Среднего Каспия уклон составил 0.032, т.е. условия для образования ОВ вполне достаточные.

Для оценки динамики рельефа ОВ в августе 2007 г. в рейсе № 21/3 НИС «Рифт» было проведено сейсмоакустическое профилирование склона Дербентской котловины в зональном направлении на траверзе устья р. Самур вниз по склону (рис. 2). Целью исследования было определение области простираения характерных морфометрических параметров донных отложений и изучение механизма образования и динамики ОВ на склоне. Съёмка 2007 г., была выполнена в августе по галсам широтного направления

длиной 6,5 км с межгалсовыми расстояниями 200 м на глубинах от 100 до 348 м (рис. 2 б,в) с координатами начала и конца центрального галса: 42°01'с.ш., 48°40'в.д. и 42°04'с.ш., 48°40'в.д. Измерения были выполнены с помощью интерферометрического гидролокатора бокового обзора ИГБО–100. Максимальная глубина проникновения сейсмоакустического сигнала в донные осадки составила около 300 м при вертикальном разрешении 1,5 м.

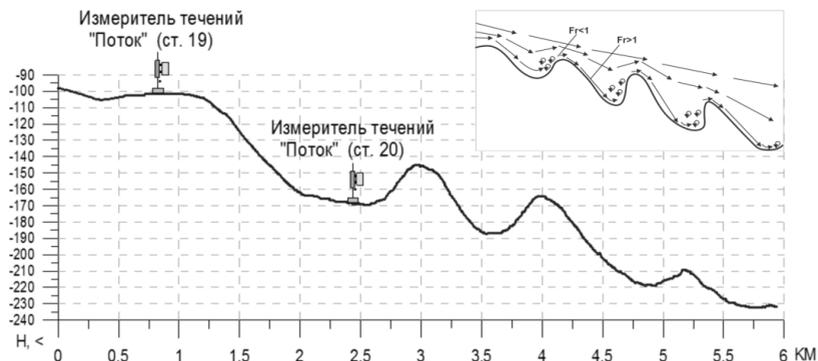


Рисунок 1. Профили осадочных волн над западным склоном Дербентской котловины Каспийского моря по данным сейсмоакустического профилирования рельефа дна в 2007–2008 гг. На врезке показана схема образования гидравлических скачков над осадочными волнами.

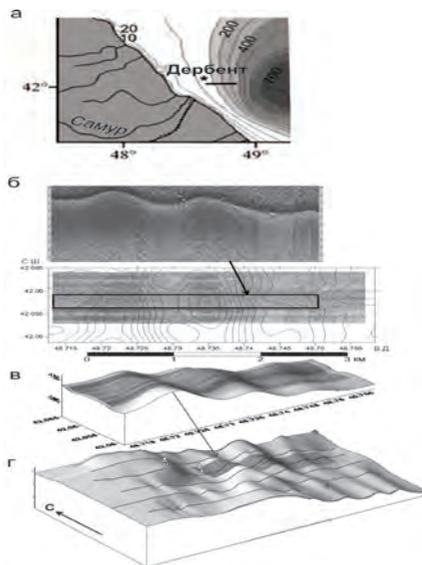


Рисунок 2. Рельеф площадной съемки дна в районе западного континентального склона Каспийского моря на траверзе впадения р. Самур по данным измерений ИГБО–100 (2007 г.) и Furuno–3000 (2008 г.) б и в) – съемка центрального галса и площадная в августе 2007 г., координаты начала и конца съемки: 42°01' с.ш., 48°40' в.д. и 42°04' с.ш., 48°40' в.д. г) – съемка июля 2008 г. (темная полоса – съемка 2007 г.).

Повторные измерения рельефа были проведены в июле 2008 г. по центральному галсу 2007 года, которые показали полное совпадение профилей осадочных волн в зональном направлении вниз по склону (рис. 2г). Площадная съемка была осуществлена с помощью судового эхолота Furuno–3000. Для выявления дополнительных деталей рельефа дна было выполнено семь галсов эхолотного промера протяженностью 6.5 км с межгалсовыми расстояниями между ними в 1 км [1, 6]. Профили батиметрии и рельеф дна по данным съемок 2007–2008 гг. показаны рис. 2, где на рис. 2б и 2в показана съемка 2007 г., а на рис. 2г – съемка 2008 г.

У подножия склона течение формирует из сползающих вниз по склону пластических плотностных потоков взвешенного материала, выпавших в осадок, осадочные формы, называемые контуритами. Прилегающая к склону часть материкового подножия является областью аккумуляции взвешенного материала, переносимого контурными течениями. Для западного подножия характерно оконтуривание языков акустически прозрачных линз осадков, которые опускаются по склону на глубину 670–700 м. Считается, что языки этих оползней являются потоками осадков, зародившимися в нижней части склона и продвинувшимися в зону уплотненных илов [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К. // Метеорология и гидрология. 2016. № 1. С. 60–77.
2. Завьялов И.Н., Жмур В.В. // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. Т. 50. № 3. 2014. С. 345–354.
3. Лисицын А.П., Лукашин В.Н. // Доклады РАН. 2015. Т. 464, № 2. С. 220–226.
4. Лукашин В.Н., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. и др. // Океанология. 2014. Т. 54, № 2. С. 216–225.
5. Поляков А.С., Росляков А.Г., Лобковский Л.И. и др. // ДАН. 2010. Т. 431. № 2. С. 257–260.
6. Komar P.D. Hydraulic jumps in turbidity currents // Geol. Soc. Am. Bull. 1971. V. 82 (6). P. 1477–1488.
7. Russel B., Wynn, Dorrik A.V., Stow // Mar.Geol. 2002. V. 192. P. 1–3.
8. Stashchuk N., Vlasenko V. // Deep-Sea Research Part I. 2016. P. 1–13;
9. Schnyder J., Eberly G.P., Betzler Ch. et al. // Mar. Geology. 2018. V. 397. P. 15–28.

The article deals with the formation of the wave structure of sedimentary waves on the continental slope of the Caspian Sea, which is formed under the influence of hydraulic pressure surges during the movement of turbid flows down the slope. The dynamics of sedimentation on the Western slope of the sea is discussed.

Амбросимов А.К.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: ambrosimov@ocean.ru)

Субмаринная разгрузка подземных вод из недр каспийского моря

Ambrosimov A.K.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS)

Submarine discharge of groundwater from the bowels of the Caspian Sea

Ключевые слова: Каспийское море, высокоточная сейсморазведка, разгрузка подземных вод, флюидодинамические колодцы, нефтепроявления на поверхности моря, донные осадки, концентрация металлов.

В статье обсуждаются результаты исследования флюидодинамики недр северной части Каспийского моря. Показано, что над вертикальными трубообразными разрыхленными образованиями на дне моря происходит субмаринная разгрузка подземных вод. В донных осадках и в воде в окрестностях флюидодинамических окон зарегистрированы аномально высокие концентрации металлов и нефтяных углеводородов, а также нефтепроявления на поверхности моря.

Одной из примечательных особенностей геологического строения недр Северного и Среднего Каспия является множество трубообразных вертикальных разрыхленных образований (или колодцев) в осадочном чехле моря, которые были обнаружены с помощью высокоточной сейсмоакустической съемки [4–5]. Исследования показали, что эти образования имеют диаметр в плане от нескольких метров до первых сотен метров. Они пронизывают осадочный чехол морского дна на глубину более 2000 м и уходят корнями в доюрское основание, при этом, они обладают признаками инъективных дислокаций. Были обнаружены как одиночные, так и обширные провинции на дне моря насыщенные такими колодцами (рис. 1) с аномальными характеристиками донных осадков и придонной воды. Установлено, что восходящие из недр моря солевые потоки или грифоны активно воздействуют на геохимические процессы в донных отложениях и влияют на донную фауну [6].

Активизация подводных грифонов на Северном Каспии хорошо наблюдается из космоса по множеству пятен нефти на поверхности моря. Снимки с космических аппаратов фиксируют на поверхности моря слики, которые образовались при растекании на поверхности НУ при их просачивании из недр моря. Часть сликов обнаруживается в одних и тех же местах на поверхности моря и проявляется в виде трассеров, что указывает на их подпитку из недр моря.

В экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в Северном Каспии в 2003 и 2004 гг. было исследовано семь колодцев, которые были обнаружены компанией ООО «Геохазар» на глубинах 6-7 м. В районах флюидодинамических окон в 2003 г. на станциях Ф1-Ф4 и на трех станциях Т2-Т4 в 2004 г. были отобраны и проанализированы пробы поверхностной воды и донных осадков в [1-3].

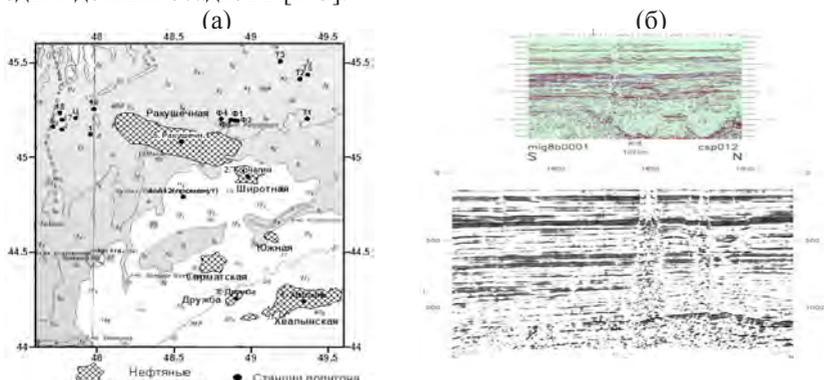


Рисунок 1.

Схема расположения станций отбора проб в Северном Каспии

Типичный сейсмический разрез трубообразного тела или колодца.

В пробах воды и в осадках на станциях 2003 г., отмечен широкий набор ассоциации металлов Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Cd с повышенной или очень высокой их концентрацией. Для выделения на фоне геохимических «помех» типоморфных ассоциаций химических элементов, которые могут указывать на субмаринную разгрузку подземных флюидов с повышенным содержанием металлов были применены три показателя металлоносности вод и донных осадков моря: $(Fe+Mn)/Al$ – отношение суммарных концентраций железа и марганца к алюминию, Mn/Fe – отношением концентрации железа и марганца, Cd/Zn – отношением концентрация кадмия к цинку.

Наиболее высокие значения показателей Cd/Zn и Mn/Fe характерны для станции Ф1, где высокоточная сейсморазведка обнаружила наиболее выраженный флюидодинамический колодец. Для станции Ф3 характерны довольно высокие значения показателя Mn/Fe , но в сочетании с низким значением показателя Cd/Zn и аномально высокой концентрацией Co и Cr . Эти показатели позволяют выделить на фоне геохимических «помех» типоморфные парагенетические ассоциации химических элементов, которые могут указывать на субмаринную разгрузку подземных флюидов с повышенным содержанием металлов и металлов-спутников. Концентрации металлов в воде, которые представлены в табл. 1, показывают, что летом

2003 и 2004 гг. в окрестности всех колодцев Ф1-Ф4 в 2003 г. и Т1-Т5 в 2004 г., значения показателя Mn/Fe в целом оказались намного выше по сравнению с фоновыми данными на удалении от колодцев. Бросается в глаза и то, что значения показателя Cd/Zn на одной и той же станции Ф1 в 2003 г составляли 1.17, а на ней же в 2004 г. оказались ничтожно малыми. На два порядка снизилось содержание Fe, намного упала концентрация Mn, Cu и Cd. Отсюда следует, что геохимическая обстановка на флюидодинамических колодцах является изменчивой и обусловлена эффектом металлоносного дыхания в условиях геодинамической нестабильности недр.

Из табл. 2 следует, что придонная вода максимально обогащена железом на ст.Т2 обогащена по отношению к фону Cd – в 18.5, Fe – в 12, Zn – в 11.7, Cu – в 6 раз, а на ст.Т3 – в 192 раза и марганцем – в 70 раз. Вода. Очевидно, что это весьма большое обогащение и создавать его должны аномальные источники. Эти особенности сродни флюидодинамике соседних территорий Дагестана, что позволяет уверенно утверждать, что такими источниками на дне Северного Каспия могут являться очаги разгрузки металлоносных гидротермальных растворов.

Таблица 1. Концентрация растворимых металлов (сумма раствор. + лабильная взвесь) в морской воде над флюидодинамическими колодцами в мкг/л [2] в 2003–2004 гг.

№ ст.	Fe*	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd	Mn/Fe	Cd/Zn
Ф 1	33.7	3.73	4.70	1.08	9.17	1.21	0.18	1.02	1.27	0.11	1.17
Ф 2	26.1	1.78	4.61	1.20	9.96	3.49	0.37	3.79	0.77	0.07	0.64
Ф 3	16.1	2.38	0.37	1.08	12.3	4.87	0.43	0.81	0.28	0.15	0.26
Ф 4	30.0	1.40	6.12	0.91	4.67	2.67	0.19	1.62	0.42	0.05	0.46
Ср. Ф1-Ф4	26.5	2.59	4.44	1.68	9.2	3.08	0.29	1.81	0.69	0.93	0.63
Т 2	6.0	2.3	14.6	27.0	-	-	-	-	1.85	0.38	0.07
Т 3	96.0	63.0	4.8	6.0	-	-	-	-	0.21	0.66	0.04
Т 4*	0.3	0.9	1.9	1.4	-	-	-	-	<0.1	3.00	<0.1
Ср. Т2-Т4	34.3	22.1	7.1	11.5	-	-	-	-	0.7	1.35	
Фон.	23.6	1.8	2.81	0.67	2.90	0.78	0.25	0.66	0.17	0.05	0.14

*«Жирным» выделены аномальные значения концентраций металлов.

В качестве фоновых данных в табл. 1 использованы осредненные данные по концентрации металлов в донных осадках, полученные на 7-ми станциях полигона «Чистая банка» 11.07.2003 г. (полигон 20x20 км расположен между Волго-Каспийским каналом и о. Чистая банка).

Таблица 2. Превышение концентрации металлов в морской воде в пробах станций Т2 и Т3 над фоном.

Станция	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Mn/Fe	Cd/Zn
Т 2	12	2.5	6.1	11.7	18.5	0.208	1.58
Т 3	192	70	2.0	2.6	2.1	0.364	0.81

В пробах донных осадков, отобранных в окрестностях колодцев и в районах разведочных скважин нефтегазоносных структур, наблюдаются повышенные и «взрывные» концентрации металлов.

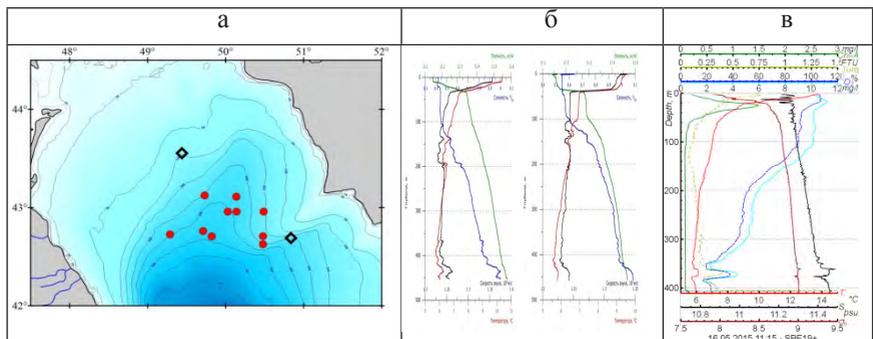


Рисунок 2. Теплые прослойки воды у дна по данным STD-зондирований в придонном и промежуточном слоях Среднего Каспия: а) Схема расположения станций в Южно-Бузачинском прогибе, где были обнаружены линзы теплой воды у дна; б) ст.467 24.04.2006 г., координаты: $42^{\circ}45.660' \text{ с. ш. } 49^{\circ}41.605' \text{ в. д.}$; в) ст.1509 16.05.2015 г., координаты: $42^{\circ}57.931' \text{ с. ш.}, 50^{\circ}01.374' \text{ в. д.}$

Наблюдения в районе Южно-Бузачинского прогиба показали, что у дна наблюдается слой придонной воды с повышенными концентрациями НУ и температуры по сравнению с вышележащими слоями (рис. 2б, в). Схожесть гидрохимических характеристик и температурных слоев на ст. 467 (2004 г.) и на ст. 1509 (2015 г.) и пространственная близость станций (рис. 2а), а также 10-летняя разнесенность наблюдений по времени указывает на то, что в этом районе моря имеют место стационарные источники выброса горячих флюидов из недр моря, по аналогии с источниками Южного Дагестана [7].

