

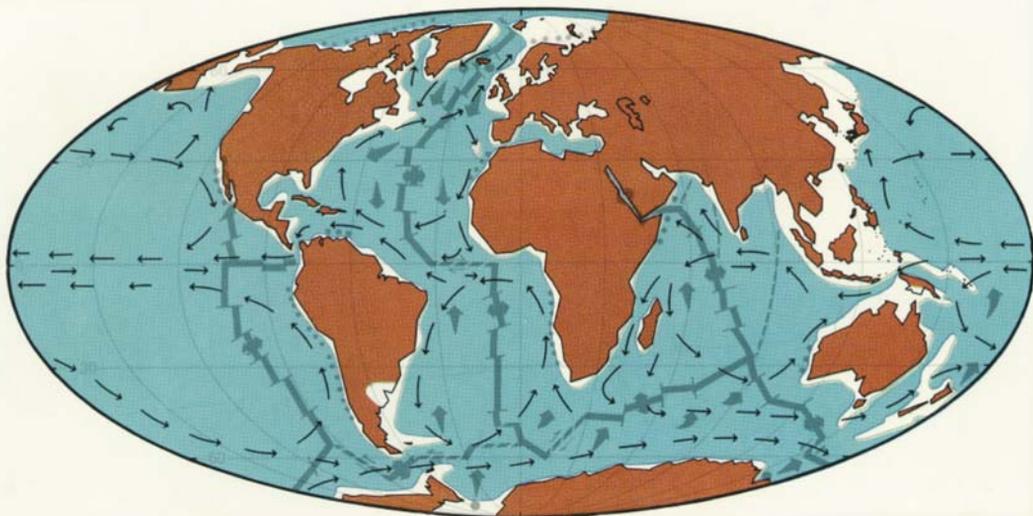


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ
ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН

Материалы
XXV
Международной
научной
конференции
(Школы)
по морской
геологии
Москва
2023

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Том IV



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

**ГЕОЛОГИЯ
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

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

Москва, 13–17 ноября 2023 г.

Том IV

**GEOLOGY
OF SEAS AND OCEANS**

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

Moscow, November 13–17, 2023

Volume IV

Москва / Moscow
ИО РАН / IO RAS
2023

ББК 26.221
Г35
УДК 551.35

Геология морей и океанов: Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. – М.: ИО РАН, 2023. – 287 с.

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

В томе IV рассмотрены проблемы палеоокеанологии, палеоэкологии, биостратиграфии, перекрестной корреляции отложений и изучения микро- и наночастиц, а также потоков вещества и энергии (атмо-, крио-, гидро-, лито- и седиментосферы).

ISBN 978-5-6051054-3-5

DOI: 10.29006/978-5-6051054-3-5-2023

Доклады опубликованы в авторской редакции.
Ответственный редактор к.г.-м.н. Н.В. Политова
Рецензенты
академик Л.И. Лобковский, д.г.н. Е.И. Полякова,
д.г.-м.н. А.Г. Матуль, к.г.-м.н. В.П. Шевченко

Geology of seas and oceans: Proceedings of XXV International Conference on Marine Geology. Vol. IV. – Moscow: IO RAS, 2023. – 287 pp.

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

Volume IV includes reports devoted to the problems of paleoceanology, paleoecology, biostratigraphy, cross correlation of deposits and investigations of micro- and nanoparticles, and mass and energy fluxes (atmo-, cryo-, hydro-, litho- and sedimentospheres).

ISBN 978-5-6051054-3-5
ББК 26.221

© ИО РАН 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Палеоокеанология, палеоэкология, биостратиграфия, перекрестная корреляция морских и сухопутных отложений

- Артемова А.В., Горбаренко С.А., Владимиров А.С., Пишнев О.Ю.* Глобальные и региональные изменения среды и климата северо-западной части Тихого океана вблизи Камчатки за последние 20 тысяч лет (на основе диатомового анализа) 16
- Болиховская Н.С., Янина Т.А., Сорокин В.М.* Природная обстановка гирканской трансгрессивной эпохи Каспия (по материалам бурения) 20
- Борисов Д.Г., Фрей Д.И., Иванова Е.В., Дмитриевский Н.Н., Левченко О.В., Фомин В.В., Лиджи М.* Контуритовая система в зоне разлома Вима (Центральная Атлантика) 24
- Гладенков А.Ю., Устинова М.А.* Находки меловых и палеогеновых известковых наннофоссилий в разрезах полуострова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка): значение для стратиграфических реконструкций 28
- Гладенков Ю.Б.* Основные события неогена в переходной зоне северо-запада тихоокеанской области 32
- Грачева Е.В.* Диатомовые комплексы в колонке осадков АМК-7063 ТБД на юго-западном шельфе Шпицбергена 36
- Григорьев А.Г., Жамойда В.А., Буданов Л.М., Рябчук Д.В.* Использование брома как индикатора палеосолености донных отложений на примере Балтийского, Белого, Восточно-Сибирского и Берингова морей 39
- Дорохова Е.В., Сивков В.В., Баширова Л.Д., Кулешова Л.А., Новичкова Е.А.* Изменчивость течения Северо-Восточной глубинной воды вдоль восточного склона хребта Рейкьянес в голоцене 43
- Кловиткина Т.С., Полякова Е.И., Новичкова Е.А.* Реконструкции температуры и солености поверхностных вод юго-восточной части моря Лаптевых в голоцене по данным микропалеонтологического анализа 48

<i>Левитан М.А., Сыромятников К.В.</i> Сравнительный анализ геохимических особенностей плейстоценовых отложений Индийского и Атлантического океанов	53
<i>Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Фомин В.В.</i> Бэрвские бугры Нижнего Поволжья: новый взгляд	58
<i>Маленкина С.Ю.</i> Фосфатные столбчатые строматолиты долины р. Сухой песчанки и среда их формирования	62
<i>Маленкина С.Ю., Иванов А.В.</i> Проблема генезиса палеогеновых столбчатых строматолитов местонахождения «Камышинские уши»	67
<i>Мальшиева Е.Н.</i> Органогенная постройка горы Голубиная (Южное Приморье) и ее литолого-палеоэкологическая характеристика	72
<i>Мельникова А.А.</i> Климатические события позднего голоцена в Лофотенской котловине Норвежского моря на основе диатомового анализа	77
<i>Мустафин М.А., Пушина З.В., Сергеев А.Ю.</i> Диатомовые водоросли из донных отложений Анадырского залива, Берингово море	80
<i>Петров Н.И., Борисов Д.Г.</i> Цифровые весы с открытым кодом для работы в условиях качки на научных судах	84
<i>Полякова Е.И.</i> Арктические моря Евразии в позднем кайнозое (диатомовая стратиграфия и палеоокеанология)	87
<i>Попов М.С., Борисов Д.Г.</i> Осадочные волны на плато Санта-Катарина: морфология и механизмы формирования	93
<i>Саидова Х.М., Соколова Е.А.</i> Палеобиогеографические реконструкции для раннего маастрихта по планктонным фораминиферам в Тихом океане	98
<i>Сапелко Т.В., Русанов А.Г., Игнатьева Н.В., Газизова Т.Ю., Лапенков А.Е., Гузиватый В.В., Каретников С.Г.</i> Древняя и современная связь оз. Липовского на Кургальском полуострове с Балтийским морем	103
<i>Сивков В.В., Баширова Л.Д., Дорохова Е.В., Дорохов Д.В., Напреенко М.Г., Напреенко-Дорохова Т.В., Пономаренко Е.П., Мычко Э.В., Бубнова Е.С., Кулешова Л.А., Алексеев</i>	108

- В.И.* Геолого-геофизические и палеоокеанологические исследования в бассейне Атлантического океана в 2015–2022 гг.
- Смирнова К.М., Новичкова Е.А., Матиль А.Г., Сломнюк С.В., Кравчишина М.Д.* Палеоокеанологические реконструкции обстановок осадконакопления в Карском море в голоцене 113
- Сорокин В.М., Росляков А.Г., Лукаш В.Л., Демонов А.П.* Типы осадочных процессов в западной части Черного моря в позднечетвертичное время 118
- Цуканов Н.В.* Позднекайнозойский морской бассейн Восточной Камчатки 121
- Шейков А.А., Шельтинг С.К.* Сейсмостратиграфическое расчленение разреза неоплейстоцена черноморской котловины к серийной легенде Крымской серии листов ГК-200 126
- Шейков А.А., Шельтинг С.К., Буркацкий О. Н.* Кайнозойские отложения на шельфе и материковом склоне у побережья Крыма 131
- Яковлев С.Ю.* Литологическая характеристика и условия формирования глинистых отложений нижнего мела Северо-Западного Кавказа 136
- Яковлев Е.В., Бордунов С.И., Копаевич Л.Ф., Жарков А.Д.* Палеобстановки карбонатной седиментации турон-коньякских отложений Юго-Западного Крыма 141
- Янина Т.А., Сорокин В.М., Болиховская Н.С., Романюк Б.Ф.* Регрессивные эпохи Каспия в позднем плейстоцене – голоцене (по материалам бурения) 146

**Нано- и микрочастицы, потоки вещества и энергии
(атмо-, крио-, гидро-, лито-, седиментосферы)**

- Агафонова Е.А., Ключиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н.* Микроводоросли в осадочном веществе Норвежского моря 152
- Адилбаева Т.Е., Таловская А.В., Язиков Е.Г.* Минерально-вещественные и геохимические 157

- особенности нерастворимого осадка снегового покрова как индикатор состояния атмосферного воздуха (на примере города Караганда, Центральный Казахстан) 162
Антонова В.М., Губанова Д.П., Виноградова А.А., Таловская А.В. Результаты анализа элементного состава аэрозольных частиц многомерными статистическими методами
- Беспалова А.И., Таловская А.В.* Элементный состав микрочастиц уличной пыли на промышленно-урбанизированной территории (юг Западной Сибири) 167
- Будаева Ю.С., Таловская А.В.* Минерально-вещественный состав микрочастиц уличной пыли на территории монопрофильного промышленного города 172
- Глазырин Е.А., Прокопцев Г.Н.* Подводная метановая разгрузка над Темрюкским грязевулканическим полем (Азовское море) 177
- Губанова Д.П., Виноградова А.А.* Брехосомы: проблемы идентификации необычных аэрозольных частиц в атмосфере города 182
- Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Дара О.М., Булохов А.В.* Вертикальные потоки осадочного вещества в Баренцевом море в августе 2021 г. 187
- Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Булохов А.В.* Результаты двухлетней работы автоматической глубоководной седиментационной обсерватории на северном сегменте хребта Мона (Норвежское море) 192
- Ковалев В.В.* Закономерности распределения взвешенных форм микроэлементов в водной толще Каспийского моря 197
- Котова Е.И., Лохов А.С., Топчая В.Ю., Чибисова В.Г.* Атмосферный перенос свинца и кадмия на территорию Арктической зоны РФ по данным модельных расчетов 202
- Котова Е.И., Стародымова Д.П., Нецветаева О.П.* Состав нерастворимого вещества снежного покрова западного сектора Российской Арктики: результаты 206

экспедиции 2023 года	
<i>Левицкий В.И., Левицкий И.В.</i> Самородные, интерметаллические, прочие минеральные виды, аморфные фазы в породах Бобруйского выступа Белорусского массива Восточно-Европейского кратона	211
<i>Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Политова Н.В., Артемьев В.А., Глуховец Д.И.</i> Характеристики взвешенных веществ южной части Карского моря в сентябре 2022 г. по данным различных методов	216
<i>Малов В.И., Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Белкина Н.А., Овдина Е.А.</i> Латеральные различия в минеральном и геохимическом составе донных отложений Онежского озера	221
<i>Малов Г.И., Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И.</i> Скорости осадконакопления донных отложений малых озёр Улаганской долины и Укокского плоскогорья (Горный Алтай)	226
<i>Митяев М.В., Герасимова М.В., Дружкова Е.И., Ишкулова Т.Г.</i> Твердые атмосферные осадки в г. Мурманске	231
<i>Митяев М.В., Герасимова М.В., Ишкулова Т.Г., Дружкова Е.И.</i> Концентрация биогенных элементов в свежевыпавшем снеге на севере Кольского полуострова в 2018-2021 гг.	236
<i>Митяев М.В., Герасимова М.В., Ишкулова Т.Г., Дружкова Е.И.</i> Поступление биогенных элементов на север Кольского полуострова с атмосферными осадками в 2018-2021 гг.	241
<i>Новигатский А.Н., Игнатьев С.Б., Саввичев А.С., Стародымова Д.П., Шевченко В.П.</i> Микроэлементный состав лишайников <i>Usnea dasopoga</i> в Кенозерском национальном парке (водосбор Белого моря) и в Московской области (сравнительная характеристика)	246
<i>Овдина Е.А., Страховенко В.Д., Малов Г.И., Малов В.И., Солотчина Э.П.</i> Новые данные о минеральном и геохимическом составе донных отложений содовых озер	251

Танатарской группы (Кулундинская равнина, Россия) <i>Орешкин В.Н.</i> Особенности и новые возможности электротермического атомно-абсорбционного анализа при определении следов элементов в водах, взвесах, донных осадках	256
<i>Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И., Малов Г.И.</i> Особенности распределения редкоземельных элементов в водах и донных отложениях малых озер Укокского плоскогорья и Улаганской долины (Алтай)	261
<i>Тармёнок Е.О., Таловская А.В., Язиков Е.Г.</i> Уровень пылевого загрязнения снегового покрова в районе расположения глиноземного производства (бассейн р. Чулым)	266
<i>Топчая В.Ю.</i> Многолетние комплексные исследования атмосферного рассеянного осадочного вещества в береговой зоне юго-восточной Балтики (Российский сектор)	271
<i>Топчая В.Ю., Чечко В.А., Новикова Ю.В.</i> Фитопланктон в атмосферном осадочном веществе береговой зоны Калининградской области	272
<i>Чечко В.А., Топчая В.Ю.</i> Роль атмосферного переноса в осадконакоплении береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря (российский сектор)	275
<i>Шулькин В.М., Еловский Е.В.</i> Контроль сепарации коллоидных и взвешенных частиц при химическом анализе природных вод методом динамического рассеяния света (ДРС)	277
<i>Геривани Х., Путанс В.</i> Оценка влияния эолового переноса пылевых частиц на морское осадконакопление в Южно-Каспийской впадине за последние 14000 лет	282

CONTENTS

Paleoceanology, paleoecology, biostratigraphy, cross correlation of marine and land deposits	
<i>Artemova A.V., Gorbarenko S.A., Vladimirov A.S., Psheneva O.Yu.</i> Late Pleistocene-Holocene climatic changes in the subarctic Pacific based on diatom analysis	16
<i>Bolikhovskaya N.S., Yanina T.A., Sorokin V.M.</i> Environment of the Hyrcanian transgressive epoch of the Caspian Sea (on the base of drilling material)	20
<i>Borisov D.G., Frey D.I., Ivanova E.V., Dmitrevsky N.N., Levchenko O.V., Fomin V.V., Ligi M.</i> Contourite Depositional System in the Vema Fracture Zone (Central Atlantic)	24
<i>Gladenkov A.Yu., Ustinova M.A.</i> Finds of Cretaceous and Paleogene calcareous nannofossils from sections of the Kamchatsky Mys Peninsula (East Kamchatka): significance for stratigraphic reconstructions	28
<i>Gladenkov Yu.B.</i> Main neogene events in transitional zone of the northwest pacific region	32
<i>Gracheva E.V.</i> Diatom assemblages in the sediment core AMK-7063 GC from the south western Svalbard shelf	36
<i>Grigoriev A.G., Zhamoida V.A., Budanov L.M., Ryabchuk D.V.</i> The use of bromine as an indicator of the paleosalinity of bottom sediments on the example of the Baltic, White, East Siberian and Bering seas	39
<i>Dorokhova E.V., Sivkov V.V., Bashirova L.D., Kuleshova L.A., Novichkova E.A.</i> Variability of the Iceland-Scotland Overflow Water flow along eastern slope of the Reykjanes Ridge during the Holocene	43
<i>Klyuvitkina T.S., Polyakova Ye.I., Novichkova E.A.</i> Reconstruction of Sea Surface Temperature and Salinity in the Southeastern Part of the Laptev Sea During the Holocene Based on Micropaleontological Data	48
<i>Levitan M.A., Syromyatnikov K.V.</i> Comparative analysis of geochemical peculiarities of Pleistocene sediments from the Indian Ocean and Atlantic Ocean	53
<i>Lobacheva D.M., Badyukova E.N., Fomin V.V.</i> Bear knolls of	58

the Lower Volga region: a new outlook	
<i>Malenkina S.Y.</i> Phosphate columnar stromatolites of the Sukhay peschanka river and environments of their formation	62
<i>Malenkina S.Y., Ivanov A.V.</i> The genesis problem of paleogene columnar stromatolithes at the “Kamyshinskiye ushi” location	67
<i>Malysheva E.N.</i> Organogenic structure of Mountain Golubynaya (Southern Primorye) and its lithological and paleoecological characteristics	72
<i>Melnikova A.A.</i> Climate events of the Late Holocene in the Lofoten Basin of the Norwegian Sea based on diatom analysis	77
<i>Mustafin M.A., Pushina Z.V., Sergeev A.Yu.</i> Diatoms from the sediments of the Anadyr Bay, the Bering Sea	80
<i>Petrov N.I., Borisov D.G.</i> Open source digital balances for operation in sea conditions on scientific vessels	84
<i>Polyakova Ye.I.</i> The Eurasian Arctic Seas During the Late Cenozoic (Diatom Stratigraphy and Paleoceanography)	87
<i>Popov M.S., Borisov D.G.</i> Sediment Waves on the Santa Catarina Plateau: morphology and formation processes	93
<i>Saidova Kh.M., Sokolova E.A.</i> Paleobiogeographical reconstructions for the early Maastricht by plankton foraminifera in the Pacific Ocean	98
<i>Sapelko T.V., Rusanov A.G., Ignatieva N.V., Gazizova T.V., Lapenkov A.E., Guzivaty V.V., Karetnikov S.G.</i> Ancient and modern connection of Lake Lipovskoye on the Kurgalsky Peninsula with the Baltic Sea	103
<i>Sivkov V.V., Bashirova L.D., Dorokhova E.V., Dorokhov D.V., Napreenko M.G., Napreenko-Dorokhova T.V., Ponomarenko E.P., Mychko E.V., Bubnova E.S., Kuleshova L.A., Alekseev V.I.</i> Geological, geophysical and palaeoceanological investigation in the Atlantic Ocean Basin (2015–2022)	108
<i>Smirnova K.M., Novichkova E.A., Matul A.G., Slomnyuk S.V., Kravchishina M.D.</i> Paleoceanological reconstructions of sedimentation environments in the Kara Sea in the Holocene	113