Осенью 2018 г. на северном Каспии были проведены исследования по выявлению грифонов на дне моря, ответственных за образование slickов на поверхности моря. С помощью акустической съемки на дне моря были засняты покмарки – углубления с линейными размерами 3-6 м и глубиной до 50 см. Физически происхождение углублений можно объяснить разрыхлением и размягчением грунта в точках выхода флюидов или газов на дне. Направление дорожки выпавших осадков, идущей от покмарки, соответствует направлению придонного течения. Сипы газов из покмарок хорошо определяются акустическими методами, однако обнаружение сочений флюидов из этих окон затруднено, поскольку разница в удельных плотностях флюидов и морской воды ничтожно мала. Объем выносов НУ из окон можно оценить по площади растекания пятна НУ и скорости его деградации на поверхности моря. Оценки площади разливов в несколько км^2 показывают, что их поддержания на поверхности моря необходимы объемы НУ до нескольких десятков м^3 в сутки [Гурвич, 1997].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К., Верховская З.И. Геохимические исследования донных осадков, морской воды и поверхностного микрослоя северо-западной части Каспийского моря. // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 2. С. 1–7.
2. Амбросимов А.К., Голубов Б.Н. Металлоносность вод и донных отложений Северного Каспия как показатель субмариной разгрузки флюидов из его недр // Экологические системы и приборы. 2014. № 5. С. 50–63.
3. Амбросимов А.К., Клювиткин А.А., Корж А.О. Современные гидрофизические исследования// Система Каспийского моря. М.: Научный мир, 2016. С. 71–145.
4. Корценштейн В.Н. О механизме разгрузки глубинных подземных вод в Каспийскую впадину // ДАН. 1962. Т. 142. № 3.
5. Липаева А.В. Каналы разгрузки металлоносных вод в Северном Приаралье // Геология рудных месторождений. 1982. № 2. С. 111–117.
6. Павлов Д.И., Карцев А.А. Зоны катагенной разгрузки подземных вод нефтегазоносных бассейнов и осадочный рудогенез // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 2. С. 122–131.
7. Хрусталеv Ю.П. Закономерности современного осадконакопления в Северном Каспии. Ростов: Изд-во Ростовского ун-та, 1978. 208 с.

The article discusses the results of the study of fluid dynamics of the subsoil of the Northern part of the Caspian Sea. It is shown that above the vertical tube-like loosened formations at the bottom of the sea there is a submarine discharge of groundwater. Abnormally high concentrations of metals and petroleum hydrocarbons, as well as oil occurrences on the sea surface have been recorded in bottom sediments and in water in the vicinity of fluid dynamics windows.

Батурин Г. Н.

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

Элизионные образования в пределах Среднего Прикаспия

Baturin G. N.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Elision formations in the Middle Caspian Region

Ключевые слова: прибрежный апвеллинг, массовые заморы фауны, костный детрит, элизия, металлоносность

На территории Среднего Прикаспия в холмистых осадках выявлены признаки элизионных процессов и металлоносности, что частично может сочетаться с элизионной и рудоносной активностью.

В зоне Среднего Прикаспия на восточном побережье известны элизионные образования разного размера и формы (рис. 1–3), сопоставимые с описанными ранее в других районах [1].



Рисунки 1–2. Элизионные колонны близ побережья Среднего Каспия

Рисунок 3. «Каменный гриб» (там же). Фото А.А. Шаркова.

Элизионные образования сочетаются с наличием на дне усохшего Каспия рудных месторождений в виде костных брекчий олигоценного возраста, согласно прежним публикациям [2–7] участниками полевых поисковых работ. В связи с этим представляет интерес выявление общей картины этих ресурсов для познания биогенного фактора металлогении осадков Тетиса.

В осушенной зоне Среднего Каспия распространены холмы предположительно элизионного происхождения, состав которых не изучался, но предположительно может быть металлоносным, что побудило взять пробы осадков из шести холмов и проанализировать их методом ИСП-МС в ИПТМ РАН под руководством В.К. Карандашева (табл. 1, 2).

Таблица 1. Основной состав осадков (%)

Макросостав	Номера образцов					
	1	2	3	4	5	6
Na ₂ O	2.1	1.9	2.3	1.4	1.7	0.084
MgO	0,86	2.9	2.8	2.7	2.4	0.051
Al ₂ O ₃	4.2	16.9	17.8	15.1	18.6	0.26
P ₂ O ₅	10.6	0.10	0.15	0.22	0.067	0.068
S ^{серный}	11.9	0.78	0.26	3.6	0.73	3.7
K ₂ O ^{поташ}	0.60	2.98	3.04	3.0	3.18	0.049
CaO	12.0	0.13	0.12	1.2	0.10	0.060
TiO ₂	0.13	0.79	0.70	0.59	0.75	0.011
MnO	0.072	0.044	0.028	0.086	0.033	0.013
FeO	18.5	5.1	6.9	7.8	6.2	0.18

Согласно полученным результатам, первый образец таблицы 1 обогащен фосфатом и оксидом кальция (в сумме 22%), а также железом (18% окисла) и серой (11.9%). Четыре образца слабее обогащены металлами при повышенном содержании нерудных макроэлементов, что не умаляет перспектив будущих исследований, но свидетельствует о возможной перспективности региона в связи с фосфатным составом первого образца несмотря на то, что основной интерес представляет костный детрит с повышенным содержанием фосфата кальция (более 20%). Образцы № 5 и 6 не фосфатизированы и близки по составу к обычным осадкам Каспийского моря [8]. Образец № 6 аномально обедненный всеми компонентами и обогащен только серой (3.7%) при низком содержании (менее 1%) всех остальных макроэлементов.

Нижеприведенная таблица 2 показывает, что содержание одних микроэлементов относительно стабильно, а содержание других колеблется в пределах двух порядков, что относится к тяжелым металлам и к некоторым микроэлементам. По составу образцы делятся на группы: № № 1, 2-5 и 6.

Первый образец (табл. 2) отличается максимальным содержанием серии из 15 элементов, включая серебро, висмут, медь, мышьяк, бериллий, молибден, мышьяк, рений, сурьму, селен, стронций, таллий, уран, ванадий и иттрий. Второй и третий образцы обогащены слабо подвижными микроэлементами, включая хром, цезий, галлий, гафний, литий, ниобий, рубидий, тантал и цирконий. Третий образец близок к первым, но ничем не обогащен. Четвертый образец обогащен двенадцатью элементами – серебром (0.2 г/т), кадмием (2.2 г/т), кобальтом (41.9 г/т), медью (122 г/т), молибденом (79 г/т), никелем (194 г/т), рением (0.28 г/т), селеном (7.4 г/т), ураном (23.8 г/т), ванадием (225 г/т) и цинком (264 г/т). В пятом образце наблюдается слабо повышенное содержание хрома и стронция, а шестой образец уникален благодаря максимальному содержанию стронция и бария при минимальных содержаниях остальных элементов. Шестой образец обогащен только стронцием (10526 г/т) и барием (1241 г/т). Приведенные результаты показывают, что первый и в меньшей степени четвертый образцы холмистой

зоны Прикаспия металлоносны. Шестой образец обогащен только серой (3.7%), стронцием и барием и уступает по содержанию микроэлементов всем остальным образцам при сумме содержаний всех элементов в последнем образце около 5%, что вероятно связано с преобладанием гидрогенного кремнезема и воды, содержание которых не определяли.

Таблица 2. Содержание микроэлементов, г/т

Элементы	Номера образцов					
	1	2	3	4	5	6
Ag	0.70	0.074	< ПО	0.20	0.068	< ПО
As	216	8.0	7.6	33.7	9.2	0.85
Ba	255	298	315	320	311	1241
Be	5.3	2.6	2.6	2.5	2.6	0.080
Bi	0.99	0.41	0.50	0.55	0.57	0.29
Cd	1.0	0.98	< ПО	2.2	0.67	< ПО
Co	29.1	24.9	17.5	41.9	22.4	0.54
Cr	38.2	110	112	106	113	< ПО
Cs	2.1	9.5	10.3	9.9	10.5	0.14
Cu	188	48.6	36.2	122	50.3	< ПО
Ga	1.4	23.4	22.7	19.4	23.4	0.61
Hf	1.2	3.8	3.4	3.3	3.57	0.072
Li	11.5	84.1	78.3	67.1	82.9	1.0
Mo	396	3.4	0.63	79.1	3.4	9.4
Nb	2.1	11.7	10.3	10.7	10.4	0.24
Ni	44.4	78.4	40.6	194	59.9	< ПО
Pb	66.1	8.0	21.5	30.7	27.2	0.3
Rb	24.5	111	126	116	120	1.7
Re	0.81	0.090	0.015	0.28	0.061	0.011
Sb	118.3	1.0	0.61	7.4	0.91	1.7
Sc	22.9	18.	20.4	13.9	21.6	< ПО
Se	33.5	1.6	1.1	5.6	1.4	< ПО
Sn	1.2	2.5	2.3	2.2	2.5	< ПО
Sr	3821	97.3	74.5	119	144	10526
Ta	0.24	1.02	1.13	1.10	0.93	< ПО
Te	1.9	< ПО	0.085	0.57	< ПО	< ПО
Th	13.4	10.5	11.9	10.8	10.8	0.074
Tl	3.7	0.70	0.59	1.4	0.75	0.030
U	578	6.2	2.3	23.8	6.0	1.5
V	64.4	180	177	225	186	13.0
W	0.55	2.0	1.8	1.7	1.8	0.49
Y	793.7	29.7	22.6	20.7	19.7	1.8
Zn	106	179	118	264	159	5.6
Zr	50.9	123	116	113	116	6.3

По сообщению руководителя аналитического центра ИПТМ РАН В.К. Карандашева, при исследовании сульфидных руд Дальнего Востока не удалось установить полный состав руды, но причина этого явления не была выявлена, однако, судя по литературным данным [11], аморфный кремнезем и вода сходны по физико-химическим параметрам. Предполагается, что рассматриваемое явление связано с гидратацией кремнезема в сульфидных породах. В данном случае, (в глинистых породах, каковыми являются образцы №№ 1, 4 и 6 с содержанием серы от 3.7 до 11.7%), предполагается вероятная гидратация аморфного кремнезема.

Ранее участники полевых исследований предлагали различные варианты генезиса костных залежей на дне Тетиса: вулканизм, эксфильтрация металлов,

гидротермы [1–7], но это не было подкреплено никакими фактами из области океанологии. Но предлагаемая интерпретация этого явления базируется на материалах, изучавшихся ранее на костных брекчиях Прикаспия, а затем в океане, где были изучены современные аналоги олигоценых костных брекчий, близких по своему составу и генезису с майкопскими образцами [9, 10].

Судя по результатам о современных костных брекчиях, обнаруженных на дне океана, массовые заморы фауны – рядовое явление во всех океанах независимо от их возраста или содержания урана в морской воде [10].

Одна из гипотез генезиса урановых руд Тетиса заключается в том, что при усыхании прибрежных осадков поровые воды с растворенным ураном сливаются обратно в океан [7], но такое явление отсутствует, поскольку поровые воды свежего осадка теряют только поверхностную воду, а основная часть высыхает на воздухе [10]. Из этого следует, что воды Тетиса обогащались в результате многократного сокращения объёма морской воды при увеличивающемся речном стоке за счёт расширения площади водосбора и к росту концентрации урана и некоторых других элементов в морской воде, в осадках и в костном детрите [10]. Что касается многих микроэлементов, то их содержание в первом рудном образце также много выше, чем в остальных образцах, включая 14 микроэлементов (Ag, As, Be, Cu, Mo, Pb, Re, Sb, Sr, Te, Tl, U, V, Y).

При первоначальных обсуждениях этих научных результатов предлагались различные варианты генезиса рудного процесса, но после обнаружения на шельфах современных океанов костных брекчий аналогичного типа было признано единообразие их состава и генезиса [10].

Результаты проведенного исследования дополняют общее представление об эволюции металлогении позднего Тетиса, который в масштабе геологического времени был крупнейшим рудоносным бассейном. Максимальная биопродуктивность Тетиса в олигоцене была обусловлена максимальным увеличением площади стока металлов с бывшего морского дна, ростом концентрации урана в воде, ростом продуктивности морской фауны, и накоплением на дне костного детрита - сорбента металлов из морской воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодов В.Н. Типы элизионных систем и связанные с ними месторождения полезных ископаемых // Геология полезных ископаемых Мирового океана, 2013. №3. С. 3–44.
2. Коченов А.В., Успенский В.А. Органическое вещество, некоторые геохимические особенности и генезис месторождения Меловое // Осадочные месторождения урана СССР. М.: ВИМС, 1960. С. 25–50.

3. Мстиславский М.М., Коченов А.В. Майкопские костные брекчии и гибель рыб в красных водах. // Докл. АН СССР. 1960. Т. 134. № 5. С. 1169–1172.
4. Шамрай И.А., Кубецкий Н.И. Органогенно-фосфатные руды и условия их формирования. // Докл. АН СССР. 1960. Т. 135. № 5. С. 1219–1222.
5. Шарков А.А. Литология рыбной подсветы верхнего олигоцена Южного Мангышлака. // Литология и полез. ископаемые. 1963. № 2. С. 262–272.
6. Шарков А.А. Ураново-редкометалльные месторождения Мангышлака и Калмыкии, их генезис. // М.: ЭСЛАН, 2008. 220 с.
7. Столяров А.С. Коченов А.В. Металлоносность костных отложений Мангышлака. // Литология и полез. ископаемые. 1995. № 2. С. 161–172.
8. Система Каспийского моря / ред. А.П. Лисицын. М.: Научный мир, 2016. 480 с.
9. Батурин Г.Н., Коченов А.В. Уран в поровых водах морских и океанских осадков. // Геохимия, 1973. № 10. С. 930–936.
10. Батурин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 304 с.
11. Химический энциклопедический словарь / ред. Кнунянц И.Л. М.: Советская энциклопедия, 1983. 792 с.

The investigation of ancient Caspian Sea deposit sampled on the recent land showed that during Oligocen time the tectonic activity in this region has been more effective than now which is demonstrated by huge elision edifices on the eastern Middle Caspian shore and smaller hills in other places. Besides the oligocene deposits are uranium-rich owing to high biologic productivity of the basin resulting in uranium-enriched deposits.

Ковалев В. В.

(Южный Федеральный Университет, Институт наук о Земле, г. Ростов-на-Дону, e-mail: dek_geo@sfnedu.ru)

Тектоногеофизическая модель короткопериодических изменений уровня Каспийского моря

Kovalev V.V.

(Southern Federal University, Institute of Earth Sciences, Rostov-on-Don, e-mail: dek_geo@sfnedu.ru)

Tectonic-geophysical model of short periodic changes of Caspian Sea level

Ключевые слова: Каспийское море. уровни моря, геологический фактор, климатический фактор, солнечные циклы, числа Вольфа, астеносфера, магнитные потоки.

Предлагается новая концепция причин незакономерных колебаний уровня Каспийского моря, основанная не на изменениях климатического фактора, а на влиянии солнечных циклов на астеносферный слой и тектонику Южно-Каспийской впадины.

Основными факторами, влияющими на колебания уровня Каспийского моря, считаются климатические, геологические и антропогенные.

К климатическим факторам, влияющим на уровень Каспийского моря, относятся поверхностный сток, атмосферные осадки, и испарение. Поверхностный приток с водосборной площади Каспийского моря складывается из стока рек и за период экстремального подъема не превышал среднегодовых значений. Объем атмосферных осадков, выпадающих на акваторию моря невелик, влияние осадков на межгодовые изменения весьма незначительно. Испарение – основная расходная часть водного баланса. Из-за отсутствия достаточного количества фактических наблюдений его величина оценивается по различным теоретическим и эмпирическим формулам. В периоды изменений уровня солнечная радиация не превышала среднегодовых значений, поэтому, попытка большинства авторов объяснить катастрофический подъем уровня Каспийского моря уменьшением испарения в лучшем случае неубедительна.

Геологические факторы, влияющий на уровень Каспийского моря - тектоника и подземный сток. С геологической точки зрения земная кора Южно-Каспийской впадины относится к субокеаническому типу. Верхняя относительно тонкая часть литосферы дна (40-50 км) подстилается пластичным веществом астеносферного слоя мантии. Конвективные течения мантийного вещества разорвали сплошность и разделили литосферу дна на часть блоков, которые могут перемещаться независимо друг от друга. В момент активизации

или ослабления магнитных потоков происходит медленный подъем или опускание блоков и соответственно изменение уровня. Таким образом, совпадение солнечных циклов и колебаний уровня Каспийского моря можно объяснить не только изменениями процессов атмосферной циркуляции, но и активизацией геологических процессов в подвижных тектонических зонах, к которым относятся котловины Среднего и Южного Каспия в результате воздействия магнитных потоков на астеносферу [1, 2]. Подземный сток в Каспийское море один из важнейших и малоизученных факторов. Анализ опубликованных данных свидетельствует о крайне разнообразных, а иногда и противоречивых оценках этой величины. Разгрузка подземных вод в море, определенная различными авторами, изменяется от 0,3 до 49 км³/ год [3, 4]. Если условно принять содержание химически связанных и свободных подземных вод в осадочных породах платформенной и геосинклинальной частей Каспия как средние для континентов в целом, то получим, что общее количество подземных вод в осадочном чехле Каспийского бассейна почти в 5 раз превышает массу воды в Каспии [3]. При определенных условиях часть этой воды может освобождаться и поступать в бассейн каспийского моря.

Каковы же причины, возбуждающие колебания уровня Каспийского моря? Многие авторы признают гелиообусловленность некоторых земных циклических явлений. Можно предположить, что есть некоторая единая для всей нашей планеты система вынуждающих сил, влияющих на земную кору и астеносферу. Предполагается, что короткопериодическими колебаниями солнечных циклов влияют на подкоровый, астеносферный слой впадин Каспийского моря. Для подтверждения этой связи, необходимо обосновать три положения: – короткопериодические колебания и солнечные циклы имеют высокую степень корреляции; – уникальность тектонического строения допускает короткопериодические, незначительные подъемы дна; – в результате возникающих напряжений возможен дополнительный приток или отток подземных вод в Каспий из осадочных пород берегов и дна.