<i>Sorokin V.M., Rosljakov A.G., Luksha V.L., Demonov A.P.</i>	118
Types of sedimentary processes in the western Black Sea during Late Quaternary time	
<i>Tsukanov N.V.</i> Late Cenozoic Sea basin of Eastern Kamchatka	121
<i>Sheykov A.A., Shelting S.K.</i> Seismostratigraphic separation of the Pleistocene section of the Black Sea for the legend of the geological map sheets of Crimean series at scales of 1:200,000	126
<i>Sheykov A.A., Shelting S.K., Burkatsky O.N.</i> Cenozoic deposits on the shelf and the continental slope off the coast of Crimea	131
<i>Yakovishin S.Yu.</i> Lithological characteristics and conditions of formation of the Lower Cretaceous clay deposits of the North-Western Caucasus	136
<i>Yakovishina E.V., Bordunov S.I., Kopaevich L.F.</i> Paleoenvironments of the sedimentation of the Turonian-Coniacian deposits of the Southwestern Crimea	141
<i>Yanina T.A., Sorokin V.M., Bolikhovskaya N.S., Romanyuk B.F.</i> Regressions of the Caspian Sea during late Pleistocene – Holocene	146

**Micro- and nanoparticles, and mass and energy fluxes
(atmo-, cryo, hydro-, litho-, sedimentospheres)**

<i>Agafonova E.A., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N.</i> Microalgae assemblages in the Norwegian Sea sinking material	152
<i>Adilbayeva T.E., Talovskaya A.V., Yazikov E.G.</i> Mineral-material and geochemical features of as an indicator of the state of the air (case study: city of Karaganda, Central Kazakhstan)	157
<i>Antonova V.M., Gubanova D.P., Vinogradova A.A., Talovskaya A.V.</i> Results of the analysis of the elemental composition of aerosol particles by multidimensional methods	162
<i>Bespalova A.I., Talovskaya A.V.</i> Elemental composition of	167

street dust microparticles in industrial-urbanized territories <i>Budaeva Y.S., Talovskaya A.V.</i> Mineral and material composition of street dust's microparticles collected on the territory of monoprofile industrial town	172
<i>Glazyrin E.A., Prokoptsev G.N.</i> Underwater methane discharge over the Temryuk mud volcanic field (Sea of Azov)	177
<i>Gubanova D.P., Vinogradova A.A.</i> Brochosomes: problems of identification of unusual aerosol particles in the city atmosphere	182
<i>Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N., Politova N.V., Dara O.M., Bulokhov A.V.</i> Vertical particle fluxes in the Barents Sea on August, 2021	187
<i>Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N., Politova N.V., Bulokhov A.V.</i> Results of a two-year operation of an automatic deep-water sedimentary observatory at northern part of the Mohns Ridge (Norwegian Sea)	192
<i>Kovalev V.V.</i> Regularities distribution of suspended forms of trace elements in the water column of the Caspian Sea	197
<i>Kotova E.I., Lokhov A.S., Topchaya V.Yu., Chibisova V.G.</i> Atmospheric deposition of lead and cadmium on the territory of the Arctic zone of the Russian Federation (model calculations)	202
<i>Kotova E.I., Starodymova D.P., Netsvetayeva O.P.</i> Composition of insoluble matter in the snow cover of the western sector of the Russian Arctic: results of the expedition in 2023	206
<i>Levitskiy V.I., Levitskiy I.V.</i> Native, intermetallic, other mineral species, amorphous phases in the rocks of the Bobruisk ledge of the Belarusian massif of the East European Craton	211
<i>Lokhov A.S., Kravchishina M.D., Politova N.V., Artemiev V.A., Glukhovets D.I.</i> Suspended particulate matter characteristics in the Kara Sea south part in September 2022 according to multiple methods	216
<i>Malov V.I., Strakhovenko V.D., Subetto D.A., Belkina N.A.,</i>	221

<i>Ovdina E.A.</i> Lateral differences in the mineral and geochemical composition of bottom sediments of Lake Onego	
<i>Malov G.I., Strakhovenko V.D., Ovdina E.A., Malov V.I.</i> Sedimentation rates of bottom sediments in small lakes of the Ulagan Valley and the Ukok Plateau (Gorny Altai)	226
<i>Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Drushkova E.I., Ishkulova T.G.</i> Solid atmospheric precipitation in Murmansk	231
<i>Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Ishkulova T.G., Drushkova E.I.</i> Concentration of biogenic elements in freshly fallen snow in the north of the Kola Peninsula in 2018–2021	236
<i>Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Ishkulova T.G., Drushkova E.I.</i> The supply of biogenic elements to the north of the Kola Peninsula with solid atmospheric precipitation in 2018–2021	241
<i>Novigatsky A.N., Ignatiev S.B., Savvichev A.S., Starodymova D.P., Shevchenko V.P.</i> Trace element composition of lichens <i>Usnea dasopoga</i> in Kenozersky National Park (White Sea drainage area) and in the Moscow region (comparative characteristics)	246
<i>Ovdina E.A., Strakhovenko V.D., Malov G.I., Malov V.I., Solotchina E.P.</i> New data on the mineral and geochemical composition of bottom sediments in the Soda Tanatar lakes group (Kulunda plain, Russia)	251
<i>Oreshkin V.N.</i> Features and new possibilities of electrothermal atomic absorption analysis in determining traces of elements in waters, suspended matter, bottom sediments	256
<i>Strakhovenko V.D., Ovdina E.A., Malov V.Yg., Malov G.Yg.</i> Features of the distribution of rare earth elements in the waters and bottom sediments of small lakes of the Ukoksky plateau and the Ulagan Valley (Altai)	261
<i>Tarmyonok E.O., Talovskaya A.V., Yazikov E.G.</i> Dust pollution level of snow cover in alumina refinery area (Chulym basin)	266
<i>Topchaya V.Yu.</i> Long-term comprehensive studies of atmospheric dispersed sedimentary matter in the coastal zone	271

of the Southeastern Baltic (Russian sector)	
<i>Topchaya V.Yu., Chechko V.A., Novikova Yu.V.</i>	272
Phytoplankton in atmospheric sedimentary matter of the coastal zone of the Kaliningrad region	
<i>Chechko V.A., Topchaya V.Yu.</i> The role of atmospheric transport in sedimentation of the coastal zone of the southeastern part of the Baltic Sea (Russian Sector)	275
<i>Shulkin V.M., Elovsky E.V.</i> Control of the separation of colloidal and suspended particles at the chemical analysis of natural waters by the method of dynamic light scattering (DLS)	277
<i>Gerivani H., Putans V.</i> Assessment of the influence of aeolian transport of dust particles on marine sedimentation in the South Caspian Basin during the last 14000 BP	282

***ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЯ,
ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ,
БИОСТРАТИГРАФИЯ,
ПЕРЕКРЕСТНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ
МОРСКИХ И СУХОПУТНЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ***

***PALEOOCEANOLOGY,
PALEOECOLOGY,
BIOSTRATIGRAPHY, CROSS
CORRELATION OF MARINE AND
LAND DEPOSITS***

**Артемова А.В., Горбаренко С.А., Владимиров А.С.,
Пшенева О.Ю.**

(Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, Россия, e-mail: artemova@poi.dvo.ru)

**Глобальные и региональные изменения среды и климата
северо-западной части Тихого океана вблизи Камчатки за
последние 20 тысяч лет (на основе диатомового анализа)
Artemova A.V., Gorbarenko S.A., Vladimirov A.S.,
Psheneva O.Yu.**

(V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch of the Russian Academy
of Sciences, Vladivostok, Russia)

**Late Pleistocene-Holocene climatic changes in the subarctic
Pacific based on diatom analysis**

Ключевые слова: диатомовые водоросли; поздний плейстоцен; голоцен; беллинг;
аллеред; дриас; события Бонда; изменения природной среды.

Результаты изучения диатомовых водорослей из осадков северо-западной части
Тихого океана отразили периоды смены гидробиологических условий региона,
связанных с глобальными климатическими событиями за последние 20 тысяч лет и
сопутствующими региональными изменениями среды.

Материалом исследования послужил керн донных осадков, отобранный
в международной российско-китайской экспедиции на НИС «Академик
М.А. Лаврентьев» в северо-западной части Тихого океана (колонка LV76-
41-2) с материкового склона полуострова Камчатка с глубины 1924 м.

Пробы на диатомовый анализ отбирались через каждый сантиметр керна
(длина 455 см). Обработка проб проводилась по стандартной методике [1].

Возрастная модель керна LV76-41-2 была построена на AMS
радиоуглеродных датировках керна LV76-41-2 с корреляцией с возрастной
шкалой керна SO201-2-12KL [2], корреляцией индексов продуктивности
и относительной палеоинтенсивности магнитного поля Земли обоих кернов;
с теплыми и холодными столетними событиями записей $\delta^{18}\text{O}$ сталагмитов
пещер Китая [3, 4] и $\delta^{18}\text{O}$ ледового керна Гренландии [5], и с глобальными
изменениями климата (голоцен, ранний дриас, аллеред, средний дриас,
беллинг, ранний дриас и последний ледниковый максимум).

Реакция диатомей на происходящие события отразилась в колебании
численности створок в осадке, в соотношении экологических групп
диатомовых водорослей, отражая разнообразные во временном масштабе
изменения палеоокеанологических условий.

Сигналами изменения палеоокеанологической обстановки при изучении
диатомовых комплексов в осадках были: а) изменение концентрации

диатомей и таксономического разнообразия водорослей, присутствие в составе диатомовых комплексов привнесенных берингоморских таксонов, особенно в группу доминантных видов; б) появление/исчезновение ярко выраженных криофильных видов; в) увеличение/уменьшение доли абсолютного доминанта современного фитопланктона северной части Тихого океана *Neodenticula seminae* (Simonsen & T.Kanaya) Akiba & Yanagisawa.

По результатам диатомового анализа было выявлено, что глобальные климатические события последних 20 тыс. лет – голоцен, ранний дриас, аллеред, средний дриас, беллинг, ранний дриас и последний ледниковый максимум похолоданий – сопровождалась значительными региональными изменениями среды, приведшие к существенным изменениям численности диатомей, таксономического разнообразия и экологическим изменениям диатомовых комплексов. Впервые, благодаря высокой скорости осадконакопления и подробному отбору проб морских осадков северо-западной части Тихого океана в регионе влияния восточно-камчатского течения были также выделены тысячелетние и столетние изменения среды изучаемого региона.

Также на основе изменений диатомовых комплексов были выделены кратковременные события, описанные по изменению тяжелых изотопов кислорода в кернах льда, голоценовые события Бонда [6]. Были выделены кратковременные голоценовые климатические события, сопровождающиеся засухами и опустыниванием территорий, похолодания, сопровождавшие перестройку древних неолитовых культур. Например, выделен климатический период 4200–4300 т.л.н., спровоцировавший кризис древних культур, вызванный климатическими катастрофами; крах китайской неолитической культуры, вызванный похолоданием и изменением муссонной деятельности на востоке Евразии, определенный по сталагмитам пещеры Донге в Китае [3, 4]. Все эти климатические события отразились в экологической структуре видов диатомей.

Также на основе данных диатомового анализа были отмечены периоды интенсификации Восточно-камчатского течения и разгрузки льда, дрейфующего из Берингова моря и побережья восточной Камчатки за последние 20 тыс. лет.

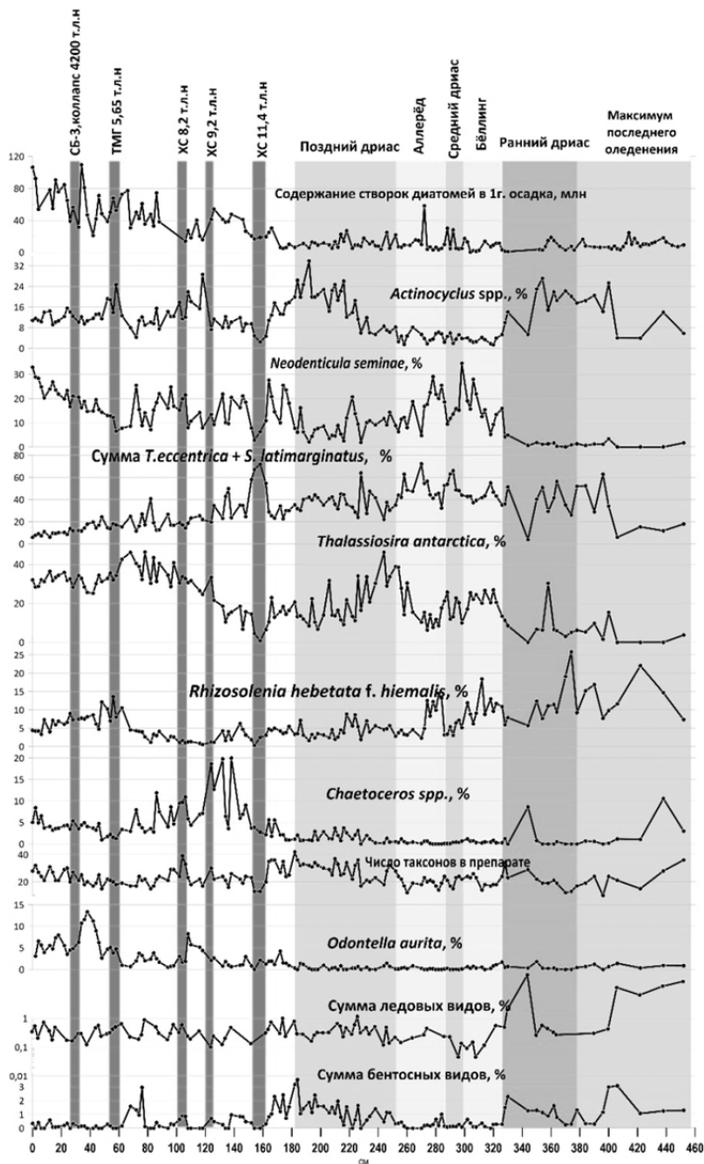


Рисунок. Распределение численности, видового разнообразия и процентного содержания наиболее представительных видов диатомовых водорослей в осадке керна LV76-41-2. Вертикальными полосами показаны глобальные климатические события (последний ледниковый максимум, ранний дриас, беллинг, средний дриас, аллеред, поздний дриас, голоцен) и

столетние события, согласно возрастной модели керна. В голоцене по изменениям индикаторных видов диатомей нами выделены холодное событие 11.4 ka (пребореальная осцилляция 1), холодное событие 9.2 ka, холодное событие 8.2 ka, терминация термического максимума голоцена (событие Бонда 4), коллапс неолитической культуры Китая, известный как событие Бонда 3 согласно [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке гостемы №121021700342-9 Минобрнауки РФ и гранта РНФ 22-17-00118. Авторы выражают благодарность сотрудникам Первого океанографического Института КНР во главе с профессором Суефа Ши за помощь в организации и проведении совместной международной экспедиции, отбор и изучение керна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л.: Наука, 1974. Т. I. 404 с.
2. Max L., Riethdorf J.-R., Tiedemann R., Smirnova M., Lembke-Jene L., Fahl K., Nürnberg D., Matul A., Mollenhauer G. Sea surface temperature variability and sea-ice extent in the subarctic Northwest Pacific during the past 15,000 years // *Paleoceanogr.* 2012. V. 27 (3). P. doi:10.1029/2012PA002292
3. Wang Y., Cheng H., Edwards L., Kong X. Millennial- and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years // *Nature.* 2008.
4. Wang Y., Cheng H., Edwards R.L., He Y., Kong X., An Z., Wu J., Kelly M.J., Dykoski C.A., Li X. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate // *Science.* 2005. V. 308 (5723). P. 854–857.
5. Rasmussen S.O., Bigler M., Blockley S.P. et al. A stratigraphic framework for abrupt climatic changes during the Last Glacial period based on three synchronized Greenland ice-core records: refining and extending the INTIMATE event stratigraphy // *Quat. Sci. Rev.* 2014. V. 106. P. 14–28.
6. Bond G., Showers W., Cheseby M., Lotti R., Almasi P., deMenocal P., Priore P., Cullen H., Hajdas I., Bonani G. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates // *Science.* 1997. V. 278 (5341). P. 1257–1266. doi:10.1126/science.278.5341.1257

The results of studying diatoms from sediments of the northwestern part of the Pacific Ocean reflected periods of change in the hydrobiological conditions of the region associated with global climatic events over the past 20 thousand years and accompanying regional environmental changes.