1. Короткопериодические колебания и солнечные циклы имеют высокую степень корреляции [5]. Эта взаимосвязь была обнаружена в начале XIX века. В 1930 году были проведены первые инструментальные наблюдения за уровнем Каспия, первым индексом солнечной активности было число солнечных пятен на видимом диске Солнца, которое позволило Швабе еще в 1843 г. открыть 11-летний цикл солнечных пятен. Несколько позднее этот индекс был заменен относительным числом солнечных пятен, или числом Вольфа, по имени известного исследователя Солнца, который впервые ввел и применил эту характеристику солнечной активности. Наиболее распространенными из всех ныне применяющихся индексов солнечных пятен (и солнечной активности в целом) являются относительные числа солнечных пятен, или числа Вольфа. Они определяются по формуле:

$W = k(10g + f)$ где g - число групп пятен на видимом диске Солнца, f - число пятен. Коэффициент k выводится из сравнения различных рядов наблюдений. Р. Вольфом было установлено, что относительные числа солнечных пятен испытывают циклические изменения со средним периодом 11,1 года. В этом и состоит закон Вольфа. Исследования показали, что интегральные кривые чисел Вольфа и среднего уровня Каспийского моря имеют зеркальный ход. Это подтверждает полученный ранее вывод Эйгенсона [6] о том, что для вековых колебаний в периоды ослабления солнечной активности средний уровень Каспийского моря находится выше и, наоборот, в период усиления солнечной активности – ниже своего среднего многолетнего положения. Трансгрессии Каспийского моря происходят в эпохи чередования нормальных и минимальных значений солнечной активности, регрессии – нормальных и максимальных значений. Трансгрессии Аральского моря не обнаруживают приуроченности к минимальным или максимальным значениям солнечной активности. Различная реакция уровней Каспийского и Аральского морей, находящихся в одном регионе на периодичность солнечной активности, подтверждает, что СА влияет на уровень не через изменения климата, а каким-то другим способом. В противном случае реакция была бы одинаковой.

2. Уникальность тектонического строения допускает кратковременные, незначительные подъемы дна. Многочисленные исследования доказали, что: впадины Каспия являются остатками рифтовой зоны, реликтом древнего океана Тетис; в Южно-Каспийской впадине отсутствует гранитный слюв, что свидетельствует о субокеаническом типе земной коры; впадины Каспийского моря находятся под действием сильнейшего трехстороннего горизонтального сжатия; дно Каспийского моря разбито на вертикальные блоки, которые могут перемещаться независимо друг от друга; астеносферный слой расположен достаточно близко от поверхности, о чем свидетельствует повышенный тепловой фон. Все это указывает на то, что с точки зрения геологического строения котловина Каспийского моря является активной тектонической зоной, находящейся в напряженном, неустойчивом состоянии. Любое воздействие извне, в том числе воздействие мощного магнитного потока на астеносферу в периоды солнечной активности, могут привести к дестабилизации неустойчивого тектонического равновесия, подъему или опусканию отдельных блоков дна. В результате возникающих напряжений возможен дополнительный приток или отток подземных вод в Каспий из осадочных пород берегов и дна. Б.Н. Голубов [3] считает, что приток подземных вод в бассейн Каспия в периоды тектонического напряжения берегов и дна осуществляется как за счет поступления запасов из зон изолированных блоков пластовой системы при наличии АВДП, а также при выдавливании закарстованных вод. Разгрузка подземных вод осуществляется по тектоническим разломам и открывающимся эруптивным

каналам грязевых вулканов. Подтверждением сказанному, является зафиксированная автором в 1980-1982 гг. невероятно высокая активность грязевого вулканизма в Среднем Каспии, прежде не наблюдавшаяся в этом районе [7]. Установить причину в то время не представилось возможным. Теперь же, с появлением нового фактического материала активная грязево-вулканическая деятельность объясняется возросшим тектоническим напряжением и выброс через эруптивные каналы подземных вод и грязевого материала в бассейн Каспия.

Итак, как же осуществляется влияние солнечных циклов на изменение уровня Каспийского моря? Начало четного 11-летнего солнечного цикла означает усиление солнечной активности, что приводит к усилению магнитной активности на поверхности Земли. Из активных областей Солнца испускаются корпускулярные потоки солнечной плазмы, которые достигают Земли через несколько суток и проникают в ее магнитосферу. В связи с этим, предлагается следующая схема изменений уровня Каспийского моря в зависимости от изменения солнечной активности. Связь между геомагнетизмом и активностью эвстатических изменений геодного происхождения хорошо согласуется с гипотезой о изменениях в области перехода между ядром и мантией. Достаточно много сведений о незакономерных изменениях уровня моря, которые действительно фиксируют высокоамплитудные эвстатические изменения геодального происхождения [8, 9]. Таким образом, в результате воздействия магнитных потоков на астеносферный слой каспийских впадин возможно усиление или ослабление движения термогравитационных потоков; соответственно усиливается или ослабляется тектоническое напряжение. Установлено, что дно Каспия разбито на вертикальные блоки. При усилении напряжения во впадинах начинается период сжатия, блоки начинают двигаться вверх. И необязательно, что их движение должно вызывать синхронный подъем берега, как считалось раньше. Предыдущие исследователи исходили из однородности и жесткости берегов и дна, не учитывая мозаичности и гетерогенности дна. Конечно, поднятия дна будут сопровождаться поднятием берегов, однако их амплитуды могут не совпадать. С 1979 года начался подъем дна под действием тектонических напряжений, что нашло свое отражение в усилении вертикальных движений берегов, на что указывает в своих работах Д. А. Лилиенберг [10]. Подъем блоков дна вызывает напряжение в осадочной толще. Б.Н. Голубов [3] утверждает, что Каспийское море крайне неустойчивая гидродинамическая система и при сжимающих напряжениях осадочные толщи могут отдавать капиллярную воду в Каспий, а при растягивающих напряжениях или ослаблении напряжений сжатия они отбирают воду из Каспия. Следовательно, фазе растяжения соответствует понижение уровня, фазе сжатия - повышение на основании

вышеизложенного можно утверждать, что в пределах побережья и акватории Каспийского моря возможно действие пульсационного механизма сжатия-растяжения, зависящего от солнечной активности. Он способен влиять на объем осадочного бассейна и вызывать изменение высотного положения уровня моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев В.В. Возможные причины эвстазии Каспийского моря на современном этапе развития // Известия. СКНЦ ВШ. 2003. № 3. С. 98–103.
2. Ковалев В. В., Парада С. Г. Геологические аспекты современных изменений уровня Каспийского моря // Вестник Южного научного центра РАН. 2013. № 2. с. 58–72.
3. Голицин Г.С., Панин Г.П. О водном балансе и современных изменениях уровня Каспия // Метеорология и гидрология. 1989. № 1. С. 57–63.
4. Голубов Б.Н. Аномальный подъем уровня Каспийского моря и техногенная дестабилизация недр. // Известия РАН. Сер. географ. 1994. № 1. С. 59–61.
5. Шевнин А.Д. Долговременные вариации солнечной и магнитной активности и уровня Каспийского моря // Водные ресурсы. 1994. Т. 21. № 4. С. 405–409.
6. Эйгенсон М.С. Проблемы Каспийского моря. Баку: АН АзССР, 1963. 24 с.
7. Ковалев В. В. Проявление грязевого вулканизма в Каспийском море // РГУ, научная конференция, Ростов-на-Дону, 1980. С. 34–36.
8. Мернер Н.А. Эвстазия, изменение геоида и взаимодействие многих геофизических факторов. // Катастрофы и история Земли. М.: Мир, 1986. С. 394–412.
9. Милановский Е.Е. Пульсация и расширение Земли – возможный ключ к пониманию ее тектонического развития и вулканизма в фанерозое // Природа. 1978. № 7. С. 22–34.
10. Лилиенберг Д.А. Новые подходы к оценке современной эндодинамики Каспийского региона и вопросы ее мониторинга // Известия РАН, серия геогр., 1994. № 2. С. 86–89.

A new concept of causes of non-regular fluctuations of the Caspian Sea level, not based on changes in the climatic factor, and on the impact of solar cycles on the asthenospheric layer and tectonic the South Caspian basin.

Путанс В.А., Мерклин Л.Р., Иванов А.Ю., Амбросимов А.К.
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: vitaru@mail.ru)

Признаки флюидодинамической активности на Северном и Среднем Каспии

Putans V.A., Merklin L.R., Ivanov A.Yu., Ambrosimov A.K.
(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Signs of fluid dynamic activity on North and Central Caspy

Ключевые слова: Каспийское море, флюидодинамика, сейсмостратиграфия, сейсмоакустика, геориски

Проведен анализ геолого-геофизических данных, собранных в последних экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), фондовых данных инженерно-геологических исследований, и данных дистанционного зондирования. Одна из примечательных особенностей геологического строения недр Северного и Среднего Каспия - множество трубообразных вертикальных аномалий, которые уходят далеко за пределы записи, в недра. Эти сейсмоакустические аномалии и донные микроформы могут рассматриваться в качестве признаков вертикальной миграции газа и воды через толщу грунтов и их поступления его в водную толщу с образованием газовых грифонов. Космические снимки, сделанные над Северным и Средним Каспием, показывают большое количество сликов или нефтепроявлений на поверхности моря, причем некоторые из них присутствуют постоянно в одних и тех же местах, что подтверждает гипотезу о дренировании флюидов из морского дна.

Каспийское море – уникальный природный объект, которому присущи многие неординарные явления, например, постоянное изменение уровня, аномалии волнового поля, аномалии гидрохимических характеристик и температуры в придонном слое. В настоящей работе проведен совместный анализ геолого-геофизических данных, собранных в последних экспедициях ИО РАН, и данных дистанционного зондирования, интерпретация которых впервые позволила говорить о современном усилении флюидодинамической активности Каспия.

В работе использовались сейсмоакустические профили высокого разрешения (электроискровой источник Спаркер, несущая частота 250Гц, разрешение до 3м), сверхвысокого разрешения (параметрический профилограф SES, частоты 2-7кГц, разрешение до 0,3м), ультравысокоразрешающая система CHIRP-II (Datasonics) со свип-сигналом (7кГц), полученные Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2004-2013 г. Отбор проб осуществлялся гравитационным пробоотборником с диаметром 15 см длиной 4 м, для отбора проб с поверхности (0–5 см) использовался малый пневматический дночерпатель. Естественные нефтепроявления на поверхности Северного и Среднего Каспия неоднократно наблюдались

из космоса в 2011-2017 гг. Эти пятна-слики появлялись и группировались в одних и тех же местах в течение семи последних лет и часто имели характерные для естественных нефтепроявлений сигнатуры [1]. С использованием геоинформационного (ГИС) подхода, были созданы сводные карты распределения всех кандидатов в естественные нефтепроявления. Также в работе использовались каталоги землетрясений за последние 150 лет (каталоги землетрясений).

В современном облике дна Каспия и его осадков отчетливо запечатлена история многократных перестроек гидрографической сети и трансгрессивно-регрессивных циклов колебаний уровня моря в неоген-четвертичное время. Замыкающую роль сыграли стадии последней новокаспийской трансгрессии, определившей нынешнее сложное сочетание рельефообразующих процессов осадконакопления и донной эрозии. На основе обобщения материалов предыдущих изысканий в разрезе Каспия по признакам ритмостратиграфии выделяются следующие седиментационные комплексы (СК) (Сейсмокомплексы и периоды плейстоцена Каспия. Возраст по [2]):

- Новокаспийский, новокаспийская трансгрессия, 7–0 тыс. лет
- Мангышлакский, комплекс отложений, накапливающихся за береговой чертой в период мангышлакской регрессии, 7–10 тыс.лет
- комплексы отложений, сформировавшиеся в период повышения и последующего снижения уровня моря в соответствующий период: Хвалынский (позднихвалынская трансгрессия 9–11 тыс.лет, раннехвалынская трансгрессия 13–30 тыс.лет); Верхнехазарский (позднихазарская трансгрессия 80–130 тыс.лет), Нижнехазарский (ранне хазарская трансгрессия, 150–300 тыс.лет).

Ритмостратиграфические комплексы достаточно уверенно выделяются на сейсмоакустических записях как на Северном, так и на Среднем Каспии. Одна из примечательных особенностей недр - множество трубообразных вертикальных тел, которые были обнаружены в экспедициях ИО РАН с помощью высокоразрешающей сейсморазведки [3]. Совместное использование методов исследования общей глубинной точки и однократного непрерывного профилирования показало, что эти тела имеют диаметр в плане от десятков до первых сотен метров, пронизывают осадочный чехол на глубину более 2000 м, т.е. далеко за пределы записи, в недра. Также при проведении инженерно-геологических исследований на сейсмоакустических записях над выделяющимися горизонтальными амплитудными аномалиями и по их обрамлению фиксируются столбчатые аномалии, представляющие серию следующих друг за другом дуг дифрагированных волн. Такие столбчатые образования достигают разных уровней и даже достигают поверхности дна. В водной толще отмечаются гребневидные аномалии, аналогичные тем, что фиксируется в ряде морей в местах истечения со дна газа, а на дне изолированные микровозвышения. (фондовые данные

инженерно-геологических работ). Указанные сейсмические аномалии и донные микроформы могут рассматриваться в качестве признаков вертикальной миграции газа через толщу грунтов и поступления его в водную толщу с образованием газовых грифонов. При исследовании Среднего Каспия были обнаружены обширные провинции на дне моря насыщенные такими колодцами с аномальными характеристиками донных осадков и придонной воды [4]. Секущие контакты со слоями донных осадков указывают на современную геологическую активность трубообразных тел, характер которой, однако, оставался неясным до применения методов геохимии, гидрогеологии, геодинамики, гидробиологии и т.д.

Изучение гидрофизического и гидрохимического состояния водной среды и донных отложений, проведенное в 2003-2004 гг. в районах выходов флюидных колодцев (или окон) на дне Северного Каспия [4, 5] показало, что эти проявления наиболее ярко выражены в донных осадках обогащенных тяжелыми металлами и нефтяными углеводородами. Сами флюиды в водной среде довольно быстро растворяются и разносятся течениями, а содержащиеся в них тяжелые частицы осадков выпадают вблизи колодцев. Над отдельными трубообразными телами и в их окрестности воды и донные осадки Северного Каспия содержат повышенные концентрации металлов *Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Cd*, которые образуют в земной коре самостоятельные минералы двух основных групп. К первой из них относятся *Fe, Mn, Cu*, которые наиболее характерны для пород платформенного чехла древней и молодых платформ. Вторая группа объединяет элементы *Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Cd*, которые также могут присутствовать в виде обломочных минералов в осадочном чехле платформ, но все же более характерны для рудных тел и гидротерм, свойственных более глубоким горизонтам земной коры. В 2005–2015 гг. в северо-восточной части Среднего Каспия, в провинции с большим количеством флюидодинамических окон у дна, были обнаружены слои теплой воды с температурой на $\sim 0.4-0.8^\circ$, превышающей температуру вышележащих слоев. Мощность этих слоев составляла около 20 м, а простирание не менее чем в несколько десятков километров, хотя специальных исследований по их простиранию не проводилось. Можно предположить, что такие объемы выдавленной из недр воды могут влиять и на динамику уровня Каспийского моря.

Космические снимки, сделанные над Северным и Средним Каспием, показывают большое количество сликов или нефтепроявлений на поверхности моря, причем некоторые из них присутствуют постоянно в одних и тех же местах, что подтверждает гипотезу о дренировании флюидов из морского дна. Спутниковый мониторинг 2011-2017 гг. позволил обнаружить наличие большого количества мелкомасштабных пятен-сликов, а пространственно-временной анализ выявить характер их группировки в северной части

Каспийского моря и на границе со Средним Каспием. Анализ сигнатур спутниковых наблюдений показывает, что источники разгрузки нефти на дне моря, сосредоточены в основном на границе Северного и Среднего Каспия с очевидной привязкой к нефтегазоносным структурам.

Таким образом, совместный анализ данных спутникового мониторинга с привлечением данных батиметрии, геолого-геофизических и сейсмологических наблюдений, позволит подметить ряд особенностей в распределении пятен и их очевидную взаимосвязь со строением, флюидодинамикой и нефтегазоносностью осадочного чехла Каспийского моря, а также с сейсмичностью недр.

Работа проведена при поддержке Госзадания № 0149-2019-0006 и Гранта РФФИ 17-55-560008.

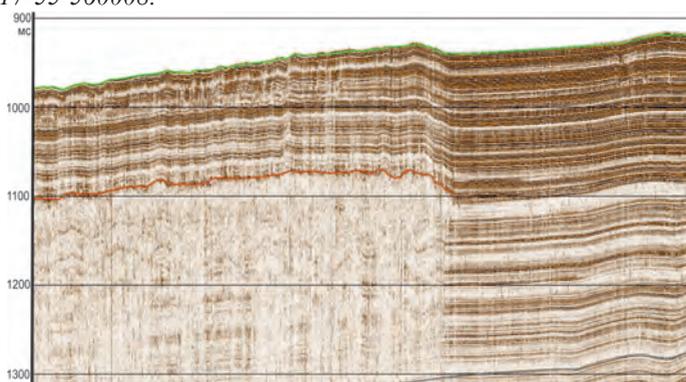


Рисунок 1. Средний Каспий. Горизонтальная зона потери корреляции и вертикальные секущие аномалии.

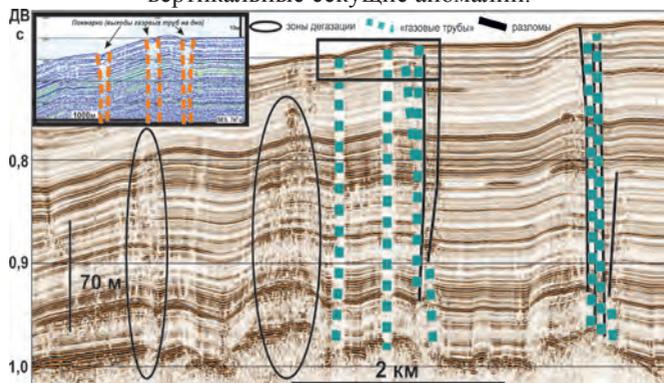


Рисунок 2. Средний Каспий. У подножия Апшеронского порога, из [6]

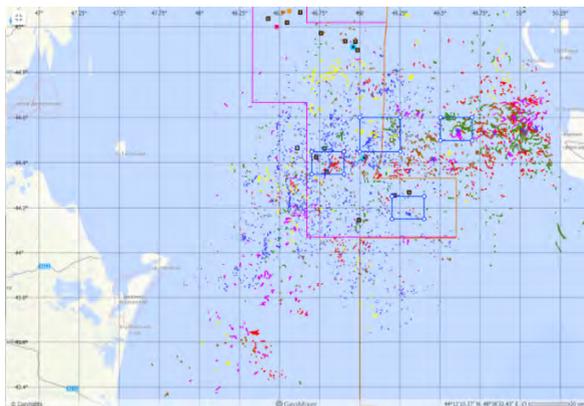


Рисунок 3. Сводная карта естественных нефтепроявлений в Северном и Среднем Каспии в 2011-2016 гг. по данным радиолокационного дистанционного зондирования

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.Ю. Стики и плёночные образования на космических радиолокационных изображениях // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 3. С. 73–96.
2. Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1999. 298 с.
3. Голубов Б.Н. Исмагилов Д.Ф. Трубообразные тела под дном Северного Каспия и флюидный режим его недр // Генезис нефти и газа. М.: ГЕОС, 2003. С. 78–80.
4. Амбросимов А.К., Верховская З.И. Экогеохимические комплексные исследования донных осадков, морской воды и поверхностного микрослоя на полигонах Каспийского моря // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 2. С. 1–7.
5. Амбросимов А.К., Голубов Б.Н. Металлоносность вод и донных отложений Северного Каспия как показатель субмариной разгрузки флюидов из его недр // Экологические системы и приборы. 2014. № 5. С. 50–63.
6. Путанс В.А., Мерклин Л.Р., Зеленин А.В. Проявление современных тектонических событий в структуре позднечетвертичных осадков Среднего Каспия // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 139–144.

The paper presents analysis of geological-geophysical data, both from archives and collected in recent expeditions by Shirshov Institute of Oceanology, RAS (SIO RAS) together with satellite data. Seismic wave pattern in Caspiy has anomalies of two types: horizontal disturbed layer and vertical pipes. Anomalies forms associations – pipes are rooted in disturbed layer and go through sediments up to seafloor and form pockmarks. All specified seismic anomalies and bottom microrelief can be considered as evidence of vertical migration of gas and water via sediments and its escaping to water by gas and water grifons. Satellite images of North and Central Caspian show great amount of slicks and oil signs on the sea surface, and some of them present constantly on the same place, so it is possible to claim the sub-bottom fluid escape theory.

**Романько А.Е.¹, Имамвердиев Н.А.², Прокофьев В.Ю.³,
Викентьев И.В.³, Рашиди Б.⁴, Хейдари М.⁵, Савичев А.Т.¹,
Полещук А.В.¹**

(¹ГИН РАН, Москва, a-romanko@ya.ru; ²Бакинский Государственный Университет, Баку, Республика Азербайджан; ³ИГЕМ РАН, Москва, ⁴Satrap Ресурсиз, Перт, Австралия, ⁵Гео-консультационная компания Парс Кани, Тегеран, Иран)

Тектоно-магматические особенности нескольких структур востока Ирана и юга Каспийского моря, некоторые данные по углеводородам (УВ) и проблемы

**Romanko A.E.¹, Imamverdiyev N.A.², Prokof'ev V.Yu.³,
Vikentev I.V.³, Rashidi B.⁴, Heidari M.⁵, Savichev A.T.¹,
Poleshchuk A. V.¹**

(¹Geological Institute, Moscow, a-romanko@ya.ru; ²Baku State University, Baku, Azerbaijan; ³Institute of ore deposits, Moscow; ⁴Satrap Resources, Perth, Australia, ⁵Pars Kani, Tehran, Iran)

Tectonic-magmatic peculiarities of several structures in east Iran and south Caspian Sea, some data on hydrocarbons (oil, gas), and discussion

Ключевые слова: тектоно-магмато-углеводородная (УВ) корреляция, восток Ирана, Южный Каспий, специфический режим

В основном кайнозойские (и меловые) магмато-тектонические процессы изучались в восточном Иране и на юге Каспийского моря. Материалы на углеводороды были также проанализированы. Выявлена общая геологическая корреляция и специфический режим.

Мы представляем материалы по отдельным структурам региона: В. Иран – Ю. Каспий (частично) – М. Кавказ (также частично), Ближний Восток (формально – Middle East). Геолого-экономически регион чрезвычайно важен, что звучит даже банально. Предлагаются материалы по геологии отдельных структур – альпид Ирана (основные материалы по востоку страны), М. Кавказа (здесь также описаны близкие щелочные и известково-щелочные породы кайнозоя) и Южного Каспия. В регионе сочленяются собственно альпийские и гималайские структуры [1, 4, 13]. Общая геология региона связывается многими специалистами с активностью важного Африканского суперплюма. Альтернатива этому – по М. Кескину – отрыв или деляминация литосферной плиты – слэба, с появившимся **мантийным** окном, как минимум для кайнозоя. Ниже приводятся некоторые выводы по исследуемой территории, данные по различной зональности в регионе:

Известна принципиальная **субмеридианальная** тектоно-магматическая, металлогеническая зональность (последняя подавляюще связана именно с магматизмом) и известная **УВ-приуроченность** (УВ-пояс от Персидского

залива до Баренцева моря) к субмеридиональной гигантской структуре. Эта зональность обусловлена, как считается большинством геологов, поддвигом или субдукцией Аравийской плиты на СВ, под блок Центрального Ирана. Удивительно, что от Прикаспия до юга Каспия – мы имеем словно аккреционную призму – своеобразное омоложение пород от докембрия на севере – через палеозой – до плиоцена на юге. В пользу общегеологической этой зональности говорит и уменьшение сейсмоактивности от Южного Каспия к Среднему Каспию, как минимум (Богданов, Хаин и др., 2003 и др.).

- на описанную зональность наложились процессы, связанные с активностью упомянутого гигантского Африканского суперПлюма – по известной высокоразрешающей томографии Булла (Bull, McNamara, Ritsema). В связи с суперплюмом выявлена мощная неоген-четвертичная внутриплитная ассоциация пород, включая карбонатиты Афганистана и Аравии, экзотические высоко-калиевые продукты (K_2O до 7.4%) В. Памира, по Э.А. Дмитриеву, 1976 и др. Реконструируется ряд пород: трахиандезиты с $CaO=7.1\%$ – богатые кальцием вулканиты – редкие вулканиты с $CaO=34.8\%$ – и, наконец – истинные карбонатиты (показатели очень большой глубины) собственно голоцена, Ханнешин, Афганистан, а также кайнозой Ю. Памира и Аравии.

- охарактеризована и иная субдукционная ассоциация (антипод предыдущей, образующая с первой энергетически выгодную пару), дающая олигоцен – четвертичные производные (интрузивные, эффузивные, пирокластические, а также туффиты). Получены первые данные о высокотемпературных (1150–1220° С) калиевых расплавных включениях стекла в плагиоклазе высококалиевых субдукционных лавах квартера против нехарактерности расплавных включений во внутриплитных породах. Очень высоко содержание воды в поздних калиевых кислых расплавных включениях ($T=690^{\circ}C$) – 6 мас.%, даже до 8, на пределе до 9 мас.%. Сказанное подтверждает мантийную аномальность региона (что подтверждено общими расчетами Ю. Ребецкого и др., ИФЗ РАН).

- предполагают и УВ-зональность по запасам, по Богданову и Хаину, 2003:

1. С. Каспий – УВ в породах девона-палеогена, и газ в неогене,
2. Ср. Каспий – УВ в породах триаса–юры-мела, палеогена,
3. Ю.Каспий–УВ в породах позднего плиоцена,
4. южнее, в 600 км – вкрест простирания основной структуры - Персидский залив – УВ в исключительном интервале пермь - неоген (не исключено наибольшее не прямое воздействие глубокой (глубинной) магмы).

Любопытно здесь редкое сочетание УВ – уголь. Характерна и известная приуроченность УВ к разломам. Возможно, движение УВ вверх шло недавно, несмотря на то, что УВ «застряли» в разновозрастных породах - более молодых на юге. Возраст залежей разных регионов принимается часто как кайнозой для нефти и голоцен или весь квартал – для газа, например, по данным А.И. Тимурзиева и др., 2014 – Кудрявцевские чтения.

- субмеридианальная ориентировка давно известного протяженного УВ-пояса (к тому же он на линеаменте) Баренцево море – Каспий – Персидский

залив (карта нефтегазоносности СССР, М: 2 500 000; также для Каспия, по В.Е. Хаину и др., 2003 и мн. др.), соляных куполов Персидского залива и т.д. Указанные данные говорят в пользу глубокой подпитки УВ, глубокой компоненты.

- вторичная, подчиненная зональность нефть-газ **запад-восток в Персидском заливе, а на Каспии**, возможно, косвенно связанная с «корнями гор» Кавказа, вынуждающими УВ поворачивать на восток по мере движения с юга на север (предполагается для кайнозоя).

- анализ детальных структурных карт вообще дает порой уверенную локализацию максимума УВ для площадей региона, Западной Сибири (несколько площадей), Южного Арала. Зональность УВ фиксируется по разным картам разного масштаба, что говорит в пользу ощутимой миграции УВ (все сложившиеся месторождения – кайнозойские из-за высокой миграции УВ).

Отметим важные данные в пользу **глубинного** фактора УВ по другим регионам и литературе [1–6, 9–14]:

- баланс УВ во времени – эффектный и важный аргумент, по (Gold and Held, 1987; Selly 1998, с использованием известных материалов Н.А. Кудрявцева)

- смещение абиогенного и биогенного углерода в сипах (выход УВ) Турции, показанное на основе впечатляющей аналитики, включая изотопию углерода и кислорода. Зарубежные данные по абиогенным УВ Турции (сосуществование небиогенных и биогенных газов), Индии и др. Новейшие и недавние впечатляющие данные по Марсу, спутнику Европа (наличие даже этана), дальним планетам и мн.др. из космического агентства НАСА, США. Однако, видимо, нет одной цепи УВ газы - нефть, это две разные ветви, хотя нефть и искусственно была получена из газа.

- ассоциация УВ именно с мантийным изотопом гелия 3 (хотя известный специалист **Б.Г. Поляк** (2013 и др.) отрицательно относится к абиогенным УВ). По данным активной группы Б.Г. Поляка, установлена примесь **мантийного гелия 3** для грязевых вулканов (muds) в связи с активным кайнозойским магматизмом Большого Кавказа, в том числе, по данным О. Киквадзе, 2016 (хотя, по мнению Б.Г. Поляка – наличие мантийного гелия – не критерий глубинности очага и т.д.).

- банальное уже нахождение газообразных УВ на других планетах [1–7, 14];.

- получение **аминокислот из неживой природы** – знаменитый опыт С. Миллера, США, 1951 и др. – шаг к возникновению жизни на Земле из неорганических соединений

- констатация органических соединений на вулкане Толбачик и др., Камчатка – по Е. К. Мархинину и В.В. Челокосу и др., 1989. Выход метана (есть данные и об этане) в действующих вулканах Исландии, нефть современной кальдеры Узон, Камчатка, например, по Н.Л. Добрецову и др., 2013, и мн. др. (хотя формально противники глубинной нефти допускают захват органической нефти магмой). Многочисленные материалы по

подводным УВ (включая обильные газогидраты) в океанах, например, по О.А. Мазаровичу и С.Ю. Соколову, 2010 и т.п.

- знаменитые работы А.И. Опарина (A.I. Oparin), 1938 и мн. др. – о происхождении жизни и мн. др.

- солидное количество месторождений УВ в фундаменте, по некоторым данным не менее 1/4 всех месторождений УВ, материалы В и Н. Лариных и др.

- механизм круговорота УВ и близости геохимии нижней (в основном) коры с УВ известного сейсмолога и т.д. М.В. Родкина, 2015, позволяет примирить абиогенную и биогенную теории. Известно, что геохимия редких элементов серпентинитов, иногда – нижней и реже – верхней коры имеет общее с геохимией нефтей. Чисто абиогенная теория не признается, многими крупными специалистами-нефтяниками. Вероятно, есть данные о биогенном факторе, но **спровоцированном** часто известной глубокой дегазацией (включая важную таковую водородную), глубокими или глубинными разломами (о чем известно от самого Д.И. Менделеева) и др.

Желательна, конечно, конструктивная критика со стороны убежденных сторонников биогенной теории УВ, в том числе по «заведомо» биогенным залежам и т.д. По мнению известных специалистов, **проблемными** для чисто глубинного генезиса УВ остаются следующие вопросы:

1. Имеются биогенные залежи, нет сомнения в их происхождении?
2. био-маркеры все же в некоторых случаях – веский аргумент.
3. материалы школы проф. Вассоевича и др., западный специалист Голд (Gold - абиогенные УВ) на западе в меньшинстве...
4. вулкан способен выбрасывать продукты с захваченной органикой. Органика в связи с вулканами образуется, как утверждают, крайне быстро
5. круговорот УВ в природе известного сейсмолога М.В. Родкина с помощью мезозой (отчасти) – современной субдукции стирает грань между разными УВ.
6. Полимеризация метана в нефти – неравновесна? и достижима искусственно, важна роль катализаторов.

Авторы сердечно благодарны Е.Ф. Романько† (МПР), А. Хушманзаде и М.А.А. Ноголь Садату† (Институт проблем Земли, Тегеран) за помощь на полевых работах в В. Иране; также М.В. Родкину, А.М. Кузину, Д.А. Астафьеву, Ю.А. Воложу, В.А. Быкадорову, Ю.Г. Леонову†, В.Н. Сергееву†, Б.Н. Голубову†: а также УВ-специалистам и приглашенным лекторам МГУ, Москва – Ю. Ампилову, А. Никишину, М. Иванову†, О. Калмыкову и др.; и, кроме того – зарубежным лекторам: Ф. Кристи, Х. Посаментиеру и Р. Тобину – за специальные УВ-лекции в МГУ, Научно-образовательный центр – НОЦ; также и многим специалистам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьев Д.А. Роль планетарной магмофлюидодинамической системы Земли в тектогенезе, бассейно- и нафтидогенезе // Дегазация Земли:

- Геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь. М.: ГЕОС, 2010. С. 39–43.
2. Галимов Э.М., Камалеева А.И. Источник углеводородов супергигантского нефтяного месторождения Ромашкино (Татарстан) – приток из кристаллического фундамента или нефтематеринские осадочные отложения? // Геохимия. 2015. № 2. С. 103–122.
 3. Кудрявцев Н.А. Генезис нефти. Л.: Недра, 1973. 216 с.
 4. Кузин А.М. Пространственно-фазовая локализация месторождений углеводородов и отображение конвергентности процессов флюидизации в геологической среде по сейсмическим данным // Дегазация Земли и генезис нефтяных месторождений. М.: ГЕОС, 2011. С. 276–301.
 5. Летников Ф.А., Карпов И.К., Киселев А.И., Шкандри Б.О. Флюидный режим земной коры и верхней мантии. М.: Наука, 1977. 216 с.
 6. Маракушев А.А., Маракушев С.А. Образование нефтяных и газовых месторождений // Литология и полезные ископаемые. 2008. № 5. С. 505–521.
 7. Родкин М.В., Рукавишникова Т.А. Очаг нефтеобразования как неравновесная динамическая система – модель и сопоставление с эмпирическими данными // Геология нефти и газа. 2015. № 3. С. 65–70.
 8. Сывороткин В.Л., Зайцев В.А. О Некоторых результатах водородной съемки Абдрахмановской площади Ромашкинского месторождения // Четвертые Кудрявцевские чтения. М: ЦГЭ, 2015.
 9. Тимурзиев А.И. Закономерности нефтегазоносности Еты-Пуровского месторождения и прогнозные оценки по приросту запасов нефти и газа // Электронный журнал «Глубинная нефть». 2013. Т. 1. № 12. С. 1980–2013. URL: http://journal.deerpoil.ru/images/stories/docs/DO-1-12-2013/9_Timurziev_1-12-2013.pdf.
 10. Федонкин М.А. Роль водорода и металлов в становлении и эволюции метаболических систем // Проблемы зарождения и эволюции биосферы. М.: Книжный дом «Либроком», 2008. С. 417–437.
 11. Marakushev A.A., Marakushev S.A. Fluid Evolution of the Earth and Origin of the Biosphere // *Man and the Geosphere / Florinsky I. V. (Ed.)*. New York: Nova Science Publishers, 2010. P. 3–31.
 12. Marakushev S.A., Belonogova O.V. // *Orig. Life Evol. Biosph.* 2013. V. 43. P. 263–281.
 13. Romanko A., Imamverdiyev N.A., Prokofiev V. et al. Some New and Previous Materials on Alpine Magmatism, Tectonics, Melt and Fluid Inclusions, and Metallogeny in Eastern Iran // *Journal of Mining Sciences*. 2018. V. 4. Is. 1. P. 11–28.
 14. Timurzиеv A.I., Gogonenkov G., Kashik A. Geodynamics and Oil Content of Horizontal Strike-Slip Fault Structures (by Example of Western Siberia) // 67 EAGE Conference & Exhibition, 13–16 June 2005, Madrid.