Болиховская Н.С., Янина Т.А., Сорокин В.М.

(МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: paleo@inbox.ru)

Природная обстановка гирканской трансгрессивной эпохи Каспия (по материалам бурения)

Bolikhovskaya N.S., Yanina T.A., Sorokin V.M.

(Lomonosov Moscow State University, Moscow)

Environment of the Hyrcanian transgressive epoch of the Caspian Sea (on the base of drilling material)

Ключевые слова: Каспий, керн скважины, комплексный анализ, спорово-пыльцевой спектр, палеогеографические реконструкции

На основе комплексного изучения керна скважины из Северного Каспия реконструированы палеогеографические условия эпохи развития гирканской трансгрессии. Особое внимание уделено палинологическим исследованиям, выполненным впервые. Сделано заключение, что гирканский бассейн существовал в термоигротическую фазу микулинской межледниковой эпохи.

Большинством исследователей Каспия принято, что начало позднего плейстоцена ознаменовано позднехазарской трансгрессией – бассейном с невысоким (–10 м) уровнем [1–3]. Руководящим для его малакофауны видом является каспийский эндемик *Didacna surachanica* [2, 3]. Г.И. Поповым [4] на основании анализа скважин, пробуренных в северо-западном Прикаспии, установлено, что в начале позднего плейстоцена в Каспии развивалась самостоятельная крупная трансгрессия Каспия – гирканская. Характерные черты ее малакофаунистического облика – преобладание в составе дидакн *Didacna cristata*, *D. subcatillus*, *D. hyrcana*, присутствие тепловодного пресноводного вида *Corbicula fluminalis*. А позднехазарскую трансгрессию с руководящим видом *Didacna surachanica* Г.И. Попов [4] отнес к среднему плейстоцену. Анализ керна морских скважин подтвердил существование гирканского бассейна; сделан вывод о развитии в МИС 5 двух трансгрессивных бассейнов – позднехазарского и гирканского [5, 6]. Комплексное изучение керна скважины из Северного Каспия позволило реконструировать палеогеографические условия эпохи развития гирканской трансгрессии. Особое внимание уделено палинологическим исследованиям, выполненным впервые.

Буровые работы выполнены ООО Моринжгеология (Рига, Латвия) под руководством Ю.П. Безродных и Б.Ф. Романюка. Изученная нами скважина пробурена в восточной части обширной плоскодонной котловины Широкая, ограниченной на юге банками Кулалинская и Безымянная. Глубина моря в этом районе 11.9 м; бурение выполнено на глубину 56.4 м. Керн изучен литологическим, малакофаунистическим и палинологическим методами. В данной работе представлены результаты его изучения в

интервале, отвечающем гирканской эпохе осадконакопления. Материалы комплексного анализа керн в интервале, отражающем ательский регрессивный этап в истории Каспия (МИС 4 – первая половина МИС 3), опубликованы нами ранее [7, 8].

В керне в интервале 32.65–26.60 м на серой глинистой толще залегает глина темно-коричневая, с тонкими прослойками хемогенного карбоната, с детритом, иногда целыми раковинами *Dreissena rostriformis distincta* (преобладают), *Dreissena caspia*, *Monodacna caspia*, *Micromelania caspia*, *Theodoxus pallasi*, *Didacna subcatillus*, *Didacna umbonata*, *Didacna cristata*. Причем раковины залегают в тонких алевроитовых прослоях, что свидетельствует о требовательности моллюсков к содержанию кислорода в бассейне. Накопление умеренно глубоководных глин этого слоя связано с условиями трансгрессивного бассейна. Его фаунистический облик определяется совместным нахождением *Didacna subcatillus*, *D. cristata*, и редких представителей позднехазарской фауны, что соответствует фаунистической характеристике гирканской трансгрессии, представленной Г.И. Поповым [4]. Характерно обилие слабосоленатоводных каспийских видов родов *Monodacna*, *Dreissena*, что свидетельствует об опресненных условиях бассейна. Выше с глубоким размывом залегает песчано-глинистая толща с растительными остатками, с прослоями черного торфоподобного материала, отвечающая ательской регрессии Каспия.

Палинологическая запись, характеризующая изученную осадочную толщу, свидетельствует, что гирканские отложения формировались на протяжении теплого климатического этапа, характеризовавшегося изменениями растительности, проходившими в ландшафтах прилегающих районов в условиях межледникового климата.

Ландшафтно-климатические условия периода накопления представленных в керне литологических разностей толщи коричневых глин в интервале 32.65–29.00 м характеризуют шесть репрезентативных спорово-пыльцевых спектров. Соотношения между группами спектра (AP – деревья и кустарники, NAP – травы и кустарнички, SP – споры) подсчитаны в процентах от общей суммы пыльцы и спор. Процент каждого таксона внутри группы был рассчитан следующим образом: таксоны деревьев и кустарников в процентах от суммы пыльцы деревьев и кустарников; таксоны трав и кустарничков в процентах от суммы пыльцы трав и кустарничков; таксоны спор в процентах от суммы спор.

В составе дендропалинофлоры пыльца *Carpinus betulus*, *C. orientalis*, *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Fraxinus* sp., *Ulmus* sp., *Corylus avellana*, *Alnus glutinosa*, *A. incana* и др., входящих в число показательных видов микулинской флоры Центра и Юга Русской равнины, а также высокое содержание (на фоне господства ольхи) пыльцы широколиственных пород и преобладание в неморальном комплексе пыльцы *Carpinus betulus*. Судя по спектру, образование глин происходило на протяжении одного из

интервалов термогигротической стадии микулинского межледниковья. Полученная палинологическая запись (PZ 10–PZ 12) отражает три фазы трансформаций, происходивших в растительных сообществах господствовавших лесостепных и лесных ландшафтов, в лесных древостоях которых в течение большей части этого интервала доминировала ольха (*Alnus glutinosa*, *A. incana*).

В первую фазу (PZ 10) преобладали лесостепи (AP – 34–48%, NAP – 43–57%, SP – 9%), в которых наиболее благоприятные для широколиственных пород местообитания занимали ясенево-дубово-липово-грабовые формации с грабинником (*Carpinus orientalis*) и лещиной (*Corylus avellana*) в подлеске, а ольховые леса заселяли долинные, заболоченные и низинные экотопы с высоким уровнем грунтовых вод. Сумма пыльцы широколиственных пород в спектрах – до 12%. В травяном покрове лесов превалировали злаки, представители разнотравья (Ranunculaceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Lamiaceae, Apiaceae, Asteraceae и др.), осоки и папоротники (в том числе, *Polypodium vulgare* и *Athyrium filix-femina*). Открытые степные ландшафты были ареной расселения полынно-маревых с эфедрой, злаково-осоковых и злаково-разнотравных сообществ.

Вторая фаза (PZ 11) отражает фитоценозы лесостепных ландшафтов (AP – 50–55%, NAP – 28–30%, SP – 17–20%) эндотермального похолодания, во время которого в лесах почти полностью исчезли широколиственные деревья. Доминировали ольховые древостои, заметно увеличилось участие можжевельника и, возможно, других хвойных пород. В травяно-кустарничковом покрове существенно снизилось разнообразие представителей разнотравья, возросла роль злаков, а среди высших споровых растений Polypodiaceae и гроздовников (*Botrychium*).

В третью фазу (PZ 12) на прилегающей территории Северного Прикаспия преобладали лесные ландшафты (AP – 50–65%, NAP – 15–22%, SP – 20–28%). Наряду с ольховниками доминировали грабовые леса с примесью липы (*Tilia cordata*) и обильным подлеском из лещины. Сумма пыльцы широколиственных пород в спектрах – до 18%. В травяно-кустарничковом ярусе превалировали злаково-разнотравные сообщества и папоротники Polypodiaceae. Климатические условия теплого этапа можно охарактеризовать как гумидные.

Следует отметить, что, судя по палинологической записи, значительная мощность осадков была размита. Согласно климато-стратиграфическим построениям по палинологическим данным, в разрезе отсутствуют отложения, отвечающие термоксеротической стадии микулинского межледниковья, а присутствуют только осадки, отвечающие термогигротической фазе теплой эпохи, и в это время развивалась гирканская трансгрессия.

Исследования последних лет показали, что возраст гирканских отложений в Манычской депрессии, полученный методом оптически

стимулированной люминесценции (ОСЛ), 107 ± 7 тыс. лет назад [9]. В холодных и сухих условиях оледенения (МИС 4) Каспий регрессировал [7, 8].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22-27-00164).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во Московского ун-та, 1997. 267 с.
2. Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Изд-во Московского ун-та, 2012. 264 с.
3. Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с
4. Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с
5. Yanina T.A., Sorokin V.M., Bezrodnykh Y.P., Romanyuk B.F. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data) // *Quaternary International*. 2018. № 265. P. 130–141.
6. Sorokin V.M., Yanina T.A., Bezrodnykh Y.P., Romanyuk B.F. Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (upper Pleistocene) in the Caspian Sea // *Quaternary International*. 2018. № 265. P. 152–157.
7. Болиховская Н.С., Янина Т.А., Сорокин В.М. Природная обстановка ательской эпохи (по данным палинологического анализа) // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2017. № 6. С. 96–101.
8. Yanina T., Bolikhovskaya N., Sorokin V., Romanyuk B., Berdnikova A., Tkach N. Paleogeography of the Atelian regression in the Caspian Sea (based on drilling data) // *Quaternary International*. 2021. № 590. P. 73–84.
9. Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей Э.С., Борисова О.К. Гирканский этап в позднплейстоценовой истории Манычской депрессии // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2018. № 3. С. 77–88.

Based on a comprehensive study of the core from the North Caspian, paleogeographic conditions of the epoch of development of Hyrcanian transgression were reconstructed. Special attention is paid to palynological research performed for the first time. It was concluded that the Hyrcanian basin existed during the thermohygrotritic phase of the Mikulin interglacial epoch.

**Борисов Д.Г.¹, Фрей Д.И.¹, Иванова Е.В.¹,
Дмитревский Н.Н.¹, Левченко О.В.¹, Фомин В.В.²,
Лиджи М.³**

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: dborisov@ocean.ru; ²Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова (ФГБУ "ГОИН"), г. Москва; ³Институт морских наук, Национальный исследовательский совет, г. Болонья, Италия)

Контуритовая система в зоне разлома Вима (Центральная Атлантика)

**Borisov D.G.¹, Frey D.I.¹, Ivanova E.V.¹, Dmitrevsky N.N.¹,
Levchenko O.V.¹, Fomin V.V.², Ligi M.³**

(¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; ²Institute N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Moscow; ³Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bologna, Italy)

Contourite Depositional System in the Vema Fracture Zone (Central Atlantic)

Ключевые слова: дрейфт, канал, придонные течения, турбидные потоки, сейсмоакустическое профилирование

В работе приводится анализ данных высокоразрешающего сейсмоакустического профилирования, на основе которого в восточной пассивной части разлома Вима была впервые описана контуритовая система. Эта система состоит из двух дрейфтов и каналов, образованных течением Антарктической донной воды, и рассматривается как перспективный для исследований архив палеоокеанологической информации.

Контуритовые дрейфты (тела сложенные контуритами, т.е. осадками, отложенными под действием придонных течений) в глубоководных районах Атлантики, как природные архивы, хранят осадочные летописи с информацией о влиянии Североатлантической глубинной воды (САГВ) и Антарктической донной воды (ААДВ) на осадконакопление. Распространение ААДВ в Атлантике происходит через ряд глубоководных проходов (например, канал Вима и Кейн, глубоководный проход Дискавери, зона разлома Романш). Контуритовые осадочные системы (совокупности аккумулятивных и эрозионных форм, образованных придонными течениями), приуроченные к этим проходам, являются ключевыми объектами для изучения истории ААДВ (в масштабе сотен тысяч и миллионов лет) [1–4].

Семейство протяженных зон разломов, расходящихся в обе стороны от оси срединного хребта, является характерной чертой Центральной Атлантики [5, 6]. Разлом Вима, простирающийся более чем на 2300 км вдоль 10°50' с.ш., играет роль ключевой транспортной артерии для распространения ААДВ из западной Атлантики в ее восточную часть [7–

10]. Несмотря на наличие интенсивных придонных течений и большого потока осадочного материала, поступающего в зону разлома из Амазонки [11–12], в данном районе ни дрейфов, ни контуритовых каналов (или рвов) за почти пятидесятилетнюю историю изучения обнаружено не было. Общепринятая парадигма осадконакопления предполагает доминирующую роль турбидных потоков со склона Южной Америки в формировании мощной (до 1.5 км) толщи четвертичных отложений, заполняющих разломную долину Вима [11–12]. Кроме того и Центральная Атлантика в целом остается белым пятном на современных картах распространения контуритовых систем.

Однако анализ данных сейсмоакустического профилирования выполненного в рейсе 60 НИС «Академик Иоффе» (2021), позволил выявить серию контуритовых дрейфов и генетически связанных с ними контуритовых рвов в пассивной части разлома между 40° и 39° з.д. Эта часть долины отгорожена от потенциального влияния турбидных потоков крупным медианным хребтом [13]. Полученные результаты в сочетании с результатами прямых измерений (НИС «Академик Борис Петров» (2022)) и численного моделирования скоростей придонных течений (модель INMOM), позволило установить, что течение ААДВ сыграло исключительно важную роль в формировании верхней части осадочного заполнения долины разлома Вима к востоку от 40° з.д. [14]. Серия локальных сужений долины в этой части разлома значительно повлияла на придонную циркуляцию. Резкое уменьшение сечения потока приводит к увеличению скорости придонного течения. Вблизи таких сужений и сформировались дрейфы, а также связанные с ними рвы. Течение ААДВ, прижатое силой Кориолиса к крутой южной стенке, ограничивающей долину, вероятно, могло провоцировать сход гравитационных потоков с последующим переотложением переносимого этими потоками материала. Данное течение также могло приносить из трансформной долины через медианный хребет тонкий терригенный материал в виде взвеси. Пелагическая (фоновая) седиментация и гравитационные потоки с северной и южной стенок имели незначительное влияние на осадконакопление, однако они могли преобладать в межледниковье. Предполагается, что процессы осадконакопления, связанные с придонными течениями, доминировали во время ледниковых периодов и, особенно, во время перехода к межледниковью. Прямые измерения скоростей течений в сочетании с численным моделированием позволили выявить области выхода ААДВ из долины разлома через небольшие проходы в северной стенке.

Обнаруженные дрейфы и рвы являются первым примером контуритной осадочной системы в зоне разлома Вима. Это исследование заново открывает зону разлома Вима как перспективную область для дальнейших исследований контуритов и дает основу для переосмысления влияния

придонных течений на осадконакопление в других частях разлома, в особенности в местах локальных сужений долины.