Mainly Cenozoic (and Cretaceous) magmatic-tectonic processes were studied in east Iran and south Caspian Sea. Materials on hydrocarbons were analyzed too. General geological correlation and specific regime were revealed.

Свиточ А.А., Янина Т.А.

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, a.svitch@mail.ru, didacna@mail.ru)

Каспийские моллюски в неоплейстоцене Черного моря Svitch A.A., Yanina T.A.

(Lomonosov Moscow State University)

Caspian mollusks in the Neopleistocene of the Black Sea

Ключевые слова: Каспий, Черное море, Маныч, малакофауна, корреляция событий

Представлен видовой состав, геологический возраст и особенности распространения каспийских моллюсков в неоплейстоценовых бассейнах Черноморского региона; основное внимание уделено солонатоводным моллюскам рода *Didacna* Eichw., руководящим для Каспийского моря и эндемичным для Понто-Каспия; для последнего они играют важную роль в палеогеографических реконструкциях его бассейнов и в стратификации морского плейстоцена.

Видовой состав моллюсков очень разнообразен как в разрезе морских осадков, так и по их простиранию, и содержит отличные в экологическом отношении группы фаун, что отражает промежуточное положение бассейна между Каспийским и Средиземным морями и сложность его плейстоценовой истории. Для правильного толкования последней необходимо понимание проблем возникновения, проникновения в бассейн и дальнейшего развития в нем каждой экологической группы моллюсков.

Анализ местонахождений малакофауны показал, что морские неоплейстоценовые и голоценовые отложения Черноморского региона содержат раковины моллюсков, представляющие разновозрастные фауны: чаудинскую, эвксино-узунларскую, карангатскую и эвксино-черноморскую. Их основу составляют моллюски разных экологических группировок: пресноводной, слабо солонатоводной, солонатоводной и морской (стеногалинной и эвригалинной). Фауны включают фаунистические группировки более низкого ранга: фаунистические комплексы, подкомплексы, ассоциации.

Каспийская фауна моллюсков – это комплекс видов, характерный для Каспийского моря, автохтонный для него же и эндемичный для Понто-Каспийского бассейна. В отдельные периоды неоплейстоцена каспийские моллюски мигрировали по Манычскому проливу в черноморские бассейны. Согласно имеющимся на сегодняшний день материалам по положению и малакофаунистическому содержанию отложений Манычской долины, в плейстоцене отмечается шесть эпох открытия пролива и сброса по нему вод каспийских трансгрессий: в раннем неоплейстоцене – в позднебакинскую

эпоху, в среднем – дважды в раннехазарскую эпоху, в позднем неоплейстоцене – в позднехазарскую (гирканскую) и дважды в раннехвалынскую эпохи.

Массовое проникновение каспийской фауны и широкое ее расселение в черноморских бассейнах произошло в раннем и среднем неоплейстоцене. Каспийские моллюски входят в основной состав чаудинской и эвксино-узунарской фаун, являясь образующими видами для ее солоноватоводных комплексов и подкомплексов (позднечаудинского, древнеэвксинского и эвксинского). В составе полуморских подкомплексов (эпичаудинского, палеоузунарского, узунарского и ашейского) они имеют подчиненное значение. Это был крупный продолжительный этап развития каспийских моллюсков в Понте. Завершился он с развитием морской карангатской трансгрессии, сократившей распространение каспийских моллюсков до минимума, территориально ограничив их устьевыми зонами крупных рек.

Второй этап развития каспийской малакофауны был очень непродолжительным: в результате сброса вод гирканской трансгрессии в регрессирующий карангатский бассейн ограниченное распространение в нем получили ее характерные виды дидакн. Со значительным опреснением бассейна в эпоху новоэвксинской регрессии все дидакны вымерли.

Третий этап развития каспийских моллюсков – это их распространение в результате сброса вод раннехвалынской трансгрессии в новоэвксинский водоем. В составе новоэвксинского комплекса – господство слабо солоноватоводных видов при единичном присутствии дидакн.

В распространении каспийской фауны в неоплейстоценовых бассейнах Понта отмечается ряд закономерностей: довольно тщательный отбор северокаспийских форм, способных мигрировать через Манычский пролив, и расселение ее на участках, подверженных наибольшему влиянию каспийских вод.

Особое внимание уделено руководящим видам рода *Didacna*. Анализ моллюсков этого рода в составе неоплейстоценовых фаун Понта показал, что они представлены видами черноморского (15) и каспийского (17) происхождения; среди последних выделяются подвиды (5), сформировавшиеся при смене экологической обстановки в Черноморских бассейнах. Черноморские дидакны относятся к группе *crassa* или близки ей. Каспийские дидакны представлены всеми их основными группами (*crassa*, *trigonoides*, *catillus*).

Дидакны входят в основной состав чаудинской и эвксино-узунарской фаун; в морской карангатской фауне дидакны встречаются очень редко, территориально ограничиваясь опресненными участками моря. Еще более редкие моллюски этого рода входят в состав пресноводно-солоноватоводного новоэвксинского комплекса эвксино-черноморской фауны. В черноморском комплексе дидакн, очевидно, нет. Среди представителей чаудинской

и эвксино-узунарской фаун дидакны черноморского происхождения (несмотря на кажущееся обилие каспийских видов) играют ведущую роль. В составе эвксино-узунарской фауны численный состав каспийских видов (несмотря на их меньшее таксономическое разнообразие) больше, чем в составе чаудинской фауны.

В плейстоценовой истории Черноморского региона отмечается два экологических кризиса для каспийских дидакн. 1. Карангатское осолонение бассейна, приведшее к вымиранию каспийских представителей чаудинской и эвксино-узунарской фаун. После этого кризиса немногочисленные гирканские дидакны, мигрировавшие через Маныч вслед за регрессией карангатского моря, освоили очень ограниченные участки бассейна. 2. Новоэвксинское опреснение, в результате которого погибли все моллюски этого рода. Редкие хвалынские дидакны, преодолевшие Манычский пролив, не смогли акклиматизироваться в новоэвксинском бассейне. Это привело к окончательному исчезновению дидакн из малакофауны Азово-Черноморского бассейна.

Очевидно, представителей каспийской фауны в Азово-Черноморском бассейне следует считать не реликтами, как это распространилось среди исследователей после трудов И. Кесслера, А.А. Остроумова и В.К. Совинского, а вселенцами из другого бассейна, как предложил Ф.Д. Мордухай-Болтовской.

В современном Азово-Черноморском бассейне каспийская малакофауна представлена видами: *Dreissena rostriformis*, *Hypanis plicatus*, *Adacna laeviuscula*, *M. caspia pontica*, *Theodoxus pallasii*, *Micromelania lincta*, *Caspia gmelini*, *Clessiniola variabilis*, *C. triton*. Особенностью ее распространения является разорванность ареалов: каспийские виды обитают в нескольких сильно опресненных участках бассейна, разделенных областями открытого моря. Прежде всего выделяются пять главных эстуариев крупных рек – Дуная, Днестра, Днепра с Бугом, Дона и Кубани. Особые области представляют Азовское и Черное моря за пределами эстуариев. В каждом из этих районов населяющая его каспийская фауна обладает некоторыми характерными чертами, что объясняется экологическими причинами.

Анализ распространения каспийской фауны в Азово-Черноморском бассейне показывает, что важнейшим фактором для ее обитания является величина солёности. Максимальное число каспийских видов наблюдается в наиболее опресненных предустьевых районах и лиманах, в миксогалинных водах. Для них характерны узкие пределы солёности, из которых они не могут выйти даже при постепенной смене условий. В Черноморско-Азовской области каспийские виды переносят небольшие колебания солёности от 0 до 5‰, редко до 8‰. В Каспии, где другой химический состав воды (повышенное содержание сульфатов и ионов кальция, мало хлоридов),

верхняя граница солености тех же видов повышена до 13-14‰. Фактор глубины имеет для каспийской фауны в Азово-Черноморском бассейне второстепенное значение – подавляющая часть моллюсков обитает на самых незначительных глубинах. Как обитатели мелководий, каспийские моллюски должны переносить не только широкий размах колебаний температуры в течение года (абсолютная температура колебаний здесь превосходит 30°), но и ее быстрые изменения, т.е. должны быть в высокой степени эвритермными. В целом каспийская фауна в Азово-Черноморском бассейне отличается относительной стенотопностью, или более узкой –экологической валентностью” [1], выраженной в ее олигогалинности и оксифильности – основных свойствах, определяющих ее распространение.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (16-17-10103).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мордухай-Болтовской Ф.Д. Каспийская фауна в Азово-Черноморском бассейне. М.-Л., 1960. 228 с.

The species composition, geological age and peculiarity of areals of the Caspian mollusks in the Neopleistocene basins of the Black Sea Region are reviewed. The notice is focused on the brackishwater species of genus *Didacna* Eichw., when being an index species for the Caspian Sea and are endemic for the Pontian_Caspian Region, they are of great importance for the stratification of marine Pleistocene of the Pontian-Caspian region and for paleogeographic reconstructions of the basins

Янина Т.¹, Сорокин В.¹, Безродных Ю.², Романюк Б.²

(¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, didasna@mail.ru, vsorok@rambler.ru; ²ООО Моринжгеология, Рига, Латвия, officeRiga@morinzheologia.lv)

Новокаспийская трансгрессия Каспийского моря (по материалам бурения)

Yanina T.¹, Sorokin V.¹, Bezrodnykh Yu., Romanyuk B.

(¹Lomonosov Moscow State University; ²ООО Morinzheologiya, Riga, Latvia)

Novocaspian transgression in the Caspian Sea (on the drilling materials)

Ключевые слова: Северный Каспий, скважины, керн, комплексный анализ, строение голоценовых отложений, корреляция с климатическими событиями

В толще голоценовых отложений Северного Каспия зафиксированы трансгрессивно-регрессивные события новокаспийской эпохи, позволяющие полно реконструировать историю развития Каспия в голоцене и выявить ее связь с глобальными и региональными изменениями климата.

В 2017 г. на Школе по морской геологии авторами был сделан доклад о структуре, составе и абсолютном возрасте новокаспийских осадков Северного Каспия [1]. Новокаспийский комплекс отложений накопился в Каспийской депрессии при поднятии уровня моря после глубокой мангышлакской регрессии до настоящего времени. Материалы получены в результате инженерно-геологических изысканий, выполненных в последние годы, а также комплексного анализа керна скважин и колонок. Настоящая работа является продолжением выполненных исследований. Она представляет палеогеографические реконструкции событий в новокаспийскую трансгрессивную эпоху и их связь с глобальными и региональными климатическими изменениями.

Новокаспийская толща неоднородна по строению. Южнее авандельты Волги в Северном Каспии до зоны глубин 6–8 м простирается придельтовая равнина. В строении новокаспийских отложений как северо-восточных, так и западных участков равнины, выделяется три комплекса с горизонтальной и субгоризонтальной слоистостью (nk1, nk3, nk5), разделенных ярко выраженными размывами и палеодепрессиями глубиной до 8-9 м (комплексы nk2 и nk4).

Комплексы nk1 и nk3 отличаются преимущественно слоистой структурой, определяемой протяженными субгоризонтальными отражающими поверхностями. Комплексы nk2 и nk4 представляют собой фации заполнения русел и/или озерных впадин, наиболее крупные из которых прорезают

всю толщу новокаспийских, часто мангышлакских и верхнехвалынских, отложений на глубину до 10 м. Маломощный верхний комплекс nk5 несогласно перекрывает отложения комплексов nk4 и nk3 и сложен песчано-раковинными осадками. Можно заключить, что в строении осадочной толщи Северного Каспия зафиксированы разномасштабные трансгрессивно-регрессивные события новокаспия.

Эпоха трансгрессивного подъема уровня, в строении новокаспийской толщи отраженная слоем nk1, датируется интервалом 8200–5600 лет назад. В климатическом отношении (атлантический оптимум голоцена) ее большая часть относится к эпохе теплого и влажного климата [2, 3]. Согласно [4], флювиальная активность на Восточно-Европейской равнине была умеренная. Вывод о существовании продолжительного этапа потепления и увлажнения климата в Нижнем Поволжье в интервале ~8500–7600 л. н. сделан Н.С. Болиховской [5]. А позднеатлантический интервал, длившийся с 6100 до 5000 л. н., по уровню и соотношению теплообеспеченности и влагообеспеченности растительного покрова охарактеризован ею как главный климатический оптимум голоцена для этой территории. Очевидно, это эпоха максимального подъема уровня Каспия в голоцене.

Регрессивная стадия (nk2) имеет возрастные рамки 5600–3700 л. н. Уровень Каспия снизился на 8 м, придельтовая равнина вышла из-под каспийских вод и подверглась эрозионному расчленению и воздействию субаэральных процессов. Состав осадков, заполняющих котловины, свидетельствует о том, что это были озерные водоемы типа современных ильменей в дельте Волги. В климатическом отношении это период суббореального термического максимума голоцена (4700–3600 л. н), установленный для Восточно-Европейской части России [2]; период низкой флювиальной активности на территории бассейна Волги [4]. Н.С. Болиховской [5] с 5000 до 4200 л. н. в Нижнем Поволжье реконструированы условия относительного иссушения климата; фаза импульсного иссушения климата, приведшего к господству степных и полупустынных ценозов на водоразделах, установлена ею в интервале ~3700–3500 л. н.

Трансгрессивная стадия (nk3) охватывала временной интервал 3600–3400 л. н. Это была эпоха позднесуббореального похолодания на Восточно-Европейской равнине [2]. О высокой увлажненности на территории водосборного бассейна Волги свидетельствует флювиальная активность малых и средних рек [4] и фаза роста оврагов, имевшая место 3600–3000 л. н. [6]. Фаза увлажнения климата, начавшаяся около 3500 л. н., реконструирована для Нижней Волги [5]. Регрессивная стадия (nk4) датируется 3080–2300 л. н. Уровень бассейна упал на 6–8 м, в придельтовой равнине образовались врезы, заполненные пресной водой. Очевидно, это был отклик Каспия на этап потепления и сокращения количества осадков в бассейне Волги [3]. Отмечено снижение флювиальной активности [4].

Последовавшее вслед за регрессивным событием поднятие уровня Каспия произошло после 2300 лет назад. Этому периоду позднего голоцена отвечают две ярко выраженные климатические фазы: «средневековый климатический оптимум» (950–1250 гг.), с количеством осадков на Восточно-Европейской равнине на 25–50 мм ниже современного, и «малый ледниковый период» (1400–1700 гг.) [7]. Трансгрессивные осадки в Северном Каспии имеют даты 1700–1100 и 900–360 л. н. Условия бассейна и их малакофаунистический облик были близки современным. Напоследних этапах развития бассейна (начало и середина XX века) его заселила черноморская фауна, случайно (*Mytilaster lineatus*) и целенаправленно (*Abra ovata*) занесенная человеком.

Таким образом, в развитии новокаспийской трансгрессии выражены три трансгрессивные стадии: первая развивалась в эпоху теплого и влажного климата атлантического оптимума голоцена; вторая явилась откликом на эпоху позднесуббореального похолодания и высокой увлажненности на Восточно-Европейской равнине; в развитии третьей стадии, охарактеризованной двумя группами дат 1700–1100 и 700–360 л. н., hiatus между ними дает основание к предположению о снижении уровня Каспия в теплый сухой период средневековья, а вторая группа дат отвечает трансгрессивному подъему Каспия в прохладный и влажный климатический эпизод (малый ледниковый период). Регрессивные фазы с падением уровня до 9 м отвечали суббореальному термическому максимуму голоцена и этапу потепления и сокращения количества осадков в бассейне Волги.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (16-17-10103).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безродных Ю.П., Сорокин В.М., Романюк Б.Ф., Янина Т.А. Новокаспий Северо-Каспийского шельфа – структура, состав, данные абсолютного возраста // Геология морей и океанов. Т. 3 из Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ИО РАН, 2017. С. 300–305.
2. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
3. Новенко Е.Ю. Изменения растительности и климата центральной и восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов. Автореф. дис. ... докт. геогр. н., 2016. 44 с.
4. Panin A., Matlakhova E. Fluvial chronology in the East European plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications // Catena. 2015. № 130. P. 46–61.
5. Болиховская Н.С. Эволюция климата и ландшафтов Нижнего Поволжья в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 13–27.

6. Panin A., Fuzeina Yu., Karevskaya I., Sheremetskaya E. Mid-Holocene gullying indicating extreme hydroclimatic events in the centre of the Russian plain // *Geographia Polonica*. 2011. № 84. Special Issue. Part 1. P. 95–115.
7. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2014. № 2. С. 5–20.

In the Holocene thickness of deposits of the Northern Caspian Sea the transgressive and regressive events of the Novocaspian epoch are recorded. They allow to reconstruct fully history of development of the Caspian Sea during the Holocene and to reveal its communication with global and regional climate changes.