Авторы выражают благодарность Александру Александровичу Пейве за ценные комментарии при подготовке работы, Татьяне Глазковой, Амбруасу Дюфуру и Валерию Королеву за помощь в проведении сейсмоакустического профилирования, а также капитану и экипажу 60-го рейса НИС «Академик Иоффе». Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 22-27-00421).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Massé L., Faugères J.-C., Bernat M., et al. A 600,000-year record of Antarctic Bottom Water activity inferred from sediment textures and structures in a sediment core from the Southern Brazil Basin // *Paleoceanography*. 1994. V. 9. P. 1017–1026.
2. Ivanova E., Murdmaa I., Borisov D. et al. Late Pliocene–Pleistocene stratigraphy and history of formation of the Ioffe calcareous contourite drift, Western South Atlantic // *Marine Geology*. 2016. V. 372. P. 17–30.
3. Sivkov V.V., Bashirova L.D., Dorokhova E.V. et al. Study of the Contourite Drift north of the Kane Gap (eastern equatorial Atlantic) // *Russ. J. Earth Sci.* 2019. V. 19. P. 1–9.
4. Glazkova T., Hernández-Molina F.J., Dorokhova E. et al. Sedimentary processes in the Discovery Gap (Central–NE Atlantic): An example of a deep marine gateway // *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.* 2022. V. 180. 103681.
5. Peive A.A., Savel'eva G.N., Skolotnev S.G., Simonov V.A. Structure and Deformations of the Crust–Mantle Boundary Zone in the Vema Fracture Zone, Central Atlantic // *Geotectonics*. 2001. V. 35. P. 12–29.
6. Ligi M., Cuffaro M., Muccini F., Bonatti E. Generation and evolution of the oceanic lithosphere in the North Atlantic // *La Riv. del Nuovo Cim.* 2022. V. 45. P. 587–659.
7. McCartney M.S., Bennett S.L., Woodgate-Jones M.E. Eastward Flow through the Mid-Atlantic Ridge at 11°N and Its Influence on the Abyss of the Eastern Basin // *J. Phys. Oceanogr.* 1991. V. 21. P. 1089–1121.
8. Rhein M., Stramma L., Krahnemann G. The spreading of Antarctic bottom water in the tropical Atlantic // *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res.* 1998. V. 45. P. 507–527.
9. Demidov A.N., Dobrolyubov S.A., Morozov E.G., Tarakanov R.Y. Transport of bottom waters through the Vema Fracture Zone in the Mid-Atlantic ridge // *Dokl. Earth Sci.* 2007. V. 416. P. 1120–1124.
10. Morozov E.G., Tarakanov R.Y., Frey D. I. et al. Bottom water flows in the tropical fractures of the Northern Mid-Atlantic Ridge // *J. Oceanogr.* 2018. V. 74. P. 147–167.
11. Heezen B.C., Gerard R.D., Tharp M. The Vema fracture zone in the

equatorial Atlantic // J. Geophys. Res. 1964. V. 69. P. 733–739.

12. Van Andel T.H., Von Herzen R.P., Phillips J.D. The Vema fracture zone and the tectonics of transverse shear zones in oceanic crustal plates // Mar. Geophys. Res. 1971. V. 1. P. 261–283.

13. Lagabriele Y. et al. Vema Fracture Zone (central Atlantic): Tectonic and magmatic evolution of the median ridge and the eastern ridge-Transform intersection domain // J. Geophys. Res. 1992. V. 97. 17331.

14. Borisov D.G., Frey D.I., Ivanova E.V. et al. Unveiling the contourite depositional system in the Vema Fracture Zone (Central Atlantic) // Scientific Reports. 2023. V. 13. 13834.

This study presents an analysis of high-resolution sub-bottom profiling data, which led to the first description of a contourite system in the eastern passive part of the Vema fracture zone. This system consists of two drifts and two moats formed by the current of Antarctic Bottom Water, and is considered a promising archive for further paleoceanographic research.

Гладенков А.Ю., Устинова М.А.

(Геологический институт РАН, г. Москва, e-mail: agladenkov@ilran.ru)

Находки меловых и палеогеновых известковых наннофоссилий в разрезах полуострова Камчатский Мыс (Восточная Камчатка): значение для стратиграфических реконструкций

Gladenkov A.Yu., Ustinova M.A.

(Geological Institute RAS, Moscow)

Finds of Cretaceous and Paleogene calcareous nannofossils from sections of the Kamchatsky Mys Peninsula (East Kamchatka): significance for stratigraphic reconstructions

Ключевые слова: Восточная Камчатка, наннофоссилии, мел, палеоген

Представлены данные по известковым наннофоссилиям, впервые найденным в отложениях нижней части столбовской серии Восточной Камчатки на полуострове Камчатский Мыс. В разрезах выделены две разновозрастные ассоциации наннопланктона: позднемеловая и палеогеновая (не древнее лютетского яруса эоцена).

Разнофациальные толщи палеогена и верхнего мела широко развиты в пределах Восточной Камчатки. В частности, морские отложения этого возраста представлены на п-ове Камчатский Мыс (рис. 1), который входит в состав структурно-фациальной зоны Восточных полуостровов Восточно-Камчатской структурно-формационной зоны [4]. Палеогеновые образования представлены здесь терригенными, туфогенно-осадочными и вулканогенными породами, которые объединены в столбовскую серию. Слагающие ее толщи (общей мощностью до 6000 м) расчленены на пять свит (стратиграфически снизу вверх): тарховскую, верещагинскую, рифовскую, каменногорскую и баклановскую, с выделением подсвит в каждой из них [2–4]. Возраст серии на основе анализа стратиграфического распространения в разрезах редких находок бентосных и планктонных фораминифер, моллюсков и радиолярий был датирован с определенной долей условности в пределах от позднего маастрихта до позднего эоцена [1–4]. Следует отметить, что редкость органических остатков (как бентосных, так и планктонных) может свидетельствовать о специфических условиях распространения биоты в достаточно глубоководном морском бассейне, для которого были характерны высокие скорости осадконакопления, постоянные изменения характера седиментации и влияние активного вулканизма.

Вследствие значительной дислоцированности, большой мощности и невыдержанностью фациального состава представленных в разрезах

отложений, точное их датирование и корреляция сталкиваются со значительными трудностями и часто остаются достаточно условными. В этой связи несомненный интерес представляют первые находки наннофоссилий (относящихся к ортостратиграфической группе ископаемых) в нижней части столбовской серии.

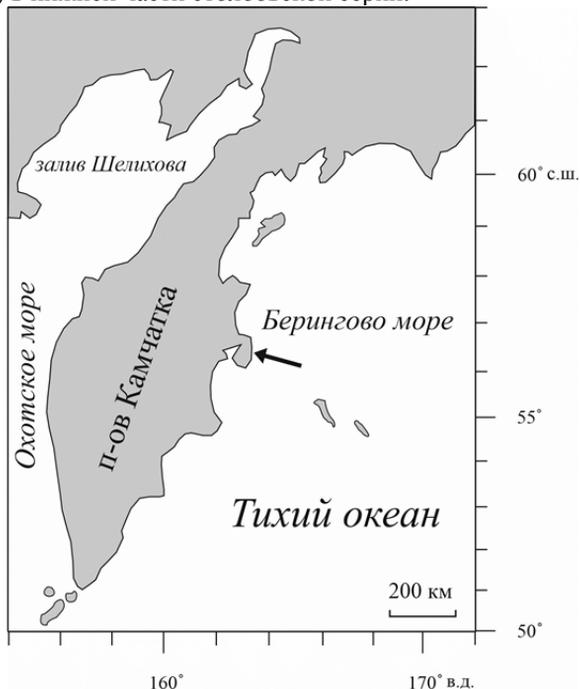


Рисунок 1. Географическое положение п-ова Камчатский Мыс (стрелка)

В ходе полевых работ в восточной части п-ова Камчатский Мыс группой сотрудников Геологического института РАН было проведено комплексное изучение разрезов нижней части столбовской серии, которое сопровождалось отбором образцов на микропалеонтологический анализ. В результате обработки в некоторых из них были обнаружены известковые наннофоссилии, которые отнесены к двум комплексам различного возраста. Более древний из них выделен из отложений нижнетарховской подсвиты в разрезе по ручью Ключ Медвежий. В его составе отмечены *Micula staurophora* (Gardet) Stradner, *Zeughrabdotus erectus* (Deflandre) Reinhardt, *Watznaueria britannica* (Stradner) Reinhardt, *W. barnesiae* (Black) Perch-Nielsen, *Eiffellithus* cf. *eximius* (Stover) Perch-Nielsen, *Cyclagelosphaera* cf. *margerelii* Noël, *C.* cf. *reinhardtii* (Perch-Nielsen) Romein, и др. Совместное распространение этих таксонов, в частности, присутствие в составе

ассоциации *Micula staurophora* (рис. 2) указывает на то, что вмещающие отложения могут быть датированы поздним мелом: в интервале коньякского-маастрихтского веков.

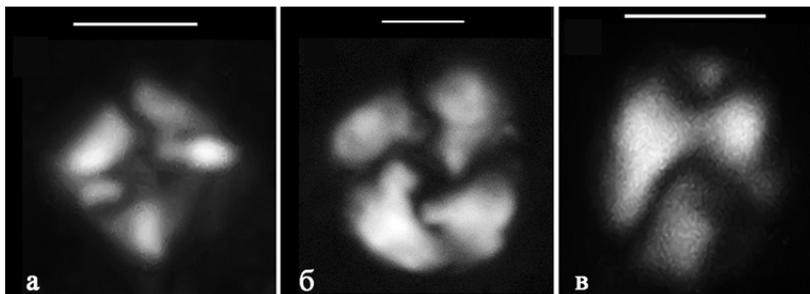


Рисунок 2. Наиболее важные в стратиграфическом отношении таксоны комплексов ископаемого наннопланктона, выделенных в изученных разрезах п-ова Камчатский Мыс:

а – *Micula staurophora* (разрез нижнетарховской подсвиты по ручью Ключ Медвежий); б - *Reticulofenestra hesslandii*, в - *Lanternithus minutus* (разрез верещагинской свиты на морском побережье к северу от устья р. Вторая Перевальная). Длина масштабных линеек равна 2 мкм.

Второй комплекс ископаемого наннопланктона найден в породах, относимых к верещагинской свите, которые представлены в разрезе по побережью Берингова моря на левобережье р. Вторая Перевальная. Для ассоциации характерны *Reticulofenestra hesslandii* (Haq) Roth, *R. dictyoda* (Deflandre) Stradner, *Lanternithus minutus* Stradner, *Cyclicargolithus floridanus* (Roth et Hay) Bukry, *Sphenolithus radians* Deflandre, *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller, *Zygrhablithus bijugatus* (Deflandre) Deflandre. Анализ таксономического состава комплекса указывает на его палеогеновый возраст. Присутствие в составе *Reticulofenestra hesslandii* и *Lanternithus minutus* позволяет сделать вывод о том, что вмещающие отложения не древнее лютетского века среднего эоцена и в целом, могут датироваться в пределах среднего эоцена – раннего олигоцена. Такая датировка не совпадает с заключением о средне-позднепалеоценовом возрасте верещагинской свиты, сделанном ранее по бентосным фораминиферам из разреза другого района полуострова [2, 4], что заставляет считать этот вопрос не решенным окончательно. Следует отметить, что комплекс наннопланктона изученного разреза морского побережья близок по возрасту ассоциации из палеогеновых отложений более северного района полуострова [5], относимых к баклановской свите значительно более высокого стратиграфического интервала.

Таким образом, новые находки наннофоссилий позволяют уточнить

стратиграфическое положение и сопоставление литостратонов, выделяемых в столбовской серии в различных разрезах п-ова Камчатский Мыс. Новые находки наннофоссилий не только расширяют палеонтологическую характеристику меловых и палеогеновых свит региона, но и дополняют данные об ископаемом наннопланктоне Камчатского региона.

Работа выполнена по теме Государственного задания Геологического института РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беньямовский В.Н., Фрегатова Н.А., Спирина Л.В., Бояринова М.Е., Волобуева В.И., Гладенков Ю.Б., Таривердиева Т.Н. Зоны планктонных и бентосных фораминифер в палеогене Восточной Камчатки // Изв. РАН. Сер. геол. 1992. № 1. С. 100–113.
2. Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г., Савельев Д.П. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Серия Восточно-Камчатская. Лист О-58-XXVI, XXXI, XXXII (Усть-Камчатск). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 226 с.
3. Гладенков Ю.Б. Опорные разрезы палеогена и неогена Восточной Камчатки // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2016. Т. 24. № 1. С. 64–80.
4. Решения Рабочих Межведомственных региональных стратиграфических совещаний по палеогену и неогену восточных районов России - Камчатки, Корякского нагорья, Сахалина и Курильских островов. Объяснительная записка к стратиграфическим схемам. М.: ГЕОС, 1998. 147 с.
5. Щербинина Е.А. Наннопланктон палеогеновых отложений Восточно-Камчатского региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1997. Т. 5. № 2. С. 60–70.

Data on calcareous nannofossils found for the first time in the lower part of the Stolbovaya Group of the Kamchatsky Mys Peninsula, East Kamchatka, is presented. Two assemblages of different age are revealed. One of them is assigned to Late Cretaceous and the other to the Paleogene (not younger than the Lutetian Stage of the Eocene).

Гладенков Ю.Б.

(Геологический институт РАН, г. Москва, e-mail: gladenkov@ginras.ru)

Основные события неогена в переходной зоне северо-запада тихоокеанской области

Gladenkov Yu.B.

(Geological Institute RAS, Moscow)

Main neogene events in transitional zone of the northwest Pacific region

Ключевые слова: средний миоцен, трансгрессия, потепление, транзитная зона, Камчатка, биокомплексы, миграции

Дана характеристика основных событий среднего миоцена в северо-западной части Северной Пацифики. Субглобальное потепление привело к перемещению теплых водных масс и свойственных им биокомплексов от широт Японии до Северной Камчатки. В районах обрамления Северной Пацифики оно последовало за тектоническими перестройками, которые вызвали развитие морской трансгрессии.

К настоящему времени исследования по выявлению особенностей развития океанических окраин прошлого позволили раскрыть определенную специфику осадочных образований этих регионов и изменения пространственного распространения биотических палеосообществ в отдельные периоды кайнозоя. В частности, синтез полученных в последнее время геологических данных по литологии и биотическим комплексам палеогена и неогена переходной зоны Северной Пацифики показал, что создана реальная основа для реальной расшифровки разнообразных геологических событий, многие из которых ранее оставались не установленными. Из этих материалов следует, что при выявлении событий прошлого необходимо учитывать природные явления, с одной стороны, регионального, а с другой – субглобального масштаба.

Особенностью рассматриваемого объекта (то есть переходной зоны), которую следует учитывать, является, во-первых, частые, отмечавшиеся в кайнозое тектонические перестройки, вызывавшие существенные изменения палеогеографических обстановок и седиментационных режимов в регионе. А, во-вторых, здесь приходится принимать во внимание климатическую зональность, которая проявлялась в бассейнах разных широт, протянувшихся с севера на юг от Берингова пролива до Японии более чем на 3 тыс. км. В связи с тем, что температурные характеристики водных масс бассейнов различных широт, естественно, отличались, то в пределах тропического, субтропического и бореального климатических поясов возникали отдельные биогеографические провинции. В зависимости от глобальных потеплений или похолоданий водные массы разных климатических поясов “сдвигались” по широте (соответственно к северу

или к югу). Естественно, что эти природные явления напрямую или косвенно сказывались на особенностях формирования состава биосообществ отдельных морских экосистем данной переходной области.



Рисунок. Схема положения южной и северной границ современной (Q) и среднемиоценовой (N) низко-бореальной биогеографической подобласти [1]: 1 – границы (южная и северная) современной Северояпонской низкобореальной подобласти, 2 – предполагаемые границы (южная и северная) Пра-Берингийской высокобореальной подобласти начала среднего миоцена

Обобщение последних геологических и палеонтологических данных, полученных после сравнительного изучения более чем 35 шельфовых разрезов неогена Корякского нагорья, Камчатки, Японии и Сахалина с послойным анализом органических остатков позволяет внести существенные дополнения в расшифровку последовательности и взаимосвязи отдельных геособытий в данном регионе [1]. В этом отношении, весьма наглядными оказались, в частности, материалы по “ильинскому горизонту” среднего миоцена Западной Камчатки и его возрастных аналогов в разных регионах северо-западной части шельфовой

зоны Северной Пацифики. Обычно этот горизонт представлен конгломератами, гравелитами и песчаниками мощностью до 70-100 м, залегающими обычно с угловым несогласием и размывом на более древних образованиях. Породы охарактеризованы богатыми комплексами моллюсков, фораминифер, диатомовых и палинологией. Выявленные биокомплексы являются относительно тепловодными - субтропического и южнобореального типа.

Собранные геологические материалы по этому стратиграфическому горизонту позволяют с большей, чем раньше, вероятностью восстановить ряд существенных событий прошлого. Во-первых, из них следует, что формирование горизонта и его возрастных аналогов проходило после *фазы тектогенеза* конца раннего миоцена, приведшей к существенной по масштабу *морской трансгрессии*, которая охватила практически все вышеназванные регионы. Это проявилось в несогласном залегании осадочных толщ среднего миоцена на подстилающих образованиях, и существенных палеогеографических перестройках всей переходной зоны.

Во-вторых, эти явления совпали во времени с *субглобальным потеплением* начала среднего миоцена. Все это вместе отразилось на составе шельфовых биосообществ Камчатки. С одной стороны, выяснилось, что они отличались относительно богатством видового состава, в частности, моллюсков (к примеру, в данном горизонте отмечено более 150 видов моллюсков в отличие от комплексов других – подстилающих и перекрывающих - горизонтов, характеризующихся обычно 30-45 формами). С другой стороны, в ильинском комплексе выявлено, как уже было отмечено, множество субтропических и южно-бореальных, то есть относительно тепловодных таксонов моллюсков (“дозиниевый” комплекс с *Dosinia*, *Anadara*, *Crassatella*, *Turritella*, *Ostrea*), а также фораминифер (лоны с *Pseudoelphidiella hannai*, *Buccella complanata*) и диатомовых (комплекс зоны *Denticulopsis lauta*). Наличие таких элементов биоты в камчатских толщах может рассматриваться как свидетельство миграции в начале среднего миоцена тепловодных биосообществ от японских широт в северном направлении. Из сравнительного анализа собранных в регионе данных следует, что “смещение” тепловодных ценозов морской фауны с юга (от Японии) на север (до Северной Камчатки – юга Корякского нагорья) можно оценить в 1.5-2 тыс. км (рис.). Другими словами, положение южной и северной границ низкорореальной подобласти в среднем миоцене заметно отличалось от современного. Подобные биотические миграции проходили в Северной Пацифике во время климатических оптимумов, видимо, неоднократно. Во всяком случае, подобные явления уже выявлены в раннем эоцене, в конце среднего миоцена и в начале плиоцена. Но не исключено, что сходные процессы имели место и в более древние эпохи (во всяком случае, в мезозое).

Хотелось бы с благодарностью вспомнить коллег – геологов,

палеонтологов и гидробиологов, которые в прошлые годы внесли важную лепту в освещение обозначенных выше геологических проблем Северо-Западной Пацифики: Л.В. Криштофович, А.П. Жузе, О.А. Скарлато, А.П. Кузнецова, В.Н. Синельникову, Л.С. Жидкову, В.И. Волобуеву, Х.М. Саидову, В.Н. Беньямовского, Г.М. Братцеву, Д.И. Витухина, А.Е. Шанцера, М.Н. Шапиро и других.

Работа выполнена по теме государственного задания ГИН РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладенков Ю.Б. Ильинский горизонт среднего миоцена Западной Камчатки, сообщества моллюсков и палеобиогеографические реконструкции // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2022. Т. 30. № 5. С. 99–110.

Characteristic of the main middle Miocene events in the Northwest Pacific is given. Subglobal warming led to displacement of warm water masses and relating bioassemblages from the latitudes of Japan to North Kamchatka. In the North Pacific framing areas this warming followed the tectonic reconstructions which affected the development of marine transgression.

Грачева Е.В.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: feelqwer10@gmail.com)

Диатомовые комплексы в колонке осадков АМК-7063 ТБД на юго-западном шельфе Шпицбергена

Gracheva E.V.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Diatom assemblages in the sediment core АМК-7063 GC from the south western Svalbard shelf

Ключевые слова: диатомовые водоросли, палеоэкология, голоцен, голоценовый оптимум, Шпицберген

В работе представлены результаты изучения диатомей из донных осадков колонки АМК 7063 (76°59.808' с.ш.; 13°06.620' з.д.), полученной на юго-западном шельфе Шпицбергена. Диатомовый анализ показал типичный для данного района слой максимума содержания диатомей в раннем-среднем голоцене 11–4.2 тыс. лет назад, разделенный на два периода: относительно холодный 11–8.2 тыс. лет назад, с кратковременными похолоданиями 10.3 и 9.6 тыс. лет назад, и относительно теплый и стабильный 8.2–4.2 тыс. лет назад.

Шпицберген представляет собой архипелаг, окруженный контрастными течениями вод Северной Атлантики и Арктики, а также район интенсивной современной «атлантификации» [3]. Этот феномен проявляется в возрастании притока Атлантических вод и приводит к сокращению морского льда в море. Миграции гидрологических фронтов в Северной Атлантике представляют значительный интерес для понимания процессов глобальных климатических изменений [1]. В районе Шпицбергена существует область контакта разных водных масс: на Арктическом фронте, разделе североатлантической и арктической (смесь североатлантической и полярной) вод, и Полярном, разделе арктических и полярных вод. Поскольку развитие диатомей сопряжено с чередованием четвертичных оледенений и межледниковий, анализ их общего содержания в осадках и соотношения экологически характерных видов может прояснить изменение параметров среды на протяжении изучаемого отрезка времени.

Материал для данной работы был отобран в 84-ом рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», проведенном Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН. С помощью ударной грунтовой трубки большого

диаметра с глубины 320 м была поднята на поверхность колонка донных осадков АМК 7063 ТБД. Она получена на юго-западном шельфе Шпицбергена, недалеко от залива Бельсунн (76°59.808' с.ш.; 13°06.620' з.д.). На диатомовый анализ пробы отбирались через 10 см разреза. Всего было получено 52 образца, охватывающих 516 см разреза. Для трех образцов данной колонки (5–6, 140–141, 507–509 см) были получены радиоуглеродные датировки абсолютного возраста.

Диатомовый анализ показал, что палеонтологическая летопись полученной колонки прерывиста, т.к. диатомеи встречены не по всему разрезу. Выделяются слои, обогащенные диатомеями, особенно горизонт, который сопоставляется с описанным в литературе слоем диатомового максимума, выделяющимся также в Норвежском море, на фоне практически немой толщи [2]. Кровлей первого комплекса является образец 61–62 см. Доминируют в нем относительно тепловодные виды рода *Coscinodiscus* (в основном *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg (до 70%) и *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg (до 19%), *Navicula digitoradiata* (Gregory) Ralfs (до 6%). Космополит *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve встречается примерно в одинаковом количестве на протяжении всех содержащих диатомовых образцов колонки (1–4%). Начиная с уровня 81 см вниз по разрезу, комплекс меняется: ощутимо увеличивается количество спор субарктического биполярного вида *Thalassiosira antarctica* Comber (до 35%). Все также многочисленны виды предыдущего комплекса, и вместе с тем в образцах появляются тепловодные *Odontella aurita* (Lyngbye) C.Agardh (до 3%), *Roperia tessellata* (Roper) Grunow ex Pelletan (до 12%) и спора *Bacteriosira bathyomphala* (Cleve) Syvertsen et Hasle (до 9%). С уровня 131 см доля споры *Thalassiosira antarctica* возрастает ещё сильнее (до 83%), и вместе с тем падает разнообразие сопутствующих видов. Данный комплекс превалирует до конца слоя диатомового максимума и сменяется немой толщиной с уровня 250 см. Однако он имеет две существенные осцилляции, которые не выделяются в отдельные комплексы, потому что представляют собой противофазные колебания численности противоположных по экологии видов. Так, более молодая и более слабая осцилляция приурочена к интервалу 141–151 см и характеризуется падением численности холодноводного вида *Th. antarctica* (17–48%) и возрастанием численности тепловодного *Coscinodiscus spp.* (до 71%). Вторая, более существенная осцилляция отмечена в интервале 201–221 см и примечательна таким же изменением численности видов, а также резким скачком содержания вида *Roperia tessellata* (до 9%) в одном из образцов и исчезновением в разрезе

Navicula digitoradiata (Gregory) Ralfs. *R. tessellata* представляет собой самый тепловодный вид среди найденных в этой колонке и имеющих статистически значимую численность. Примечательно, что численность видов *Th. antarctica* и *Coscinodiscus marginatus* колеблется в противофазе друг с другом. Т.к. суммарно они составляют подавляющее большинство створок (около 80%), эти колебания демонстрируют смену комплексов в колонке.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 21-17-00235.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баширова Л.Д. Миграции Северного полярного фронта Атлантического океана по данным изучения комплексов планктонных фораминифер в течение последних 300 тыс. лет // Океанология. 2014. Т. 54. № 6. С. 844–854.
2. Jessen S.-P., Rasmussen T.L., Nielsen A. et al. A new Late Weichselian and Holocene marine chronology for the western Svalbard slope 30,000–0 cal years BP // Quaternary Science Reviews. 2010. V. 29. № 9–10. P. 1301–1312.
3. Tesi T., Muschitiello F., Mollenhauer G. et al. Rapid Atlantification along the Fram Strait at the beginning of the 20th century // Science Advances. 2021. V. 7. № 48. P. 1–10.

This work presents study of diatoms from bottom sediments of the core AMK 7063 GC (76° 59.808'N; 13° 06.620'W), obtained on the south western shelf of Svalbard. Diatom analysis has showed a typical for the area layer of diatom content maxima, timed to the period of the Early to Middle Holocene 11–4.2 ky ago and divided into two intervals: the relatively cool one from 11 to 8.2 ky with short-term coolings dated to 11 (the shift period), 10.3 and 9.6 ky ago, as well as the relatively warm and stable one from 8.2 to 4.2 ky ago.

Григорьев А.Г., Жамойда В.А., Буданов Л.М., Рябчук Д.В.

(Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»). С-Петербург, e-mail: Andrey_Grigiryev@vsegei.ru)

Использование брома как индикатора палеосолености донных отложений на примере Балтийского, Белого, Восточно-Сибирского и Берингова морей

Grigoriev A.G., Zhamoida V.A., Budanov L.M., Ryabchuk D.V.

(Federal State Budgetary Institution “A.P. Karpinsky Russian Research Geological Institute” (FGBU VSEGEI), St. Petersburg)

The use of bromine as an indicator of the paleosalinity of bottom sediments on the example of the Baltic, White, East Siberian and Bering seas

Ключевые слова: бром, хлор, палеосоленость, донные отложения, палеогеография, рентгенофлуоресцентный анализ.

Предлагается методика и приводятся примеры изучения палеосолености по определению брома. Соленость поровых вод и соответственно материала донных отложений в основном определяется концентрацией в них соединений хлора, составляющих приблизительно ($\text{NaCl}+\text{MgCl}_2$) 88.7% от общего состава содержащихся в них солей. Соотношение Cl/Br известно. Изучалось распределение брома по колонкам донных осадков.

В процессе своего развития акватории ряда современных морей и озер прошли несколько исторических стадий, попеременно представляя собой то связанную с океаном открытую морскую систему, то относительно пресноводную прибрежную или озерную систему, либо прибрежную часть суши. Изучение изменения солевого состава донных отложений в зависимости от времени т. е. по глубине исследуемых отложений позволит характеризовать палеогеографическую ситуацию на конкретном этапе развития акватории в пределах изучаемого участка.

Суть предлагаемой методики заключается в следующем: соленость поровых вод и соответственно материала донных отложений в основном определяется концентрацией в них соединений хлора, составляющих приблизительно ($\text{NaCl}+\text{MgCl}_2$) 88.7% от общего состава содержащихся в них солей. Во многих работах, в частности [1, 2] приводится эмпирическая формула, позволяющая пересчитать содержание хлора на общую соленость $S\% = 0.03 + 1.805 \text{ Cl}\%$. Элемент группы галогенов – бром может служить достаточно надежным индикатором степени солености поровых вод и донных отложений. Соотношение Cl/Br в иловых водах осадков для различных акваторий известно. Таким образом, расчетным путем может быть получено содержание Cl по вертикальному разрезу отложений. В

качестве примеров эффективности предложенного метода приводится ряд примеров определения палеогеографической обстановки для ряда шельфовых морей России.

Колонка POS303700 отобрана в Гданьской котловине Балтийского моря [3, 4]. Используя полученные данные о распределении концентрации брома по разрезу колонки и соответственно палеосолености условия существования бассейна можно разделить на существенно озерные и существенно морские. Границей, между ними, вероятно, следует считать отметку 549 см, соответствующую возрасту 7700 лет н., где отмечается скачкообразный рост солености от 2 до 9‰. Отложения Литоринового моря характеризуются четырьмя четкими пиками максимумов солености, обусловленными усиливающимся водообменном с океаном во время трансгрессивных фаз. Из четырех максимумов солености три приходятся на Атлантический период (At). Два из них датируются возрастом 6700 лет н. и 6475 лет н., а самый значительный максимум, датирующийся возрастом 5080 лет н., был достигнут во время климатического оптимума послеледниковья в At2. Последний четвертый максимум солености относится к нижнему суббореалу (Sb1) (4640 лет н.).

Станция 18-ВСМ-96 отобрана в открытой части Восточно-Сибирского моря [5]. Отложения нижней части колонки аккумуляровались в конце неоплейстоцена – начале голоцена в условиях опресненного бассейна. Отложения верхней части разреза накапливались в ходе морской трансгрессии. Изменение концентрации брома по разрезу и соответственно палеосолености отчетливо отражают периоды развития бассейна от существенно пресноводного до солоноводного периода трансгрессии. Станция 18-ВСМ-3 расположена в проливе Лонга [5]. Накопление отложений происходило, начиная с конца неоплейстоцена, в условиях относительно мелководного, существенно опресненного, полузамкнутого бассейна (лагуна или мелководный залив). По мере трансгрессии в начале голоцена влияние моря стало превалировать, что выразилось в повышении солености вод. Изменение концентрации брома по разрезу и соответственно палеосолености отчетливо отражают периоды развития бассейна от существенно пресноводного до солоноводного периода трансгрессии.

Станция 21БЕР-51 отобрана в Анадырском заливе Берингова моря. По уровню палеосолености разрез можно условно разбить на два интервала, значительно различающиеся между собой. Нижний – 55–168 см, и верхний 0–55 см. В пределах нижнего интервала расчетная палеосоленость имеет небольшие значения и ее распределение по разрезу донных отложений имеет достаточно равномерный пилообразный характер и слабо меняется в интервале от 0 до 1.2‰, с отдельными незначительными по амплитуде всплесками, разделенными слабовыраженными минимумами. В целом столь незначительные значения палеосолености отложений нижней части разреза позволяют предполагать, что осадки образовывались либо частично в

континентальных условиях, либо как отложения слабосоленых или пресноводных лагун на завершающем этапе последнего оледенения. Это частично подтверждается данными диатомового анализа, зафиксировавшего на интервале 41–65 см створки как морских, так и пресноводных диатомей. Возможно, локальные колебания значений солености отложений связаны с изменением условий накопления осадочного материала за счет некоторого колебания уровня моря и повышения солености вод лагун за счет затоков морских вод. Такое локальное увеличение палеосолености, в частности, фиксируется на интервале 75–107 см. Начиная с отметки 50–55 см, вверх по разрезу (верхний интервал) начинается интенсивный рост палеосолености донных отложений с 1.2 до 23.2%. Максимальное значение 23.2% зафиксировано в современных осадках на отметке 5–10 см. Очевидно, что столь значительное с высоким градиентом повышение палеосолености обусловлено мощной морской трансгрессией и осадки накапливались в морских условиях голоцена. Полученные результаты по верхней части разреза хорошо согласуются с данными диатомового анализа, говорящими о морских условиях осадконакопления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Knudsen M. Hydrographical Tables. G.E.C. Gad, Copenhagen. 1901. 63 pp.
2. Снежинский В. А. Практическая океанография (работы в открытом море). Л.: Гидрометеиздат, 1951. 559 с.
3. Григорьев А.Г., Жамойда В.А., Спиридонов М.А., Шарапова А.Ю., Сивков В.В. Новые данные по истории развития юго-восточной части Балтийского моря от позднеледниковья до современности // Региональная геология и металлогения. 2009. № 40. С. 103–114.
4. Grigoriev A., Zhamoida V., Spiridonov M., Sharapova A., Sivkov V., Ryabchuk D. Late-glacial and Holocene palaeoenvironments in the Baltic Sea based on a sedimentary record from the Gdańsk Basin // Climate Research, special 26: Environmental change and socio-economic response in the Baltic region. 2011. V. 48. № 1. P. 13–21.
5. Ryabchuk D.V., Sergeev A.Y., Budanov L.M., Zhamoida V.A., Nosevich E. S., Pushina Z.V., Grigoriev A.G., Neevin I.A., Bashirova L.D., Ponomarenko E.V., Prishchepenko D.V. New Data on the Geological Development of the Southern Part of the East Siberian Sea in the Late Pleistocene–Holocene // Oceanology. 2022. V. 62. P. 903–918. doi: 10.1134/S0001437022400041.

The technique is considered and examples for determining of the salinity of water paleobasins by the concentration of bromine in bottom sediments are given. The salinity of pore waters and, accordingly, of bottom sediments is mainly determined by the concentration of chlorine compounds in them, which make up approximately (NaCl + MgCl₂) 88.7% of the total composition of the salts containing in them. The Cl/Br ratio in seawater is known. The distribution of bromine along the cores of bottom sediments was studied.