**Amrahov R.R.¹, Amrahova S.A.², Mammadova X.R.¹,
Kerimova N.T.³, Shiraliyeva S.F.⁴**

(¹SOCAR GGD, e mail: geoeducation_aze@yahoo.com, ²Azerbaijan State Oil and Industry University, ³Institute of Geology and Geophysics of National Academy of Sciences of Azerbaijan, ⁴SOCAR Polymer)

Structure of the South Caspian uplift of the basement

**Амрахов Р.Р.¹, Амрахова С.А.², Мамедова Х.Р.¹, Керимова
Н.Т.³, Ширалийева С.Ф.⁴**

(¹ДГГ ГНКАР, ²Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, ³Институт Геологии и Геофизики Национальной Академии Наук Азербайджана, ⁴ГНКАР Полимер)

Структура Южно-Каспийского поднятия фундамента

Keywords: SCB, uplift, depression, Paleocene, Eocene, Cretaceous, Mesozoic

Introduction

A special place in a complex and mosaic structure of the SCB is occupied by an uplifted along the crystal basement the South Caspian protrusion-massif. For the first time it was determined according to gravimetric data. In the gravitation field the uplift corresponds with a large positive anomaly 20–25 mGal in the form of gradient on the background of a weak negative field (–10÷15 mGal) of the basin. To clarify its tectonic nature and structural character is one of very important problems of the Caspian geology. Some research workers think that it is morphologic element formed in the zone of bend and blowing of the oceanic crust in the subduction zone (R. Gajiev, 1965; E. Khalilov, 1983 et al.) and the others think that it is uplifted fragment of the structure of “intermediate massif” type of the preCambrian or the Paleozoic consolidation where the whole SCB is located ostensibly (Gorin, 1969; Shikhalibeili, 1984, Gasanov, 1966 et al.). However, the deep structure of the SCB is not studied very well enough and the geophysical information about it is not sufficient.

Direct seismic information about the deep structure of the South Caspian along the sublatitudinal regional profile “Byandovan-Okarem” allowed to clarify structural peculiarities and the occurrence depth of the base uplift in its north periphery. The seismic section distinctly shows an uplift of the acoustic base of an arc-horst type at depth 13.5–15 km. It is nearly 5–7 km higher than the depth showed in the 2D model of the DSS-9 profile in the cross point with profile by CDP. In the model of profile CDP at depth 13-15 km one can identify a high velocity series confined to the upper Mesozoic (Guliyev et al, 1988). The same inexactness in the estimation of the base depth according to data of the DSS and CDP was determined in the Black Sea and in many other deep-water depressions (Tugolesov et al., 1985).

On the seismic sections the surface of the empty arc and microblocks which in the form of terraces go down in the south-west direction are traced very well. This surface by peculiarities of the wave field is erosion surface. Sedimentary layers lean against its slopes. Conjugation of the uplift with the adjacent south trough occurs along the faults. This is typical for the flanks of the rift depressions. The substrate below the acoustic base surface possess all specific features (weak interrupted or stroky recording with chaotic located elements) typical for the consolidated crust.

Thus, summarizing data of different and independent geophysical studies about thickness of the crust and velocities of seismic waves therein the consolidated crust in the South Caspian uplift is close to the subcontinental crust of “intermediate” type. The tectonic block differs from the basalt crust underlying most of the SCB. This uplift by the same indices differs from the buried blocksmassifs in the Trans-Caucasian microcontinent (TCMC).

Results

Seismic time section of the South Caspian south part (materials of “Kaspmorneftegeofizrazvedka”, papers of D. Babayev and P. Mamedov, 1995) 29 Hence, geological data about the Iranian coast and objective data of seismometry CDP and seismotomography allow to make a conclusion that Godin’s protrusion being a substrate of the pre-Alpine consolidation separated from its north slope at the end of the Cretaceous or in the Paleocene and during intensive back-arc volcanism and extension in the Eocene it moved 150–200 km to the north-east.

Conclusions

According to some research workers in a vast territory from the Black Sea till Afghanistan there were formed transform faults of the SW-NE direction. They dissect a new Jurassic-Cretaceous lithosphere of the South Caspian.

REFERENCES

1. Gajiyev R.M. Deep geological structure of Azerbaijan. Azerneshr, Baku, 1965. 205p. (in Russian)
2. Khalilov E.N. Role of horizontal movements of the lithosphere in formation of fault-block structures of the Caspian. Express information. General and regional geology. Iss.10, Moscow. 1983. (in Russian)
3. Gorin Yu.N. Deep structure of Turkmenian according to geophysical data. Moscow, Publishing House “Nedra”. 1969. (in Russian)
4. Shikhalibeyli E.Sh. et al. To problem on the structure and formation of the South Caspian depressions. Papers “Essays on Azerbaijan geology”, Baku. 1984. (in Russian)
5. Gasanov I.S., Ismailov K.A. Recent structure of the South Caspian depression and its relations with deep tectonics // Proceedings: Exploration geophysics on the Caspian Sea. Leningrad, 1966. P. 101–119 (in Russian)

6. Guliyev I.S., Pavlenkova N.I., Rajabov M.M. Regional decompaction zone in sedimentary cover of South Caspian Basin // *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Litologiya i poleznye iskopaemye*. 1988. No 5. P. 130–136 (in Russian).
7. Tugolesov D.A. et al. Tectonics of the Mesozoic-Cenozoic deposits of the Black Sea depression. Moscow, “Nedra”, 1985. (in Russian)
8. Mamedov P.Z., Babayev D.Kh. South Caspian Megatrough Seismostratigraphy. AAPG International Conference, Nice, France. 1995.

Gerivani H.¹, Putans V.², Ivanov A.²

(¹Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran, Email: Gerivani@inio.ac.ir ; ²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia)

Hydrocarbon fluid seepage controlled by active tectonic: Observations in the Derbent Basin of the Caspian Sea

Key words: Caspian Sea, hydrocarbon fluid, oil slicks, tectonic

Introduction: Gas from deep sources and shallow sediments under the tectonically stresses and/or physicochemical changes in water or sediments conditions, can escape along faults and other weak zones to the seafloor, where morphological features like mud volcanoes, pockmarks or mounds are formed (Ligtenberg, 2005; Judd and Hovland, 2007; Sahling et al., 2008; Loseth et al., 2009; Barnard et al., 2015). Several studies in the southern Caspian Sea showed that the distribution and activity of mud volcanos have been affected by faults, folds and earthquakes (Yosifov and Rabinowitz, 2004; Alizadeh, 2004; Bonini and Mazzarini, 2010; Bonini, 2012). So, it seems that gas seeps and the related bottom features have a close relation with tectonically forces and structures (Katrien et al., 2015; Plaza-Faverola et al., 2015; Roy et al., 2016; Berndt et al., 2019). In addition, it is expected that gas seeps and related features should be controlled by other important agents such as bathymetry, sediment supply by rivers, the location and geometry of reservoirs, stratigraphy, landslides, turbidites, and seabed currents (Putans et al., 2010; Michel et al., 2017; Levchenko et al., 2018; Polyakov et al., 2018).

In the present study, using seismic profiles, it is tried to assess the effect of active tectonic on hydrocarbon fluid seepages from seabed in the Derbent Basin in the Middle Caspian Sea.

Physical setting of the Study area: The study area is located in Middle Caspian Sea as shown the fig. 1. The Middle Caspian Depression is quasi-oval, extending in a NNW direction over a distance of 450 km, being 100-200 km wide. It is characterized by a slightly steeper near-Caucasian slope, with the deepest part also shifted towards the Caucasus Mountains. The depression is filled with Jurassic-Quaternary sediments up to 8–10 km thick with a maximum thickness registered in the band adjacent to the Dagestan coast. The sedimentary cover is underlain by a partly deformed Permo-Triassic rock complex and metamorphosed basement of Paleozoic and, probably, older age. The crust beneath the Middle Caspian Basin is approximately 40 km thick, whereas the thickness of the lithosphere is 150 km (Levin and Fedorov, 2001; Mir, 2005).

Seismic potential of the Caspian Sea is relatively high. The strongest earthquakes with magnitudes of up to M=8.0 and higher took place on the western, eastern and

southern Caspian coasts in with magnitudes of 8.1 (856 A.D.), 8.0 (958 AD), 7.8 (1668 AD) and 7.9 (1895 AD). The last strong event in this region was the 1990 Rudbar’ earthquake in Iran, with $M=7.4$ (Ulomov et al., 1999). According to the earthquake catalogue extracted from IIEES data center, many earthquakes were located in the study area, especially close to the western side of the basin (fig. 1).

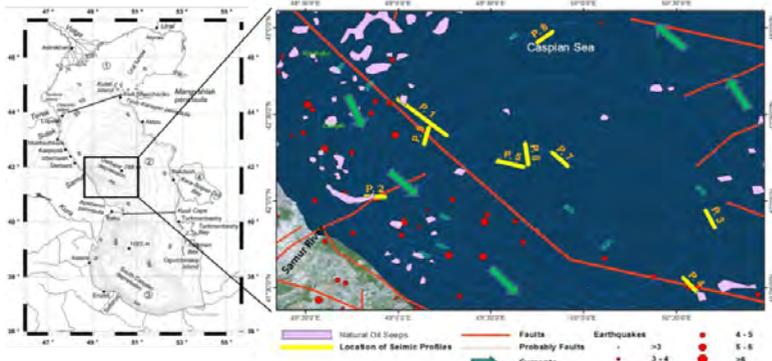


Figure. The area of interest: faults (red lines) located according the international tectonic map of the Caspian Sea, prepared by Russian Academy of Science. Earthquakes (red dots) extracted from the IIEES database and natural oil slicks (rose shapes) detected on SAR images and reported by Bayramov et al. (2018).

Materials and methods: In the present study, first, we used nine seismic profiles (see fig. 1 for the locations of profiles) to determine the stratigraphy variation of sediments and to distinguish different features related to probably shallow free gases and gas hydrates in the upper few 10 meters of seabed. The seismic data used in this study were obtained by Shirshov Institute of Oceanology in 2004-2013, by single-channel seismic profiling system GEONT with multi-electrode sparker and parametric echo-sounding SES-2000-standard (tab. 1). The collected seismic reflection data were processed using the RadExPro seismic processing program with standard algorithm (muting, filtration, sometimes deconvolution). Interpretation was performed using Kingdom software.

Table 1. Specifications of the seismic instruments used for geophysical surveys

Instrument type	Function	Frequency range, kHz	Penetration (depend on sediments), m	Vertical resolution, m
Sparker	Seismic profiler	0.2-0.7	50 – 300	2-3
SES-2000 standard	Echo-sounder + Seismic profiler	100 4-12	10 – 50	0.05-0.15

In the next step, according to the geological and geomorphological parameters and conditions, and also oil slicks on the sea surface, which were detected by Bayramov et al. (2018), it is tried to present evidence to show how active tectonic and faults can affect gas seeps in the study area.

Results and Discussion: In all 9 seismic profiles, sediments were disturbed, and small to large gas pipes were possibly made by gases passing across the sediments upward. Also, typical gas related features and structures such as mud volcanoes, pockmarks and gas hydrates were discovered in some of the profiles (tab. 2).

As discussed in the previous sections, in addition to tectonic, it is expected that some other physical and geological agents have important influence on fluid seepage in seabed, so to understand the role of tectonic and other parameters, also should be considered and assessed. These parameters mainly include:

- Observing main gas related features and structures like mud volcanoes, pockmarks and gas hydrates which show the higher rate of fluid seepage;
- oil slicks on sea surface detected on SAR images (Bayramov et al., 2018): presence of oil slicks on the surface can show a fluid hydrocarbon seepage onto the seabed;
- Presence of faults and earthquakes located around the sites which show the degree of tectonically activity;
- Seabed gradient: it is expected where the gradient is steeper, more seabed landslide and mass movements accrue and consequently hydrocarbon fluids have more chance to escape to seabed;
- Water depth: hydrocarbon fluids in the deeper waters have lower chance to reach to sea surface and make oil slicks;

Table 2. Summary of the observation in the location of seismic profiles

profile No.	Gas seeps related features	Oil Slicks on the sea surface	Crossed by fault or close to fault line	Number of earthquakes*	Water depth (m)	Bathymetry (seabed gradient %)
1	Evidence of gas hydrate	Yes	Yes	4	350-600	0.8
2		Yes	Yes	7	300 - 500	2
3		No	No	0	500	0.6
4	Many gas pipes and pockmarks	Yes	Yes	5	570 - 650	0.7
5	Mud volcano	No	No	3	700 - 730	0.3
6	pockmarks	No	No	0	670 - 730	0.3
7		No	No	0	700 - 730	0.3
8	pockmarks	No	No	0	430	0.6
9		No	Yes	4	550 - 600	0.8

*Number of earthquakes with magnitude greater than 4 and located in the area with 30 km radius around the profile

In the tab. 2, these parameters and characteristics for every profile are presented. According to this table, oil slicks were detected over the profile 1, 2 and 4 which can be interpreted as the highest potential of fluid seepage in the areas of these profiles. These profiles are close to main faults and 4 to 7 earthquakes recorded around them. In contrast, there is not any oil slick over the profiles 3, 6, 7 and 8 which are far from faults and no earthquake recorded around them. At the profiles 5, 6 and 8, mud volcanoes and pockmarks were discovered, which probably show a high value of fluid seepage, however not oil slicks were detected over these

bottom sources. It should be noted that the mud volcano and pockmarks of profiles 5 and 6 are in the deep water (deeper than 670 m), and maybe, most of the fluid released into the water column vanished before reaching to the sea surface or maybe there was not any seepage activity during the time of SAR images used to detect oil slicks. Another example may show the effect of active tectonic on seepage very well is the comparison between profile 3 and 4. Water depth and seabed gradient in the profiles 3 and 4 are very similar, but the profile 4 is located at a tectonically more active area with 5 earthquakes and a main fault passing close to the profile and the profile 5 is located in a tectonically lower active area, without any earthquake and close fault. The profile 4 with many gas pipes and pockmarks and also oil slicks on sea surface seems to have much more potential of hydrocarbon seepage in compare to the profile 5.

Conclusion: To summarize, a comparison between tectonically activity and hydrocarbon seepage potential is presented in this study. According to the obtained results, it showed that in tectonically more active areas which supposed to be closer to faults and accompanied with earthquakes, the potential of fluid seepage, which represented by seepage main features and oil slicks on sea surface, is higher in comparison to others.

Acknowledgements: The Iran National Science Foundation (project 96003650) and Russian Foundation for Basic Research (project 17-55-560008) provided financial support for this research in the frameworks of the joint project «Comparative research of fluid dynamics of the Middle and South Caspian sedimentary basins». Also authors would like to thank the Shirshov Institute of Oceanology for providing valuable seismic data.

REFERENCES

1. Alizadeh A.A., 2004. South-Caspian Basin: geology, geophysics, oil and gas content., Institute of Geology and Azerbaijan National Committee of Geologists (National Academy Sciences of Azerbaijan).
2. Barnard A., Sager W.W., Snow J.E., Max M.D., 2015. Subsea gas emissions from the Barbados Accretionary Complex. *Mar. Pet. Geol.* 64, 31–42.
3. Bayramov E., Kada M. and Buchroithner M., 2018. Monitoring oil spill hotspots, contamination probability modelling and assessment of coastal impacts in the Caspian Sea using sentinel-1, Landsat-8, Rararsat, Envisat and ERS satellite sensors. *J. Oper. Oceanogr.*, 11(1), pp. 27-43.
4. Berndt C., Chi W.C., Jegen M., et al., 2019. Tectonic controls on gas hydrate distribution off SW Taiwan. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 124(2), pp. 1164-1184.
5. Bonini M. and Mazzarini F., 2010. Mud volcanoes as potential indicators of regional stress and pressurized layer depth. *Tectonophysics*, 494 (1-2), pp. 32-47.
6. Bonini M., 2012. Mud volcanoes: indicators of stress orientation and tectonic controls. *Earth Sci. Rev.*, 115(3), pp. 121-152.

7. Judd A.G., Hovland M., 2007. Seabed Fluid Flow, the Impact on Geology, Biology, and the Marine Environment. Cambridge University Press.
8. Levchenko O.V., Putans V.A. and Borisov D.G., 2018, September. Contourites in the Derbent Basin, Caspian Sea (geophysical data). Dokl. Earth Sci., V. 482, N. 1, pp. 1239-1243..
9. Levin L.E., and Fedorov D.L., 2001. Middle Caspian and South Caspian basins: geological-geophysical characteristics of the hydrocarbon-bearing systems and distribution of the hydrocarbon resources. In: Actual Problems of the Petroleum Geology (Eds. E.B. Grunis, N.A. Krylov). Moscow, Nauchnyi Mir, p. 278–286 (in Russian).
10. Ligtenberg J.H., 2005. Detection of fluid migration pathways in seismic data: implications for fault seal analysis. Basin Res. 17, 141–153.
11. Løseth H., Gading M., Wensaas L., 2009. Hydrocarbon leakage interpreted on seismic data. Mar. Pet. Geol. 26, 1304–1319.
12. Michel G., Dupré S., Baltzer A. et al., 2017. Pockmarks on the South Aquitaine Margin continental slope: the seabed expression of past fluid circulation and former bottom currents. Comptes Rendus Geoscience, 349(8), pp.391-401.
13. Mir N. 2005. English Version of Explanatory Notes of International tectonic map of the Caspian Sea region (scale 1:2500000). Moscow: Russian Academy of Science.
14. Plaza Faverola A., Bünz S., Johnson J.E., et al., 2015. Role of tectonic stress in seepage evolution along the gas hydrate-charged Vestnesa Ridge, Fram Strait. Geophys. Res. Lett., 42(3), pp.733-742.
15. Polyakov A.S., Roslyakov A.G., Lobkovskii L.I et al., 2010, March. Estimation of parameters of the flows forming sediment waves on the western slope of the middle caspian sea. Dokl. Akad. Nauk, V. 431, N. 1, pp. 376-379.
16. Putans V.A., Merklin L.R. and Levchenko O.V., 2010. Sediment waves and other forms as evidence of geohazards in Caspian Sea. Int. J. Offshore Polar, 20(04).
17. Roy S., Hovland M. and Braathen A., 2016. Evidence of fluid seepage in Grønfjorden, Spitsbergen: implications from an integrated acoustic study of seafloor morphology, marine sediments and tectonics. Mar. Geol., 380, pp. 67-78.
18. Sahling H., Masson D.G., Ranero C.R., et al., 2008. Fluid seepage at the continental margin offshore Costa Rica and Southern Nicaragua. Geochem. Geophys. Geosyst. 9, Q05S05.
19. Ulomov V.I., Polyakova T.P. and Medvedeva N.S., 1999. Seismogeodynamics of the Caspian Sea Region. Izv. Phys. Solid Earth, C,35(12), pp. 1036-1042.
20. Van Landeghem K.J., Niemann H., Steinle L.I., et al., 2015. Geological settings and seafloor morphodynamic evolution linked to methane seepage. Geo-Mar. Lett., 35(4), pp. 289-304.
21. Yusifov M. and Rabinowitz P.D., 2004. Classification of mud volcanoes in the South Caspian Basin, offshore Azerbaijan. Mar. Petrol. Geol., 21, 965-975.