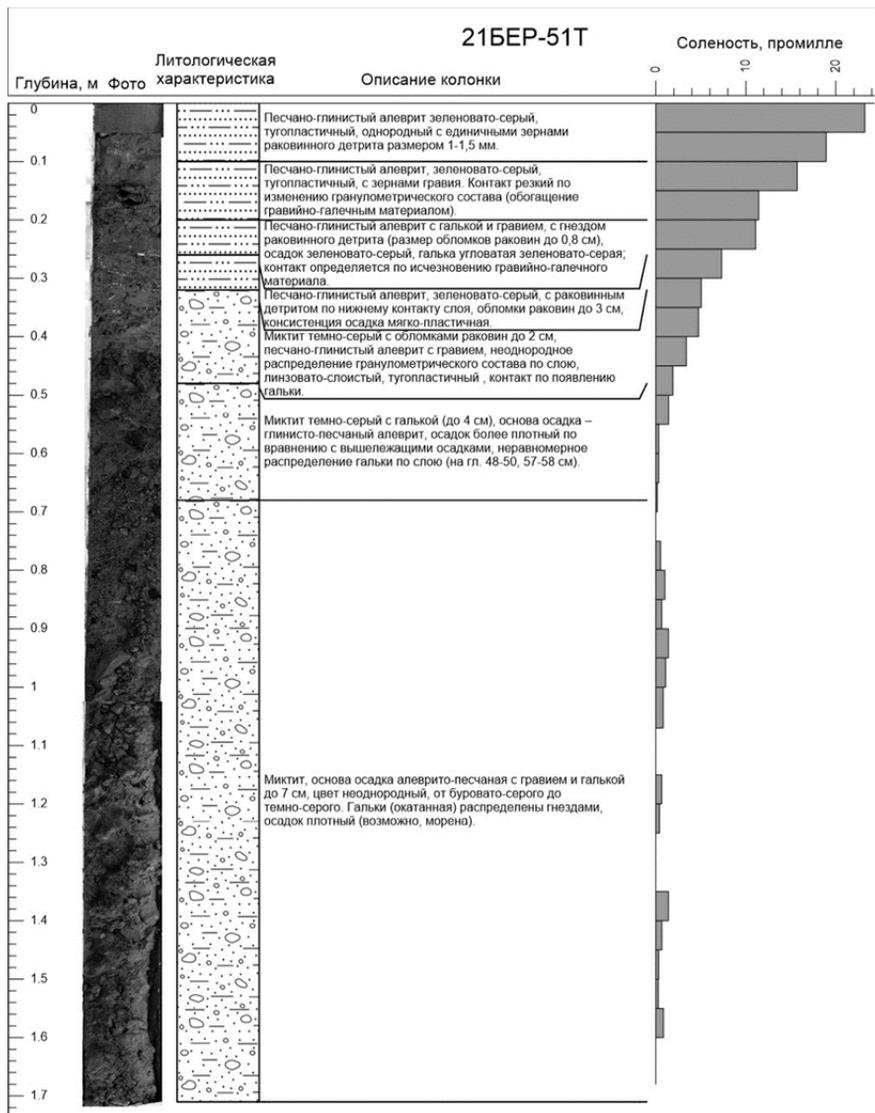


Рисунок. Расчетная палеосоленость Ст. 21БЕР-51

**Дорохова Е.В.^{1,2}, Сивков В.В.¹, Баширова Л.Д.^{1,2},
Кулешова Л.А.¹, Новичкова Е.А.¹**

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: zhdorokhova@gmail.com; ²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград)

**Изменчивость течения Северо-Восточной глубинной воды
вдоль восточного склона хребта Рейкьянес в голоцене**

**Dorokhova E.V.^{1,2}, Sivkov V.V.¹, Bashirova L.D.^{1,2},
Kuleshova L.A.¹, Novichkova E.A.¹**

(¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; ²Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad)

**Variability of the Iceland-Scotland Overflow Water flow along
eastern slope of the Reykjanes Ridge during the Holocene**

Ключевые слова: Северо-Восточная глубинная вода, дрейфт Гардар, голоцен, скорость придонного течения, гранулометрический анализ, сортируемый сilt, вейвлет-анализ

По средним значениям «сортируемого силта» в осадках дрейфта Гардар (глубина ~2500 м) выявлены голоценовые вариации контурного течения Северо-Восточной глубинной воды (СВГВ). Показано, что в позднем голоцене произошло не ослабление, а заглупление течения. Значительное его усиление произошло в последнюю тысячу лет. Обнаруженные 1500–1600-летние циклы изменчивости течения СВГВ согласуются с ранее выявленной климатической цикличностью. По значениям $\delta^{13}\text{C}$ отмечено увеличение доли вод Норвежского бассейна в СВГВ.

Перенос глубинных вод из Норвежско-Гренландского бассейна в Северную Атлантику играет не только принципиальную роль в глобальной циркуляции океана и изменении климата, но также влияет и на карбонатную систему Земли. Примерно половина объема этих вод поступает в Исландский бассейн через Исландско-Шотландский порог, где в виде контурного течения распространяется вдоль восточного фланга хребта Рейкьянес и формирует Северо-Восточную глубинную воду (СВГВ). Течение переносит осадочный материал с южного побережья и подводного склона Исландии и образует дрейфт Гардар. Палеорекострукции указывают на изменчивость скорости течения СВГВ в голоцене, но содержат при этом ряд противоречивых свидетельств. Целью нашей работы было уточнение сложившихся представлений по результатам изучения колонки АИ-3359 (59°29.89' с.ш., 24°42.11' з.д., длина 486 см, глубина 2517 м), отобранной в северной части дрейфта Гардар.

Радиоуглеродное датирование колонки было выполнено методом ускорительной масс-спектрометрии по планктонным фораминиферам *G. bulloides*. Для перевода датировок в календарные годы использовалась

морская калибровочная кривая Marine20 с учетом глобального резервуарного эффекта в 550 лет (программа Calib8.2) [1]. Возрастная модель построена в пакете CLAM4.0.4 программы R с использованием линейной интерполяции между датировками [2]. Гранулометрический анализ выполнен на лазерном дифракционном анализаторе SALD2300 (Shimadzu) с разрешением 1 см. Под воздействием придонных течений осадочные частицы подвергаются размерной сортировке, что делает гранулометрический состав осадков для косвенным показателем (проху) скорости палеотечений. Поскольку пелитовые частицы подвержены агрегированию, то используется среднее значение фракции 10–63 мкм, т.н. «среднее сортируемого сита» (\overline{SS}) [3]. Крупные частицы выпадают их спектра по мере удаления течения от источника взвеси. Это сокращает размерный интервал сортировки [4]. Поэтому для сравнения с другими колонками также проводилось нормирование данных \overline{SS} по его среднему для голоцена значению. Для выявления периодичности палеотечения был применен спектральный вейвлет-анализ \overline{SS} с использованием вейвлета Морле в программе QAnalySeries [5] и пакете WaveletComp [6] программы R.

В дополнение к параметру \overline{SS} в раковинах бентосных фораминифер *Epistominella exigua* с шагом 5 см были получены значения $\delta^{13}C$, которые являются гидрохимическим индикатором водных масс. Использование этого показателя позволило выполнить реконструкцию скорости придонного течения на фоне изменения свойств соответствующей водной массы.

Получены следующие основные результаты (рисунок).

1. Скорость осадконакопления в изученной колонке изменялась от 11 до 90 см/тыс. лет. Выраженные максимумы отмечены 10.0–9.5 тыс. л.н. и в последние 0.45–0.55 тыс. лет (начало малого ледникового периода).

2. Значения \overline{SS} варьировали в пределах 20–26 мкм. Ослабление течения СВГВ пришлось на интервалы 10.5–10.2; 9.3–7.6 и 2.9–2.5 тыс. л.н., а усиление – на интервалы 10.0–9.5; 6.0–5.4; 3.6–3.2; 1.1–0.5 и 0.3–0.1 тыс. л.н. Почти синхронные вариации были выявлены в колонке GS06-144 08GC, отобранной несколько выше, как по глубине (2081 м), так и по течению [7]. Только в отличие от нашей колонки в ней не было зафиксировано усиления течения в последнюю тысячу лет. Вместе с тем, такое усиление проявилось в колонке MD99-2251 [8], отобранной немного ниже по течению и на ~100 м глубже нашей колонки. Раннеголоценовые ослабления течения СВГВ связываются с эпизодами усиления дегляциации и распреснения вод, например 9.3–8.2 тыс. л.н. [9], а изменения течения в последние 8 тыс. лет – с изменениями теплового баланса Северной Атлантики, обусловленными Северо-Атлантическим течением [7].

3. Синтез данных \overline{SS} , полученных в ряде колонок с дрефта Гардар, показал заглублиение течения СВГВ от начала к середине голоцена с 1300 до 2200 м и последующее его замедление вплоть до настоящего времени [10]. Наши данные позволили увеличить диапазон рассматриваемых глубин и дополнить ранее полученную картину. Выяснилось, что на глубине ~2500 м течение СВГВ было хорошо выраженным с 6.5 до 2.5 тыс. л.н., а потом усилилось в последние 1.2–1.0 тыс. лет. Изменения \overline{SS} могут объясняться либо ослаблением скорости течения СВГВ, либо миграцией его стрежня [8]. В связи с недавно выявленной многоструйностью течения СВГВ [11, 12] возможно, что изменчивость \overline{SS} в колонках дрефта Гардар отражает не столько его временной тренд, сколько вертикальную миграцию его струй, располагающихся в настоящее время на глубинах около 1300–1500 м, 1800–2200 м и 2300–2750 м.

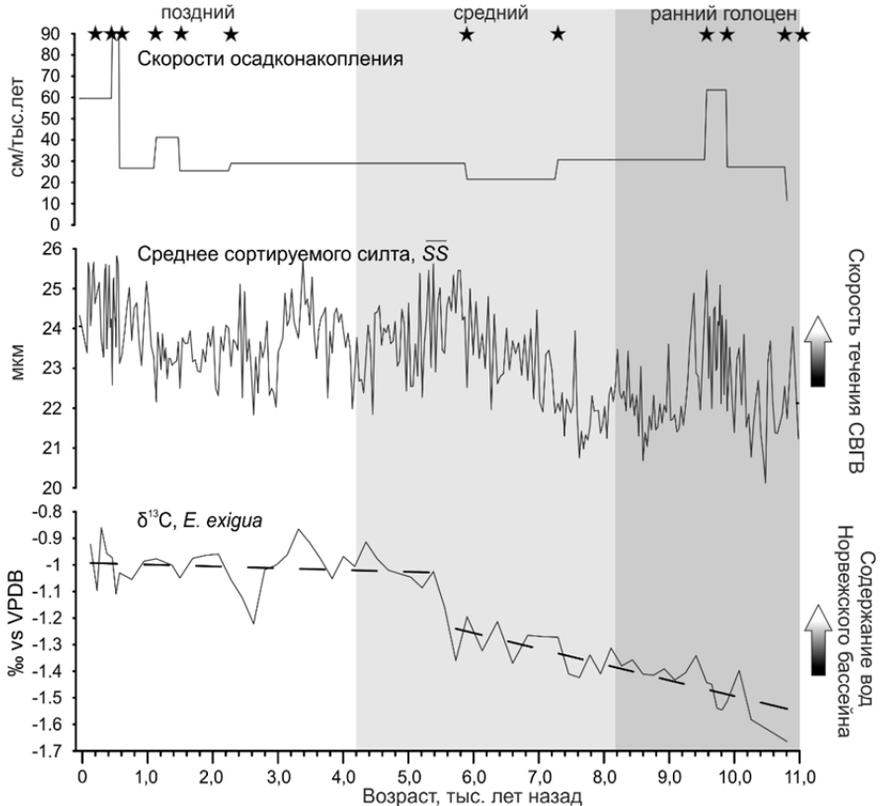


Рисунок. Изменчивость палеоокеанологических показателей в колонке АИ-3359. Звездочками обозначено положение радиоуглеродных датировок. Пунктиром показаны временные тренды $\delta^{13}C$.

4. По результатам вейвлет-анализа \overline{SS} получены как низкочастотные (1500–1600 лет), так и высокочастотные (100–300 лет) циклы изменчивости течения. Низкочастотные циклы согласуются с ранее выявленной в районе исследования цикличностью течения СВГВ с периодом 1–2 тыс. лет [7, 13] и укладываются в представления о влиянии солнечного излучения на климат Северной Атлантики в голоцене [14]. Вековые циклы среднего и позднего голоцена, вероятно, отражают кратковременные климатические изменения, также проявившиеся в Европейском регионе [15].

5. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в голоцене увеличились от -1.67 до -0.86% , но соответствовали СВГВ. В интервале 10.8–5.6 тыс. л.н. проявился положительный тренд $\delta^{13}\text{C}$. Это указывает на увеличение в СВГВ доли вод Норвежского бассейна, имеющих более высокие значения $\delta^{13}\text{C}$ по сравнению с водами южного происхождения [16].

Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 22-17-00170, <https://rscf.ru/project/22-17-00170/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heaton T.J. et al. Marine20 – The Marine Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55,000 cal BP) // Radiocarbon. 2020. V. 62. № 4. P. 779–820.
2. Blaauw M. Methods and code for “classical” age-modelling of radiocarbon sequences // Quat. Geochronol. Elsevier B.V, 2010. V. 5. № 5. P. 512–518.
3. McCave I.N., Hall I.R. Size sorting in marine muds: Processes, pitfalls, and prospects for paleoflow-speed proxies // Geochemistry, Geophys. Geosystems. 2006. V. 7. № 10. P. 1–37.
4. McCave I.N., Andrews J.T. Distinguishing current effects in sediments delivered to the ocean by ice. I. Principles, methods and examples // Quat. Sci. Rev. Elsevier Ltd, 2019. V. 212. P. 92–107.
5. Kotov S., Pálike H. QAnalySeries – a cross-platform time series tuning and analysis tool // AGU. 2018. P. 1.
6. Rösch A., Schmidbauer H. WaveletComp: Computational Wavelet Analysis // R Packag. version, 1.1. 2018. P. 1–38.
7. Mjell T.L. et al. Holocene multidecadal- to millennial-scale variations in Iceland-Scotland overflow and their relationship to climate // Paleoclimatology. 2015. V. 30. № 5. P. 558–569.
8. Hoogakker B.A.A. et al. Dynamics of North Atlantic Deep Water masses during the Holocene // Paleoclimatology. 2011. V. 26. № 4. P. 1–10.
9. Kissel C. et al. Variations in the strength of the North Atlantic bottom water during Holocene // Earth Planet. Sci. Lett. Elsevier. 2013. V. 369–370. P. 248–259.
10. Thornalley D.J.R. et al. Long-term variations in Iceland–Scotland overflow

strength during the Holocene // *Clim. Past.* 2013. V. 9. № 5. P. 2073–2084.

11. Гладышев С.В., Гладышев В.С., Кловиткин А.В., Гулев С.К. Новый взгляд на структуру водообмена между Арктикой и Северной Атлантикой в Исландском бассейне // *Доклады Академии наук.* 2019. V. 485. № 4. P. 502–506.

12. Johns W.E. et al. Moored Observations of the Iceland-Scotland Overflow Plume Along the Eastern Flank of the Reykjanes Ridge // *J. Geophys. Res. Ocean.* 2021. V. 126. № 8. P. 1–26.

13. Bianchi G.G., McCave I.N. Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland // *Nature.* 1999. V. 397. № 6719. P. 515–517.

14. Bond G. et al. Persistent solar influence on north atlantic climate during the Holocene // *Science.* 2001. V. 294. № 5549. P. 2130–2136.

15. Moffa-Sánchez P., Hall I.R. North Atlantic variability and its links to European climate over the last 3000 years // *Nat. Commun. Springer US.* 2017. V. 8. № 1. P. 1–9.

16. Curry W.B. et al. Changes in the distribution of $\delta^{13}\text{C}$ of deep water ΣCO_2 between the Last Glaciation and the Holocene // *Paleoceanography.* 1988. V. 3. № 3. P. 317–341.

Holocene variations of the contour current of the Iceland-Scotland Overflow Water (ISOW) are revealed according to the values of the mean sortable silt in the sediments of the Gardar drift (depth ~ 2500 m). It is shown that in the late Holocene there was not a weakening, but a deepening of the flow. Its significant strengthening has occurred in the last thousand years. The detected 1500–1600-year cycles of variability of the ISOW vigour are consistent with the previously identified climatic cyclicity. According to the values of $\delta^{13}\text{C}$, an increase of the Norwegian Sea waters in the ISOW is detected.

Клювиткина Т.С.¹, Полякова Е.И.¹, Новичкова Е.А.²

(¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, e-mail: t.klyuvitkina@mail.ru; ²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: enovichkova@mail.ru)

Реконструкции температуры и солености поверхностных вод юго-восточной части моря Лаптевых в голоцене по данным микропалеонтологического анализа

Klyuvitkina T.S.¹, Polyakova Ye.I.¹, Novichkova E.A.²

(¹Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow;

²Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Reconstruction of Sea Surface Temperature and Salinity in the Southeastern Part of the Laptev Sea During the Holocene Based on Micropaleontological Data

Ключевые слова: море Лаптевых, палеорекострукции, цисты динофлагеллят, диатомовые водоросли.

В сообщении представлены результаты реконструкций количественных значений средней летней солености и температуры поверхностных вод, выполненные по данным анализа микроводорослей (диатомей и цист динофлагеллят) в осадках колонки PS51/080-13, полученной в юго-восточной части моря Лаптевых. Установлены интервалы перераспределения стока по рукавам дельты р. Лены и эпизоды возможных похолоданий в среднем и позднем голоцене.

В современном рельефе дна моря Лаптевых выделяются несколько ориентированных на север погребенных речных палеодолин, которые были основными центрами седиментации в ходе постгляциальной трансгрессии, завершившейся здесь ~5 тыс. лет назад [1, 2 и др.]. Благодаря высоким скоростям осадконакопления, колонки донных осадков из этих палеодолин представляют уникальный материал для исследований изменений речного стока и климата в голоцене [3–5 и др.]. Одним из ведущих способов восстановить историю изменений морской среды и климата считаются микропалеонтологические методы. Среди них важную роль играет диатомовый анализ и анализ органических микрофоссилий. Накопленные данные по содержанию этих микроорганизмов в современных осадках и их корреляция с гидрологическими параметрами морских поверхностных вод позволяют выполнять количественные палеорекострукции, в первую очередь, температуры и солености морской воды [6–9 и др.].

Изученная колонка PS51/080-13 отобрана в 1998 г. в российско-германской экспедиции TRANSDRIFT-V на НИС «Полярштерн» в области внутреннего шельфа юго-восточной части моря Лаптевых, из восточной подводной долины р. Лены, к северо-востоку от устья Трофимовской протоки ее дельты, с глубины моря 21 м (рис. 1). Длина колонки составляет

190 см. Осадки представляют собой глину алевритистую, темно-серую, пятнистую, со светло-серыми линзами, включениями органического материала, пятнами сульфидов, фрагментами раковин моллюсков.

Возраст осадков определен с помощью ускорительной масс-спектрометрии ($AMS^{14}C$) в лаборатории имени Лейбница Университета г. Киль [5]. Получено четыре радиоуглеродных датировки. Радиоуглеродный возраст переведен в календарный с учетом поправки на региональный резервуарный эффект (370 лет). Согласно датированию, колонка PS51/080-13 соответствует последним 6.0–0.9 тыс. календарных лет (верхняя часть керна утрачена при пробоотборе).

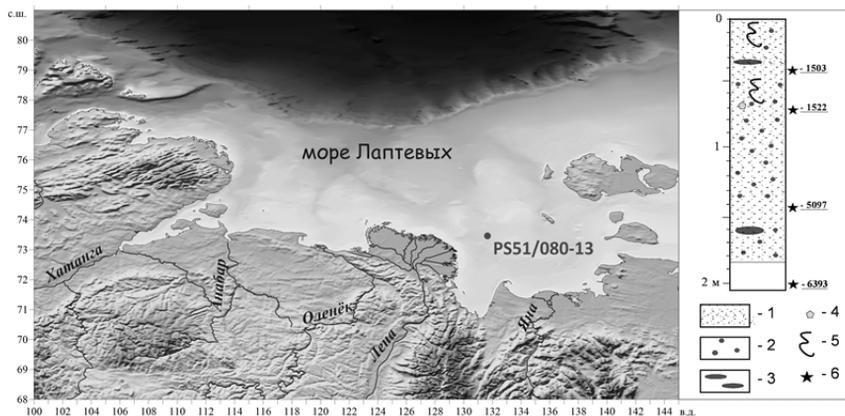


Рисунок 1. Местоположение колонки PS51/080-13 в море Лаптевых и литологическая схема разреза (1 – глина алевритистая, 2 – пятна органики, 3 – темноцветные линзы, насыщенные органикой, 4 – древесина, 5 – биотурбация, 6 – календарный возраст).

Пробы на анализ микроводорослей отбирались с интервалом 5 см, всего изучено 33 образца. После пробоотбора образцы были заморожены и высушены в условиях вакуума с использованием установки Martin Christ Alfa-4. Химическая обработка проб осуществлялась по общепринятым методикам [10, 11].

Ассоциации диатомовых водорослей в осадках колонки характеризуются высоким видовым разнообразием (около 230 таксонов) и обилием (до 770 тыс. створок/г), в сообществах диатомей постоянно присутствуют пресноводные речные виды (~40%), что говорит о непрерывном поступлении речных вод в данный район моря.

Органические микрофоссилии представлены, главным образом, морскими цистами динофлагеллят (500–3500 экз./г.) и пресноводными зелеными водорослями (0.3–2.1 тыс. экз./г), характерными для рек Сибири. Значения CD-критерия (отношение содержания в осадках зеленых

водорослей и диноцист) варьируют от 0.18 до 0.86, а в интервале времени от 4.5 до 2.8 тыс. лет назад стабильно держатся выше средних.

Палеосоленость для колонки PS51/080-13 (рис. 2) реконструирована на основе установленной корреляции между содержанием пресноводных диатомей в поверхностных осадках арктических морей и современной средней межгодовой летней солености поверхностных вод [7]. Полученные значения варьируют от 11 до 15 psu (в среднем ~13) за весь рассматриваемый интервал времени (6–0.9 тыс. лет). Заметное снижение

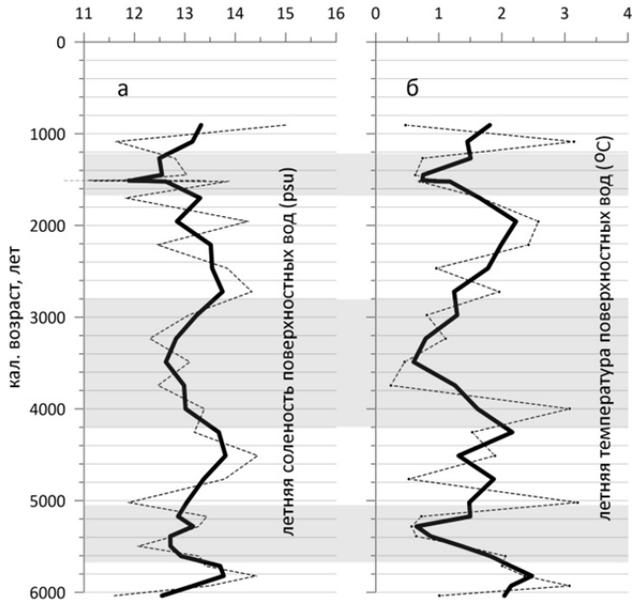


Рисунок 2. Результаты палеорекоstructions для колонки PS51/080-13: средняя летняя соленость поверхностных вод, реконструированная по диатомовым водорослям (а) и температура, реконструированная по диноцистам (б). Пунктирными линиями на графиках показаны полученные значения, сплошными – арифметическое скользящее среднее (n = 3). Цветом выделены интервалы снижения солености и предполагаемого усиления стока р. Лены через Трофимовскую и Быковскую протоки ее дельты [12, 13] и синхронных с ними относительных похолоданий.

солености (средние значения ~12.5 psu) установлено в интервале времени 4.2–2.8 тыс. лет назад, что отражает изменения интенсивности стока Лены в этот район (миграцию протоков в пределах ее дельты). Такой этап опреснения отчетливо прослеживается в это время не только в непосредственной близости к протоке Трофимовской (в изученной колонке PS51/080-13),

но также и в колонке PS51/092-12, расположенной далее к северо-востоку, на продолжении восточной погребенной долины р. Лены. Следует отметить, что в осадках колонки PM9482-2, отобранной к северу от дельты и находящейся под влиянием протоки Туматской, максимальные значения солености установлены в период до 2.7 тыс. лет назад. Подобные различия, отмеченные для двух районов внутреннего шельфа, прилегающих к дельте Лены, позволяют предположить увеличение интенсивности стока в восточном направлении через протоки Трофимовскую и Быковскую в период времени 4.2–2.7 тыс. лет назад и одновременное сокращение стока в северном направлении через протоку Туматскую [12, 13].

Палеотемпература поверхностных вод для осадков колонки PS51/080-13 впервые реконструирована по результатам анализа цист динофлагеллят. Реконструкции выполнены методом современных аналогов (Modern Analogue Technic; MAT) [8, 9, 14] с использованием пакета программного обеспечения bioindic для R и базы данных диноцист 2020 г. ($n = 1968$) [9]. Результаты показывают, что за время накопления осадков температура в данной точке варьировала от 0.2°C до 3.2°C. Это ниже современного значения в данной точке, которое, согласно Атласу Мирового океана (World Ocean Atlas), составляет 3.8°C. Такое расхождение объясняется сильным отепляющим влиянием стока р. Лены, который на несколько градусов повышает температуру воды в районах, прилегающих к дельте. Тем не менее, установлен интервал общего снижения температуры в интервале 4.0–2.8 тыс. лет назад. Кроме того, минимумы значений отмечаются в интервалах 1.2–1.8 тыс. лет назад и 5.2–5.4 тыс. лет назад.

Таким образом, новые реконструкции палеотемпературы поверхностных вод, выполненные по диноцистам, позволяют предположить, что эпизод перераспределения стока, реконструированный по палеосолености, возможно, имел место на фоне относительного похолодания в юго-восточной части акватории моря Лаптевых. Похожее похолодание с максимумом около 3.5 тыс. лет назад также устанавливается реконструкциями среднеиюльской температуры воздуха по комплексам хириноид из осадков оз. Николай-Кюель, расположенного в западной части дельты р. Лены [15].

Работа выполнена в рамках госзадания МГУ имени М.В.Ломоносова №121051100135-0 (микропалеонтологические исследования) и гранта РФ №21-17-00235 (количественные палеореконструкции).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kleiber N.P., Niessen F. Late Pleistocene paleoriver channels on the Laptev Sea shelf – implications from sub-bottom profiling // Land-Ocean Systems in the Siberian Arctic: Dynamics and History. Berlin, 1999. P. 635–656.
2. Mueller-Lupp T., Erlenkeuser H. et al. Changes in the deposition of terrestrial

organic matter on the Laptev Sea during the Holocene – evidence from stable carbon isotopes // *J. of Earth Sciences*. 2000. V. 89. P. 563–568.

3. Bauch H., Kassens H. et al. Depositional environment of the Laptev Sea (Arctic Siberia) during the Holocene // *Boreas*. 1999. V. 28. P. 194–204.

4. Kassens H., Bauch H.A., Dmitrenko I.A. et al. (eds) Land-Ocean system in the Siberian Arctic: dynamics and history. Berlin, Heidelberg. 1999. 711 p.

5. Bauch H.A. et al. Chronology of the Holocene transgression at the northern Siberian margin // *Global and Planetary Change*. 2001. V. 31. P. 125–139.

6. Rochon A., de Vernal A., Turon J.-L. et al. Recent dinoflagellate cysts of the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters // *AASP Contribution Series*. 1999. V. 35. 146 p.

7. Polyakova Ye.I. Diatom assemblages in the surface sediments of the Kara Sea (Siberian Arctic) and their relationship to oceanological conditions // *Siberian River Run-off in the Kara Sea: Characterization, Quantification, Variability, and Environmental Significance*. Amsterdam, 2003. P. 375–400.

8. de Vernal A., Rochon A., Fréchet B. et al. Reconstructing past sea ice cover of the Northern Hemisphere from dinocyst assemblages: Status of the approach // *Quaternary Science Reviews*. 2013. V. 79. P. 122–134.

9. de Vernal A., Radi T., Zaragosi S. et al. Distribution of common modern dinoflagellate cyst taxa in surface sediments of the Northern Hemisphere in relation to environmental parameters: The new n = 1968 database // *Marine Micropaleontology*. 2020. V. 159. P. 101796.

10. de Vernal A. et al. Micropaleontological preparation techniques and analyses. Notes prepared for students of course SCT 8245. Montréal, 2010. 32 p.

11. Глезер З.И., Жузе А.П. и др. Диатомей СССР. Л.: Наука, 1974. 403 с.

12. Polyakova Ye.I., Klyuvitkina T.S., Novichkova E.A. et al. High-Resolution reconstruction of Lena River discharge during the Late Holocene inferred from microalgae assemblages // *Polarforschung*. 2006. V. 75(2-3). P. 83–90.

13. Полякова Е.И., Клювиткина Т.С., Новичкова Е.А. и др. Изменения стока реки Лены в голоцене // *Водные ресурсы*. 2009. Т. 36(2). С. 1–11.

14. Guiot J., de Vernal A. Transfer functions: Methods for quantitative paleoceanography based on microfossils // *Proxies in Late Cenozoic Paleoclimatology*. Amsterdam: Elsevier Science, 2007. P. 523–563.

15. Andreev A., Tarasov P., Schwamborn G. et al. Holocene paleoenvironmental records from Nikolay Lake, Lena River Delta, Arctic Russia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004. V. 209. P. 197–217.

Based on the micropaleontological study of the core PS51/080-13, obtained in the shallow southeastern part of the Laptev Sea, in the area adjacent to the Lena Delta, the intervals of runoff redistribution along the branches of the delta and episodes of possible cold periods in the Middle and Late Holocene have been established.

Левитан М.А., Сыромятников К.В.

(Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва,
e-mail: m-levitan@mail.ru)

**Сравнительный анализ геохимических особенностей
плейстоценовых отложений Индийского и Атлантического
океанов**

Levitan M.A., Syromyatnikov K.V.

(Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow)

**Comparative analysis of geochemical peculiarities of Pleistocene
sediments from the Indian Ocean and Atlantic Ocean**

Ключевые слова: Индийский океан, Атлантический океан, донные осадки, плейстоцен, геохимия

Произведено сравнение масс элементов, средневзвешенного химического состава и абсолютных масс элементов в плейстоценовых отложениях Индийского и Атлантического океанов. Выявлены черты сходства и различия в составе осадков обоих океанов. Доказано существование больших абсолютных масс всех исследованных элементов в Атлантике во всех одинаковых типах отложений.

Своими работами А.Б. Ронов с соавторами внес значительный вклад в учение о химическом составе земной коры, указав на необходимость определения средневзвешенного химического состава. Итоговая работа в этом направлении была опубликована в 1990 г. [1].

Для определения средневзвешенного химического состава отложений какого-либо стратона в крупном регионе (или в океане, или на континенте, или глобально) необходимо предварительно проделать большую работу по составлению литолого-палеогеографических (или литолого-фациальных) карт. Затем эти карты следует обчитать, используя объемный метод [2]. В результате получается целый ряд количественных параметров данного стратона, среди которых необходимо отметить массы сухого осадочного вещества для каждой из закартированных литологических градаций и скорости их накопления (или, как называл их А.Б. Ронов, массы сухого осадочного вещества в единицу времени). Массы осадочного вещества используются для сравнительного анализа внутри анализируемого стратона (т.е. в пространстве), а скорости накопления – для сравнения с другими стратонами (т.е. по возрасту). После этого необходимо для каждого из изучаемых типов осадков (осадочных горных пород) рассчитать его средний арифметический химический состав. Наконец, на последнем этапе требуется умножить содержания элементов в среднем арифметическом химическом составе типа осадков на его массу. Тогда мы получаем массы элементов в данном типе осадков, а аналогичные данные по всем закартированным типам осадков дают в итоге средневзвешенный

химический состав для отложений изучаемого стратона.

Руководствуясь описанным подходом, М.А. Левитаном были получены данные по средневзвешенным массам плейстоценовых отложений Мирового океана [3]. Под плейстоценом при этом имелось в виду подразделение геологической шкалы, чьими границами служили 1.80 млн. лет и 0.01 млн. лет [4].

Затем мы провели работы по исследованию геохимических особенностей плейстоценовых отложений Индийского океана [5] и Атлантического океана. В последнем случае геохимический обзор еще не полностью завершен, однако мы сочли полезным представить даже предварительные результаты сравнительного анализа плейстоценовых отложений обоих указанных океанов на суд участников Международного совещания (Школы) по морской геологии 2023 г. в Москве.

Для каждого из океанов наша цель состояла в получении набора эталонных данных по средневзвешенному химическому составу, скоростям накопления и абсолютным массам химических компонентов. Для достижения этой цели было необходимо решить две задачи: составить базу данных и, на ее основе, рассчитать средний арифметический состав для каждого из исследуемых типов плейстоценовых отложений.

Фактическим материалом для нас служили, прежде всего, отчеты по рейсам глубоководного бурения с таблицами данных химических анализов. Необходимо отметить, что названия литотипов в указанных отчетах весьма часто не соответствуют действительности, и для выяснения истины было необходимо использовать не только материалы традиционных литологических описаний, но также и результаты изучения смер-слайдов, текстурно-структурных особенностей осадков, данные по гранулометрии и минералогии, а также, что особенно важно, результаты химических анализов (и прежде всего – содержания CaCO_3).

Критический анализ полученных данных выявил отсутствие необходимого количества сведений по химическому составу ряда осадков. Поэтому материалы глубоководного бурения были дополнены информацией из других литературных источников. Например, для Индийского океана важную роль сыграли работы [6] и [7]. Осадки Атлантики были дополнительно охарактеризованы, прежде всего, за счет материалов из книги [8]. Всего по Индийскому океану нами использовано около 2000 проб и 20000 элементоопределений, а по Атлантическому океану – более 2500 проб и примерно 20000 элементоопределений.

На этой базе получены средние арифметические составы для плейстоценовых отложений Индийского океана (пелагических и гемипелагических глин, терригенных турбидитов, морских песков и диамиктитов, кокколитовых и фораминиферово-кокколитовых илов и глин, бентогенных и карбонатно-обломочных карбонатов, диатомовых и диатомово-радиоляриевых глин и илов). Набор плейстоценовых отложений

для Атлантического океана несколько отличается. По сравнению с Индийским океаном из него выпали морские диамиктиты и диатомово-радиоляриевые илы и глины, но появились карбонатные турбидиты и вулканогенные отложения.