Jamshidi S.

(Department of Ocean Science, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Tehran, Iran. Email: Jamshidi@inio.ac.ir)

Summary Results of the Oceanographic Cruises in the Southern Boundary of the Caspian Sea

Keywords: Caspian Sea, hydrodynamics, Field Measurement

The dynamics of the coastal waters, layering and stability in the southern border of the Caspian Sea were evaluated using observed data. Recording of the current data over the continental shelf indicated that the general circulation trend in the region was from west to east with an average value less than one meter per second. Dynamical variations of flow and river discharge over the continental shelf are very important factors for set up the new methods of cage culture industry, protection of marine environment and sediment transport along the coast in the region. During last decades, great amounts of urban sewage and industrial pollutants discharge into the Caspian Sea and treat its marine environment. In order to study on spatial and temporal conditions of physical and dynamical seawater parameters, field observations were carried out in the several marine cruises. Results of the comparison on the data sets and analysis were presented in the text.

Introduction. The Caspian Sea is a surrounded water body with very slight amplitude sea level fluctuation and its circulation is under effect of wind stress and buoyancy forces [1–3]. The length of the sea is about 1030 km between 36°N and 48°N and its width is around 200–400 km between 48°E and 54°E [4–7]. It is divided into three parts with maximum depths of 1025 m, 788 m and 20 m, respectively and average depth of 210 m [6, 7]. The study on hydrodynamics and currents on the continental shelf and slopes have been assessed in the past both using instruments and theoretically since half of last century by researchers such as Ellison and Turner (1959), Britter and Linden (1980), and Griffiths (1986). Circulation and thermohaline motion of water masses between different layers and depth causes closed basins ventilation [8] such as southern Caspian Sea. On the other side, current over the continental shelf and marginal areas causes transmission of the essential nutrients components and productivity. Impact of current in the up welling and down welling events is completely obvious. Study of current components provides an exclusive opportunity to understanding hydro-dynamical situations of the sea. Importance and application of local scale measurements of current demonstrated by studies of the dynamical models, diversity of events like the circulation, its energetic, driving forces, characteristic of heat fluxes, dynamical balances, stratification, ventilation and mixing, and many other subjects. During last decades, scientists and researchers evaluate physical structure of water column, mixing and stratification procedure, sea current over the continental shelf and deep zone, wave characteristics. Although several research projects have been

done in the southern area, but the southern Caspian Sea is not well known water body. So, long-time monitoring and study on various properties of sea water in the mentioned area is important and necessary.

Study Area and Instrumentation. Study area is located in the middle part of the southern continental shelf of the Caspian Sea, near the Iranian coasts. In the middle part, the depth of shelf break is about 100 m and after that the depth sharply increases to 180 m at 12 km from the coastline. The southern coastal area of the Caspian Sea has warm summers and mild winters (warm and humid subtropical climate) [9–11]. Based on previous studies in the region, the maximum and minimum air temperatures are in August and January, respectively. In the winter, the air temperature ranges between 8–12 °C and in summer the mean monthly air temperature over the entire sea equals 24–26 °C. Seasonal sharp thermocline forms between 20 m and 40 m depths. Based on Zaker *et al.*, measurements in 2007, the temperature of the surface mixed layer ranged between 25 °C and 30 °C in summer and it decreased to 15 °C at the end of November with a seasonal thermocline between 20–50 m depths [9]. Two accurate equipments have been used for current data gathering in the study area; Recording Current Meter and Acoustic Doppler Current Profiler.

Results. The research is based on field works on the southern continental shelf of the Caspian Sea. Two important dynamical parameters included of current and water column stability has been studied using observed data. The dynamical and physical parameters of seawater were collected by deployed Acoustic Doppler Current Profiler and CTD probe Ocean Seven 316 over the continental shelf in the middle part of the southern boundary of the sea. Time interval of measurements of sea current was set up around 20 minutes. Observations on the sea current over the continental shelf showed that general circulation trend is from west to east with an average value less than one meter per second near the sea surface. Variations of sea level and dynamics of the coastal waters over the continental shelf are very important for cage culture industry in the region. Recorded data of tide gauges in Nowshahr port showed that the sea water level was collapsed about one meter in the southern coasts during two last decades.

Based on the CTD probe observations, vertical structure of temperature in the time of measurements indicated a seasonal thermocline located between 20–30 m depths with a vertical gradient of 10°C. Destruction of the thermocline occurred with the general cooling of the sea surface water and deepening of the mixed layer during late of autumn and winter. Values of the water salinity were around 12 in the period of measurements. Stability of water column showed considerable pikes between different layers of water such as thermocline and surface mixed layer. The comparison between results of current study and previous researches showed that destruction of the thermocline occurred with the general cooling of the sea surface water and deepening of the mixed layer from the late of autumn

to the mid-winter. Frequency of stability in water column often across the surface mixed and thermocline was more than deeper levels. Structures of thermocline and pycnocline were characterized by a significant homogeneity especially in offshore stations during the year [10-12]. A sample of thermal structure in the coastal waters of the southern boundary of the Caspian Sea is shown in the figure.

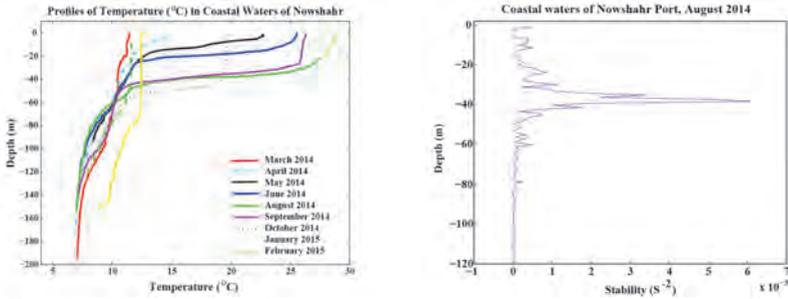


Figure. A comparison of water temperature and stability of water column

Stability of water column is a factor for evaluating the stratification and mixing phenomena in seas and oceans water. In the other word, vertical changes rate of density is used for study on water layers situations in terms of physics as follows.

$$E = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right) \tag{1}$$

Vertical variation of water density in the Caspian Sea is an important parameter for flow dynamics, circulation and current generation.

$$E = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial z} \right) - \frac{g}{c^2} \tag{2}$$

For calculating and study on stability of water column Brant Vaisala coefficient was used as following equation.

$$N = (gE)^{1/2} \tag{3}$$

At the beginning of autumn season, water temperature showed a considerable fluctuation due to daily changes across surface mixed layer. The mentioned pattern disappeared after cooling of the sea surface layer and relative uniformity in water temperature. Decrease in high range changes of water temperature recorded in time series of data at the end of fall season. The trend was under effect of weather condition over the sea and river discharge. Daily changes in the water temperature and thermal structure of water column indicated 4 degree in mixed layer. One of the most important characteristics of the Caspian Sea water is the

agreement of changes between density and temperature variations. Therefore, it is expected a resemblance between density stratification and thermal stratification. This similarity can be detected by vertical profiles of water temperature and density. Locating of pycnocline on the position of thermocline layer confirmed in the current study and reported in the previous research. A sample graph for stability of water column in the southern coastal area is indicated in figure 1. The maximum value can be observed across the thermocline layer between 30 and 50 meter depth. Evaporation and air pressure are the great factors affected sea water level along the southern basin of the sea as well as river discharge. Based on the recorded data by the gages installed in the southern ports, during last twenty years, Caspian sea level collapse around one meter in the southern coast. Recording of the current data over the continental shelf indicated that the general circulation trend in the region was from west to east with an average value less than one meter per second. Pressure gradient is one of the various terms and forces in equations of motion. Pressure gradient can introduce as one the sources for generation current along the southern coast of the Caspian Sea. We can write for X-component of motion along the east-west direction [13, 14].

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \text{other forces} \tag{4}$$

Two important ports in the southern boundary of the sea area Anzali and Turkmen Ports located in the western and eastern side of the coast respectively, with about 400 km distance.

Assume that the water pressure near the Anzali Port calculated as follows:

$$P_1 = P_{Anzali} = g z \rho_a \tag{5}$$

In similar way, the water pressure near the Turkmen Port calculated as follows:

$$P_2 = P_{Turkmen} = g z \rho_b \tag{6}$$

With the hypothesis $\rho_a = \rho_b = 1012.5 \text{ kg/m}^3$ between Anzali port and Turkmen port point 1 and 2, and g is constant so we can write and calculate acceleration as follows.

$$\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{1}{\rho_a} \frac{P_{Anzali} - P_{Turkmen}}{\Delta x} = g \frac{\Delta z}{\Delta x} \tag{7}$$

The estimated value for acceleration along X component results around 0.00001422. Due to low density of the Caspian Sea relative to other open seas, wind induced current and wave under effect of wind stress is dominant. Water fluctuations and coastal currents are two very considerable factors to transporting pollutant, transmittance of the marine litter and debris, erosion of coast line along the coast. Coastal and

marine areas of Iranian northern waters have played a very important role in the development of the economy and have presented an extremely necessary resource. So much effort has been set for protection of the green coast, marine environment and sustainable use of biological and mineral resources by the government. Regarding to the mentioned points, a lot of oceanographic and environmental researches provide by various national and international organizations around the Caspian Sea. Physical oceanography as a basic and important aspect of the study of marine uncertainties needs enough attention in the Caspian Sea. This paper attempts to present a summary of the status of hydrodynamics parameter in the southern boundary of the sea. The views presented here were based on the instrumental information and knowledge of the author.

Conclusions. Hydrodynamics and physical properties over the southern continental shelf of the Caspian Sea was assessed using field observed data. Hydro dynamical parameters such as current components were recorded and studied using instrumental data sets. The temporal and spatial monitoring of dynamical parameters included of sea level fluctuations and current have a crucial importance in the study of the environmental evaluations. Used data were collected by deployed tide gage and current meters near the coasts and over the continental shelf. Thermal structure of water column over the continental shelf showed three layers stratification consists of the seasonal thermocline, surface mixed layer and deep water in the southern part. In general, the dynamics of current in coastal region of the sea is under impact of freshwater river discharge, turbulence and wind field. According to the fast variations of hydrological and environmental conditions of the southern Caspian Sea water extended and long time physical oceanographic studied are essential. In the other side entrance of huge value of urban and industrial pollutant treat marine environment and biological aspects. Therefore, the result of hydro dynamical evaluation in the southern basin of the Caspian Sea is very important in marine ecosystems and coastal societies.

This research was funded by Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science in the research project (No.395-012-01-020-03).

REFERENCES

22. Dumont H.J. (1998). The Caspian Lake: History, biota, structure, and function. *Limnology and Oceanography*, 43(1): 44–52.
23. Ibrayev et al., (2010). Impacts of freshwater on the seasonal variations of surface salinity and circulation in the Caspian Sea, *Continental Shelf Research* 30(10):1211-1225.
24. Terziev F.S., Kosarev A.N., Aliev A.A. (1992) (eds) *Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas, vol 6. The Caspian Sea, issue 1. Hydrometeorological conditions.* Gidrometeoizdat, St. Petersburg.

25. Kosarev A.N. (2005). Physico-Geographical Conditions of the Caspian Sea. In: The Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Handbook of Environmental Chemistry. 5: 5-31.
26. Tuzhilkin V.S., Kosarev A.N. (2005). Thermohaline Structure and General Circulation of the Caspian Sea Waters. In: Caspian Sea Environment. Springer-Verlag, Berlin, Handbook of Environmental Chemistry. 5: 33-57.
27. Rodionov S.N. (1994). Global and regional climate interaction: the Caspian Sea experience. Water Science and Technology Library, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht. 241.
28. Mamedov A.V. (1997). The late pleistocene-holocene history of the Caspian Sea, Quaternary International, 41/42: 161-166.
29. Matikolaie J.B. , Bidokhti A.A., Shiea M., (2018). Some aspects of the deep abyssal overflow between the middle and southern basins of the Caspian Sea, Ocean Science 15(2):459-476.
30. Zaker N.H, Gaffari P., Jamshidi S. (2007). Physical study of the southern coastal waters of the Caspian Sea, off Babolsar, Mazandaran in Iran. Journal of Coastal Research, SI 50: 564-569.
31. Peeters, F.; Kipfer, R. et al., (2000). Analysis of deep-water exchange in the Caspian Sea based on environmental tracers". Journal of Deep-Sea Research, I 47: 621-654, 2000.
32. Tuzhilkin V.S. et al. 2005. Natural chemistry of Caspian Sea waters. In: The Caspian Sea environment; Ed. By Kostianoy A. G., Kosarev A. N.; Springer-Verlag: Berlin, 83-108.
33. Zaker N.H., Ghaffari P., Jamshidi S. (2011). Currents on the Southern Continental Shelf of the Caspian Sea off Babolsar, Mazandaran, Iran. Journal of Coastal Research, SI 64.
34. Knauss, J.A., (1997). Introduction to Physical Oceanography. United States of America: waveland press Inc., p. 309.
35. Emery W.J, Thomson R.E. (2001). Data analysis methods in physical oceanography. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. 619 pp.

Lahijani H.A.K., Naderi A.

(Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), No. 3, Etemadzadeh St., Fatemi Ave, Tehran, Iran, lahijani@inio.ac.ir)

South Caspian Deep Sedimentation during Late Pleistocene and Holocene

The south Caspian Sea includes the deepest part of the Sea that has continuous record of the past sea level rise and fall. To evaluate controlling factors on sedimentation, short sediment cores and surface sediment samples have been taken from nearshore down to the deep south Caspian Sea (around 800 m depth) and were analyzed for basic sedimentological properties, mineralogy and geochemistry. The sediment comprised of terrigenous, biogenic and chemical components. In the nearshore area terrigenous grains are main constituent of the sediments. The mineral associations show distinctive source of southern Caspian coastal sediments. Light minerals and carbonate fragments originated mainly from the erosion of the Kopet-Dagh Mountains are dominated on the east coast of the south Caspian Sea. Heavy minerals, including ilmenite and magnetite, that are delivered by the Sefidrud River are prevailed on the central west coast. The moderate abundance of light minerals in the central region results from the sediment flux of the rivers that drain the Cainozoic and Quaternary volcanic coverage and Mesozoic sedimentary deposits. The western coast receives sediment from the small rivers of west Alborz and the southward longshore transport, in which heavy minerals also form the majority. From the lower continental shelf toward the deeper parts, the chemical sediments has a substantial sign in the internal configuration of the sediment, which reveals degradation of organic material due to a series of oxygenation conditions. Aerobic circumstances reflect the extreme climatic conditions that cause creation of well-oxygenated deep water in lowstands and extremely cold winters, when dense oxygenated water going down to reach the bottom sediments. The sediment distribution pattern exhibits three typical areas in the southern continental margin with diverse organic matter and carbonate content. Occurrence of coarse grained terrigenous sediments in the deep basin characterize repeated slope failure that transported materials from lower shelf and slope. Elemental ratio of Ca/Ti displays significant changes along the deepest core that could be attributed to sea level and environmental changes since the end of Late Khvalynian onward. Riverine inputs and water hydrodynamics control the sediment properties and their distribution pattern in the upper shelf, while in deeper parts, the dynamics of water stratification and its spatio-temporal changes, linking to climate and water level changes, regulate sediment composition.

Svitoch A.A.¹, Yanina T.A.¹, Khoshhravan H.²

(¹Lomonosov Moscow State University; ²Caspian Sea national research & study center, Iran)

The Caspian Sea during the Anthropocene

Свиточ А.А.¹, Янина Т.А.¹, Хошрван Г.²

(¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, *a.svitoch@mail.ru*, *2didacna@mail.ru*;

² Caspian Sea national research & study center, Iran, *h_khoshhravan@yahoo.com*)

Каспийское море в антропоцене

Keywords: Holocene, human activity, biodiversity, marine species in the Caspian Sea

Показано влияние антропогенного фактора на состояние биоразнообразия малакофауны Каспийского моря

Anthropocene is an informal geochronological term that designates the period of intensive industrial and technological development by humanity. This name was applied in this sense for the first time by Crutzen [1, 2]. In 2008, a working group on the Anthropocene was created within the Commission on Quaternary Stratigraphy (IUGS), and the Anthropocene was defined as the two last centuries of intensive industrial development when human activities became a powerful geological factor [3]. It has been suggested that the beginning of the Anthropocene coincides with the beginning of the 19th century, with an alternative global boundary being the start of nuclear tests in the 20th century. So far, the destiny of this term and its straton isn't clear, but as for criteria that identify the Anthropocene, obviously, the geochemical and biospheric consequences of human activity, including reduction in biodiversity and emergence of global invasive animal species and plants, can serve. In this work, we consider the influence of humans on the biodiversity of mollusks in the Caspian Sea.

The malacofaunistic analysis of the Neopleistocene and Holocene deposits of the Caspian region has shown that during the Neopleistocene, despite the transgressive and regressive rhythmic of the Caspian Sea encompassing considerable amplitude caused by climatic changes, the composition of molluscan genera remained invariable. There were evolutionary changes at the species and subspecies level of the *Didacna* genus, and each Caspian basin was populated by a unique composition of *Didacna*; this defined the stratigraphic and paleogeographical importance of the genus. Only in the Holocene Neocaspian basin is the broad movement of the marine species *Cerastoderma glaucum* noted. It is the characteristic feature of faunistic structure distinguishing this basin from all Neopleistocene basins of the Caspian Sea.

Emergence of the marine (Mediterranean) species *Cerastoderma glaucum* significantly affected the faunistic image of the basin. Malacofaunistic research of the Holocene deposits of the different regions of the Caspian Sea (the Northern Caspian, the coastal zones of Dagestan, Azerbaijan, and Iran) showed the first emergence of this species in sediments of the Neocaspian transgression, both its gradual distribution and increase in number. Convincing proof of how these mollusks penetrated from the Black Sea into the Caspian Sea is not as yet available. No geological, geomorphological, or paleontological evidence currently exists that the Manych Strait was functioning between the Pontic basin and the Caspian Sea during the post-Khvalynian epoch. We assume that *Cerastoderma glaucum* participated in the maximum development of the Neochernomorian transgression of Pontic basin, when a sea gulf occupied by these mollusks formed within the valley of the Western Manych, and in the Manych depression were a number of residual salty lakes. The first researchers in this area found shells of *Cerastoderma* in the lakes, which existed up to the moment they were flooded by waters of the reservoirs constructed in the last century. From the sea gulf through a chain of lakes, *Cerastoderma* got into the Neocaspian basin by means of ancient humans eating these mollusks as well as using them for ritual purposes. Another way this mollusk may have penetrated was by watercraft of ancient groups, about which there is mention in archaeological publications.

Thus, penetration of the marine species into the Caspian Sea was connected with an anthropogenic factor during the middle Holocene. Its influence on the Caspian fauna was essential and is explained by its euryhaline and eurybiont character. Essential changes occurred in the quantitative distribution of taxa, including a gradual increase in the number of individual *Cerastoderma glaucum* and reduction of the Caspian endemic *Didacna*. The modern faunistic composition of the Caspian Sea is characterized by the development of marine (Mediterranean) species *Mytilaster lineatus* and *Abra ovata*. The first species was brought to the Caspian Sea incidentally at the transfer of courts from the Azov-Black Sea basin at the beginning of the 20th century, and recorded for the first time in the Caspian Sea in 1928. Possessing requirements to a substratum, similar to *Dreissena*, the emergence of *Mytilaster* led to the extinction of *Dreissena caspia* and the restriction of *Dr. polymorpha andrusovi* to areas with lowered salinity, niches not available to competitors.

The euryhaline marine species *Abra ovata* was acclimatized to the Caspian Sea in 1947 for the purpose of improving the food supply for sturgeon fishes. Now in bottom biocenoses of the Caspian Sea, *Abra ovata*, *Mytilaster lineatus*, and *Cerastoderma glaucum* often dominate. All of them have a Mediterranean origin. Obviously, as a result of evolutionary development from a small number of sibling species, the Caspian autochthonous fauna began to possess universal qualities but weak species specialization. It provided stability and relative resistance for

communities to changing environmental factors, but it made them noncompetitive to installed marine species. Invasive species and acclimatized species made much more essential changes to the biodiversity than was caused by natural factors.

In the Volga delta, species of Azov-Black Sea origin—*Monodacna colorata*, *Hydrobia ventrosa*, *Dreissena bugensis*—appeared thanks to anthropogenic factors during the last century. Monitoring of *Dreissena bugensis* (for the first time registered in the delta in 1994) shows that this species crowds out a polymorphic *Dreissena*. The latest invasive species is *Mytilopsis leucophaeta*, a mussel native to the Caribbean that in the past few years has invaded many ports [4].

Natural ecosystems have undergone an anthropogenic transformation. In historical time, not only has a rapid change in biodiversity been observed, but also an irreversible change in water ecosystems. Now, the role of anthropogenic factors has become the most important in the distribution of molluscan species in the basin. The modern development of the Caspian Sea malacofauna has led to the seeming increase in molluscan biodiversity due to the emergence of new taxa. But, in fact, we currently observe a loss of biodiversity at the global level, which is turning unique ecosystems of the Caspian Sea into something similar to that of the Azov-Black Sea.

The investigations here reported are supported by the RSF Project No 16-17-10103 and RFBR Project 17-55-560012 (studying of the Iranian coast).

REFERENCES

1. Crutzen, P.J., 2002. Geology of mankind. *Nature* 415(6867): 23.
2. Crutzen, P.J., and Stoermer, E.F., 2000. The “Anthropocene.” *IGBP Newsletter* 41: 17-18.
3. Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A., and Ellis, M., 2010. The Anthropocene: a new epoch of geological time. *Phil. Trans. Roy. Soc. London* 369: 835-841.
4. Heiler, K.C.M., Nahavandi, N., and Albrecht, C., 2010. A new invasion into an ancient lake—The invasion history of the dreissenid mussel *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad, 1831) and its first record in the Caspian Sea. *Malacologia* 53: 185-192.

Influence of an anthropogenic factor on a condition of a biodiversity of a malacofauna in the Caspian Sea is shown

**Yanina T., Svitoch A., Sorokin V., Semikolenykh D.,
Konstantinova N.**

(Lomonosov Moscow State University, didacna@mail.ru, a.svitoch@mail.ru, vsorok@rambler.ru; dasha.semikolenykh@gmail.com, ngkonst@yandex.ru)

**The Caspian - Black Sea - Mediterranean Corridor:
Water exchange and formation of a biodiversity during the
Late Pleistocene**

**Янина Т.А., Свиточ А.А., Сорокин В.М.,
Семиколеных Д.В., Константинова Н.Г.**

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

**Каспийско-Черноморско-Средиземноморский Коридор:
водообмен и формирование биоразнообразия в позднем
плейстоцене**

Ключевые слова: Каспий, Черное море, Средиземное море, проливы, поздний плейстоцен, трансгрессивно-регрессивные события, малакофауна

On the basis of the malacofaunistic analysis of the upper Pleistocene deposits of the Caspian, Black and Mediterranean Seas and Passages, the scheme of correlation of the transgressive and regressive events is submitted. The water exchange and formation of composition of malacofauna in the basins are reconstructed.

1. The generally accepted sequence of paleogeographic events taking place in the Caspian basin in the Late Pleistocene includes the Late Khazarian and Khvalynian transgressive epochs (the latter is commonly subdivided into early Khvalynian and late Khvalynian transgressive stages), with the Atelian regression between them. The existence of a Hyrcanian transgressive basin was established by Popov and confirmed by us. The scheme of the Late Pleistocene events of the Pontian basin includes the Karangatian (Karangatian and Tarkhankutian stages), Surozhian, and Neoeuxinian transgressions, and intervening regressions. In the Mediterranean Late Pleistocene, Tyrrhenian and Flandrian stages have been identified. Transgressive stages were divided by regressions of different depth and duration. Various aspects of the environmental evolution within this time interval have been fully considered in a great number of published works.

2. It is logical to consider first of all a question of comparison of events in the Mediterranean and Pontic basins. The mode of the Mediterranean Sea in the Pleistocene was defined by fluctuations in the level of the Ocean as communication of this sea with Northern Atlantic through Gibraltar was not interrupted. The transgressive and regressive condition of the Pontic basin depended on the level of the Mediterranean Sea. As well as in the Pontic basin, the level of the Mediterranean Sea during epochs of transgressions exceeded its modern level only a little

(to 5-7 m). During regressions, the level to which the sea surface fell exceeded by many times its rise during transgressions.

The Tyrrhenian stage is the “brightest” paleogeographical epoch in the Mediterranean Pleistocene and is characterized by a broad movement of tropical fauna of Senegalese type with the chief representative *Strombus bubonius*. It is established that penetration of tropical elements of malacofauna began in the Middle Pleistocene, and the time interval of its existence covered part of the Late Pleistocene also [1]. On various coasts of the Mediterranean, four marine terraces are known, deposits of which contain varying degrees of Tyrrhenian malacofauna. The Karangatian transgression was the largest in the Quaternary history of the Black Sea, with a water level approximately 6-7 m higher than today. Warm saline Mediterranean waters entered the Black Sea basin through the Bosphorus, and a one-way migration of euryhaline and stenohaline Mediterranean fauna took place. The Karangatian transgression extended all the way into the Manych Depression, but marine mollusk species never entered the Caspian basin. The Karangatian transgression developed in two phases. During the early Tobeckikian phase, a mollusk fauna similar to that of the modern Black Sea fauna was established. Sea levels did not exceed modern levels. With further development of the interglacial transgression, the penetration of marine waters into the Black Sea led to the second phase of the Karangatian transgression. Stenohaline species (*Acanthocardia tuberculatum*, etc.), which are absent in the Black Sea today, flourished in the Karangatian basin. The age of the transgression according to a series of thorium-uranium dates, show a range 140-70 ka [2]. The Karangatian transgression was caused by the interglacial (Eemian) transgression of the World Ocean and an ingression of Mediterranean waters into the Black Sea basin. During the same time in the Caspian Sea, the Late Khazarian transgression developed. The level of the basin did not exceed -10 m, and its surface area was not much bigger than the modern Caspian Sea. The mollusk fauna contained crassoidal-type *Didacna* and was characterized by the occurrence of *Didacna nalivkini* and *Didacna surachanica*. Abundant trigonoidal and catilloidal *Didacna* dominated in the freshened areas of the northern Caspian, influenced by Volga River inflow. The Caspian Sea was an isolated lake-sea.

After the maximum transgression, during the transition interglacial-glacial epoch, the Karangatian Sea lowered (the Tarkhankutian stage) after a decrease in the level of the Mediterranean Sea during a time of regression in the World Ocean. The Tarkhankutian stage was the residual basin of the Karangatian Sea, the final stage of its existence. The Mediterranean connection had ceased to exist at the time. The mollusk faunas were dominated by Mediterranean taxa but lacked stenohaline species. In the Caspian area, the transgressive brackish water Hyrcanian basin existed after the Late Khazarian transgression. The Hyrcanian basin was inhabited by “Khvalynian-like” fauna with *Didacna subcatillus*, *D. cristata*, etc. Hyrcanian waters entered the Tarkhankutian basin through the Manych passage, and *Didacna*

species invaded the basin margins on the northeast area. They lived together with euryhaline Mediterranean mollusks.

In the Mediterranean Sea, the Tyrrhenian transgression was replaced by a long, uneven decrease in sea level (MIS 4-2). In the deep-water deposits referred to the MIS 4 time period, an alternation of layers is noted that contain complexes of warm-water and cold-water foraminifera, corresponding to climatic warmings and cold snaps. For the MIS 3 horizon, alternation of pollen ranges of subtropical and subboreal (boreal) vegetation, and also pro-layers containing different warm-water foraminifera have been established. During this epoch of warming, a transgressive rise in level was noted, reaching no more than -40 m. In the Black Sea, there was a regressive Post-Karangatian basin, too. The marine environment was replaced by brackish-water conditions. According to Popov [3], during the Post-Karangatian epoch, the Surozhian transgression occurred. Sea levels reached -25 m. There was no connection with the Mediterranean Sea at the time. The existence of this basin is estimated at 40-25 ka [4]. During the cold maximum of the interval MIS 4, when regional climate was cold and arid, the Atelian regression developed in the Caspian Sea. The slightly warmer conditions of MIS 3 resulted in increasing precipitation and river activity in the East European plain and simultaneous reduction of evaporation over the lake basins. The water balance became positive, resulting in transgressions in the Caspian basin (the Khvalynian transgression) and in the Pontian basin (the Surozhian moderately warm-water basin). The overflow event from the Caspian (Khvalynian) also occurred.

3. Proof of a deep decline in sea level from 100 to 300 m gave a set at MIS 2 maximum [5]. In the Pontian, a deep regression developed (the Neoeuxinian lake). Lake level dropped up to -120 m. The Neoeuxinian includes regressive and transgressive intervals. The former corresponds to a deep regression during the LGM with mostly fresh water mollusks like *Dreissena*, *Viviparus*, *Valvata*, etc. A connection with the Mediterranean Sea was absent. The age of the regression is estimated at 22-16 ka [2, 4]. In the Caspian basin, however, the general transgressive trend was interrupted during the LGM. The climatic conditions resulted in a negative water balance for the Khvalynian Sea, causing a sea-level drop. The Khvalynian transgression resumed during deglaciation after the LGM. The Early Khvalynian transgression, having reached the level of the Manych threshold, created an erosive valley and discharged into the Neoeuxinian basin. This was the last time the Manych served as a spillway between the Caspian and Black Sea basins.

Transgression of the Caspian type began in the Neoeuxinian basin. The transgressive stage was initiated ca. 16 ka. Around 12.5 ka, its level reached -45 m. The transgressive interval was dominated by Pontocaspian mollusk species such as *Dreissena*, *Monodacna*, *Adacna*, and *Hypanis*. Rare occurrences of Khvalynian species such as *Didacna ebersini* and *Didacna moribunda* in the Neoeuxinian deposits confirm the overflow of Caspian waters. This interval corresponds to a rise in water level to -20 m. At the same time, the presence of Neoeuxinian faunas in the Marmara basin and northern Aegean suggests Black Sea overflow

[6]. We conclude that the Neoeuxinian and Khvalynian basins developed with the deep regression coinciding with the LGM and the Neoeuxinian and Khvalynian transgressions with the deglaciation phase.

Postglacial glacio-eustatic increase in the level of the Ocean in the Mediterranean Sea carries the name of the Flandrian transgression. Its beginning belongs to the early post-glacial period (about 17-15 ky ago). It is almost universally accepted that sea level rose to -30 m at about 10-9 ka BP. The transgression which began with the release of a large volume of water into the North Atlantic led to the distribution of the modern Mediterranean mollusks, represented by the rather thermophilic Mediterranean Lusitanian and Canary species (*Chlamys glabra*, *Mytilaster lineatus*, *Corbula mediterranea*, etc.), moderately thermophilic (*Mytilus galloprovincialis*, *Cardium paucicostatum*, etc.), and quite coldphilic (*Nucula nucleus*, *Ostrea edulis*, *Cerastoderma glaucum*, *Chione gallina*, *Solen vagina*, etc.) species. Penetration of waters from the Flandrian transgression into the Black Sea basin caused the Chernomorion (Black Sea) transgression with euryhaline and moderately stenohaline Mediterranean mollusks.

The investigations of the Caspian Sea and Manych are supported by the RSF (Project 16-17-10103). Black Sea and Mediterranean are supported by the RFBR (Projects 18-05-00296, 18-05-00684).

REFERENCES

1. Paskoff R., Sanlaville P., 1980. Le Tyrrhenien de la Tunisie: essai de stratigraphie. *C.R. Acad. Sci. Paris. Ser. D.* 290(5): 393-396.
2. Balabanov, I.P., and Izmailov, Ya.I. 1989. New generalization of data on the chronology of the Late Pleistocene and Holocene of the Azov-Black Sea basin. In *Geochronology of the Quaternary Period*. Nauka, Moscow, p. 42. (In Russian)
3. Popov, G.I., 1983. Pleistocene Black Sea-Caspian Straits. Nauka, Moscow. (In Russian)
4. Shcherbakov, F.A., Kuprin, P.N., and Zabelina, E.K., 1977. Paleogeography of the Azov-Black Sea area during the Late Pleistocene and Holocene. In *Paleogeography and Deposits of the Pleistocene of the Southern Seas of the USSR*. Nauka, Moscow, pp. 51-60. (In Russian)
5. Segre, A., 1969. Linee da riva sommersa e morfologia della piatta-forma continentale italiana relative alla transgressione marina versiliana. *Quaternaria* 11: 141-154.
6. Büyükmeriç, Y., 2016. Postglacial floodings of the Marmara Sea: molluscs and sediments tell the story. *Geo-Marine Letters* 36: 307-321.

На основе малакофаунистического анализа верхнеплейстоценовых отложений Каспийского, Черного и Средиземного морей и проливов, представлена схема корреляции трансгрессивно-регрессивных собы, реконструирован водообмен и формирование состава малакофауны в бассейнах.

Для заметок

Научное издание

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

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

Москва, 18–22 ноября 2019 г.

Том III

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П. ШИРШОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

Адрес Издательства: 117997, Москва, Нахимовский пр., д. 36
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, тел. +7 (495) 719-0035, доб. 03-03

Shirshov Institute of Oceanology Publishing House, Russian Academy of Sciences
36, Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia
Tel.: +7 (495) 719-0035, ext. 03-03
e-mail: publishing@ocean.ru, <http://www.ocean.ru>

Сдано в набор 28.10.2019 г. Подписано к печати 31.10.2019 г.
Формат бумаги 62 × 94^{1/16}. Бумага офсет № 1, 80 г/м². Гарнитура Таймс.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 20,0. Уч. изд.л. 20,0.
Тираж 200 экз. Зак. № 141955 от 06.11.2019

Отпечатано в типографии: ПАО «Т8 Издательские Технологии»
109316, Москва, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 5, офис 6