Для тонкозернистых бескарбонатных отложений обоих океанов мы построили спайдерграммы, нормировав средний арифметический химический состав на состав PAAS (Постархейских австралийских глинистых сланцев) по данным [9]. Основной вывод проведенного анализа – существование в обоих случаях терригенной матрицы как основы для большинства изученных типов осадков.

Плейстоценовые обломочные терригенные отложения были аналогичным образом сопоставлены с данными по среднему химическому составу УСС (верхней континентальной коры) по [10]. Удалось не только установить большое сходство океанических осадков и верхней части континентальной коры, но и специфику отдельных типов осадков, вызванную петрофондом их питающих провинций и различными соотношениями продуктов механического и химического выветривания.

Попарный сравнительный анализ позволил выявить интересные различия в относительно близких по составу отложениях. Корреляционный анализ дал возможность для каждого из океанов выделить набор геохимических ассоциаций и предложить их интерпретацию. Наконец, факторный анализ позволил на количественном уровне определить роль трех основных факторов седиментации: связанных с терригенным материалом, карбонатонакоплением и гидрогенной аккумуляцией.

Расчет средневзвешенных химических составов для обоих океанов дал возможность выйти на массы химических компонентов для каждого типа плейстоценовых отложений и в целом для плейстоцена Атлантики и Индийского океана. Так, для плейстоцена Индийского океана установлены следующие массы химических компонентов (в 10^{18} г): SiO_2 – min 1036,65; TiO_2 – 13,92; Al_2O_3 – 287,49; Fe_2O_3 – 137,69; MnO – 4,44; MgO – 62,56; CaO – 318,39; Na_2O – 33,61; K_2O – 53,58; P_2O_5 – 5,45; V – 0,192; Co – 0,054; Ni – 0,159; Cr – 0,200; Zr – 0,251; Y – 0,079 [5].

Плейстоцен Атлантики, по нашим данным, характеризуется следующими массами химических компонентов (в 10^{18} г): SiO_2 – min 1260,78; TiO_2 – 17,26; Al_2O_3 – 402,26; Fe_2O_3 – 213,66; MnO – 6,11; MgO – 87,11; CaO – 586,82; Na_2O – 58,70; K_2O – 63,37; P_2O_5 – 9,81; V – 0,261; Cr – 0,236; Co – 0,060; Ni – 0,130; Cu – 0,135; Zn – 0,179; Zr – 0,384, Ba – 0,967.

Таким образом, за исключением Ni , все остальные компоненты при сравнении показывают большие массы в Атлантике, чем в Индийском океане. Очевидно, что при таком сравнении необходимо учесть массы осадочного вещества в плейстоценовых осадках, т.е. выйти на средний химический состав плейстоцена обоих океанов.

В результате несложных вычислений получаем такие составы (в мас. %)

для Индийского океана: SiO_2 – 45,99; TiO_2 – 0,62; Al_2O_3 – 12,75; Fe_2O_3 – 5,91; MnO – 0,19; MgO – 2,69; CaO – 13,69; Na_2O – 1,49; K_2O – 2,38; P_2O_5 – 0,24; (в мкг/г): V – 84; Cr – 91; Co – 25; Ni – 70; Zr – 114; Y – 36.

Для плейстоцена Атлантики средний состав (мас. % для оксидов петрогенных элементов, мкг/г – для редких элементов) выглядит следующим образом: SiO_2 – 40,13; TiO_2 – 0,53; Al_2O_3 – 12,32; Fe_2O_3 – 6,54; MnO – 0,19; MgO – 2,67; CaO – 17,97; Na_2O – 1,80; K_2O – 1,94; P_2O_5 – 0,30; V – 83; Cr – 74; Co – 19; Ni – 41; Cu – 44; Zn – 58; Ba – 296; Zr – 122.

Таким образом, очевидно как большое сходство состава плейстоцена в обоих океанах, так и несколько большая карбонатность осадков Атлантики, повышенное содержание в них Na_2O , P_2O_5 , Zr. Соответственно, другие элементы обладают меньшим или сравнимым содержанием. Поэтому представляет интерес сравнение средних составов бескарбонатного вещества (бкв) плейстоцена рассматриваемых океанов. Выяснилось, что бкв плейстоцена Атлантики отличается повышенным содержанием оксидов полуторных элементов, P_2O_5 , V и Zr. Следовательно, можно предположить увеличенную роль в плейстоценовое время карбоната накопления, палеопродуктивности и поставки с континентов материала химического выветривания в бассейн Атлантического океана по сравнению с Индийским океаном.

Скорости накопления находятся делением соответствующих масс компонентов химического состава на 1, 79 млн лет, поэтому полученные таблицы по своей структуре ничем не отличаются от структуры распределения масс.

При рассмотрении распределения основных масс оксидов петрогенных элементов по типам плейстоценовых отложений в обоих океанах выяснилось, что везде преобладают терригенные турбидиты, кроме случаев P_2O_5 и MnO , когда в Атлантике на первом месте находятся вулканогенные отложения, и CaO в бентогенных отложениях. В Индийском океане достаточно четко выявились три типа распределения абсолютных масс: 1) преобладание терригенного материала; 2) ведущая роль карбонатного вещества; 3) особая роль MnO в пелагических глинах (Левитан и др., 2023).

Сравнение абсолютных масс оксидов петрогенных элементов во всех типах плейстоценовых отложений обоих океанов выявило большую интенсивность их аккумуляции в Атлантике. Скорее всего, эта закономерность обусловлена сочетанием большей поставки осадочного материала с континентов и большей палеопродуктивностью в плейстоцене Атлантики по сравнению с Индийским океаном. Выявленная относительно повышенная роль химического выветривания для плейстоцена Атлантического океана объясняется сочетанием большего значения тропического климата и отсутствием значимой связи с источниками терригенного материала в зонах развития наиболее интенсивных неотектонических горообразовательных движений на окружающих

Атлантику континентах в отличие от Индийского океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания ГЕОХИ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 183 с.
2. Ронов А.Б. История осадконакопления и колебательных движений Европейской части СССР (по данным объемного метода) // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. 1949. Т. 3. 136 с.
3. Левитан М.А. Плейстоценовые отложения Мирового океана. М.: РАН, 2021. 408 с.
4. Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004. 599 p.
5. Левитан М.А., Антонова Т.А., Домарацкая Л.Г., Кольцова А.В., Сыромятников К.В. Химический состав плейстоценовых отложений Индийского океана // Литология и полезные ископаемые. 2023. № 5. С. 423–444.
6. Лукашин В.Н. Геохимия микроэлементов в процессах осадкообразования в Индийском океане. М.: Наука, 1981. 184 с.
7. Мигдисов А.А., Мигдисов А.А., Бреданова Н.А., Гирин Ю.П., Щербаков В.С. Химический состав пелагических осадков экваториальной зоны восточной части Индийского океана // Важнейшие результаты Российско-Индийского сотрудничества в области океанографии по проекту “Трансиндоокеанский геотраверз” / Ред. В.С. Щербаков, В.Н. Живаго. М.: ГлавНИЦ. 2001. С. 203–269.
8. Емельянов Е.М., Лисицын А.П., Ильин А.В. Типы донных осадков Атлантического океана. Калининград. 1975. 579 с.
9. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.
10. Rudnick R.L., Gao S. Composition of continental crust // Treatise on Geochemistry. V. 3. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 1–64.

We compared masses of elements, mean weighted chemical composition, and mass accumulation rates of elements in the Pleistocene sediments of the Indian and Atlantic oceans. It was revealed similarities and differences in the chemical composition of both oceans. We proved that mass accumulation rates of all studied elements in the same types of sediments are higher in the Atlantic than in the Indian Ocean.

Лобачева Д.М.¹, Бадюкова Е.Н.¹, Фомин В.В.²

(¹МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, e-mail: lobachevadm@my.msu.ru; ²ГОИН (Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова), Москва)

Бэровские бугры Нижнего Поволжья: новый взгляд

Lobacheva D.M.¹, Badyukova E.N.¹, Fomin V.V.²

(¹Lomonosov Moscow state university, Moscow; ²GOIN (State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov), Moscow)

Bear knolls of the Lower Volga region: a new outlook

Ключевые слова: Бэровские бугры, нижнее Поволжье, Каспийское море, шоколадные глины, плейстоцен

Наиболее актуальными направлениями на данный момент являются изучение палеогеографических аспектов возникновения и эволюции бугров как форм рельефа, оценка возраста их формирования, а также механизмов накопления бугровой толщи. Определение местоположения палеорула Волги на основе геоморфологических данных, в особенности пространственного расположения и морфологии бэровских бугров. Актуальным вопросом за последние несколько лет стало изучение археологических раскопов и бурового материала, к примеру, в районе Семибугоринского археологического комплекса. Это позволило выделить несколько групп литофаций, отвечающих различным условиям осадконакопления на данной территории в период формирования хазарского поселения, что существенно помогает в реконструкции экологических условий существования поселений Волжской Хазарии. Также новым направлением в исследованиях данных форм рельефа стало математическое моделирование природных процессов, служащих агентами рельефообразования.

Как известно, бэровские бугры (ББ) привлекают к себе интерес исследователей уже более полутора века. Первые упоминания о буграх Бэра встречаются в работах С.Г. Гмелина [1], П.С. Палласа [2], путешествовавших по разным провинциям Российского государства и прилегающим соседним странам. Однако первое подробное описание морфологии и внутреннего строения гряд было составлено К.М. Бэр в 1853–1856 гг. во время его путешествия в южные провинции России с целью выяснения резкого падения улова рыбы в Прикаспии, а также оценке всех рыбных промысловых баз по всему Каспийскому морю от Астрахани до Куры [3]. Именно Бэр акцентировал внимание на особенностях распространения гряд и различия направлений ориентировки гряд — к крайней северной границе их распространения они имеют меридиональную ориентировку. Он также отмечал, что бугры как бы клином сходятся в Маньчский пролив, из чего сделал вывод о перетоке вод из Каспийского моря в Эвксин. Не оставляет без внимания и внутреннее строение гряд: отмечает неоднородность механического состава бугровой толщи (в

некоторых буграх содержание песка выше, увеличиваясь в буграх к юго-западу от дельты Волги), наличие обломков раковин и солей в толще. Бэр выражается категорически против эрозивной и эоловой гипотез происхождения бугров.

За это время накопился обширный объем литературы, посвященный данной теме, относящейся к палеогеографии и геоморфологии Каспийского региона [4–8 и др.]. Проблема заключается в том, что не во всех литературных источниках приведены точные данные о внутреннем строении, морфологии и прочих аспектах исследуемых форм. На основе имеющейся литературы был проведен анализ существующих точек зрения на генезис исследуемых форм. Существующие гипотезы происхождения ББ следует разделить на следующие группы: морские, эоловые, эрозивные, полигенетические и другие так называемые экзотические (тектоническая, криогенная, гравитационная). Причем каждая группа гипотез довольно часто включает в себя различающиеся между собой мнения исследователей, то есть каждый автор приводит свою точку зрения в рамках одной из групп. Однако нами были сгруппированы те или иные мнения в вышеупомянутые гипотезы для простоты восприятия и наглядности.

Одним из новых аспектов изучения бугров Бэра за последнее время стал археологический интерес к данным формам. Многолетние исследования ведутся в дельте Волги с целью поиска столицы Хазарского каганата. Полученные данные позволяют уточнить границы археологического объекта и предположить, что в окрестностях бугра Семибугры (Камызякский район) было поселение времен Хазарского каганата, и артефактов найдено столь много, что позволяет предположить здесь существование столицы — Итиль, а также достоверно доказать существование местного гончарного производства. Все это лишь благодаря археологическим работам в районе нескольких бэровских бугров в центральной части дельты. В 2021–2022 гг. были проведены совместные мультидисциплинарные экспедиции, посвященные археологическим поискам и выявлению геоморфологических и палеогеографических особенностей территории с отбором материала шурфов и скважин в районе бэровских бугров и окрестностей Семибугринского археологического комплекса. Выявлен ряд литофаций, подтверждающих динамическую смену обстановок осадконакопления в период существования хазарских поселений на данной территории. Основным полученный вывод заключается в том, что именно подъем уровня Каспийского моря в конце X века привел к формированию на участке Семибугринского археологического памятника крупного залива, что способствовало миграции населения в северные районы дельты р. Волги, тем самым ознаменовав завершение существования хазарского поселения на данной территории. Согласно данным [9] в середине X века произошло очередное наступление уровня Каспийского моря до отметок –24.5 м. Это имело катастрофические

последствия для жизни хазар в дельте Волги и, в частности, для данного поселения. В этот район позднее хазары более не возвращались.

Полученный археологический и геолого-геоморфологический материал, сформировал ряд задач, для которых необходимо проведение микропалеонтологического анализа, включающего палинологические (спорово-пыльцевой анализ) исследования. Палинологический анализ является основополагающим методом, для реконструкций изменений климата и растительного покрова на данной территории. Полученный материал позволит поэтапно проследить ландшафтно-климатическую динамику в условиях трансгрессивно-регрессивной ритмики Каспийского моря, а также установить связь с расселением человека и развитием хазарских поселений на данной территории. Также показательные результаты могут дать геофизические исследования с целью обнаружения культурных слоев, которые во времена наступления моря были перекрыты чехлом рыхлых отложений.

Одним из новых подходов к исследованию бугров Бэра стало математическое моделирование процессов их образующих при помощи модели Badlands – Basin & Landscape Dynamics. Учитывались различные процессы, такие как склоновые, флювиальные, вдольбереговые волновые течения, эффект от изменения климата, гравитационные течения. Тектонические процессы учитывались лишь косвенным образом. Область моделирования захватывала Нижнее Поволжье ниже абсолютной отметки высоты 0 м абс. Период моделирования составил 1000 лет. При отсутствии учета процессов, происходящих в морской акватории, значимых деформаций дна не наблюдается (ветровая эрозия, тектонические процессы) также не учитывается.

В качестве результатов получилось следующее. Учет волновых процессов позволяет воспроизвести вдольбереговые прибрежные течения, их интенсивности достаточно для переформирования рельефа дна. При опускании уровня моря, основное воздействие происходит в районе линии уреза, ее постепенное смещение приводит к изменению области воздействия и, соответственно, возможному, постепенному формированию бэровских бугров. Формы, ориентация гряд, будет зависеть от направления волнения, ориентации изобат дна, скорости (а также форме кривой) опускания уровня моря. На акватории возможны как аккумулятивные, так и эрозионные процессы, соответственно процесс не однонаправлен.

На данный момент выяснился ряд проблем, которые требуют дополнительных экспериментов. Ориентация воспроизводимых гряд далеко не во всей области соответствует наблюдаемой. Это может быть связано с некорректными глубинами, используемыми в качестве исходных для рассматриваемого периода по времени, возможно, глубины в морской части (изобаты) были расположены по-другому). Также на ориентацию влияет и задаваемый волновой климат (его направление, интенсивность).

На рассматриваемом масштабе по времени размеры гряд по вертикали составляют до 2–4 м, т.е. ниже наблюдаемых (если предполагать, что модель может давать обоснованные результаты, то, либо это не единственный процесс, ответственный за формирование бэровских бугров, либо необходимо изменять период моделирования/более точно учитывать климатические характеристики). В расчетах не учитываются течения, формируемые ветровым режимом (сейчас проводится анализ, возможно получится добавить соответствующую параметризацию в модель). В модели также не учитываются эрозионные ветровые процессы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гмелин С.Г. Путешествие по России для исследования трех царств природы. Ч. 2. СПб., 1777. 362 с.
2. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российского государства: Ч. 3, пол. 2. 1772 и 1773 годов / Перевод В. Зуева. СПб., 1788. 480 с.
3. Бэр К.М. Ученые записки о Каспийском море и его окрестностях // Записки русского геогр. общ-ва. 1856. Кн. 11. С. 181–224.
4. Православлев П.А. Каспийские осадки в низовьях р. Волги // Изв. центр. гидрометбюро. 1926. Вып. 6. С. 1–77.
5. Лобачева Д.М., Бадюкова Е.Н., Макшаев Р.Р. Литофациальное строение и условия накопления отложений бэровских бугров северного Прикаспия // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2021. № 6. С. 89–101.
6. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1997. 267 с.
7. Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Изд-во Московского ун-та, 2012. 264 с.
8. Свиточ А.А. Бэровские бугры Нижнего Поволжья. М.: Типография Россельхозакадемии, 2006. 160 с.
9. Якубов Т.Ф. Происхождение Бэровских бугров в Прикаспийской низменности // Труды ин-та географии АН СССР. 1952. Т. 51. С. 253–277.

The most relevant directions at the moment are the study of palaeogeographical aspects of the origin and evolution of hillocks as landforms, estimation of the age of their formation, and mechanisms of hillock accumulation. Determination of the location of the Volga River palaeoflow on the basis of geomorphological data, especially the spatial location and morphology of the Baer knolls. The study of archaeological excavations and drilling material, for example, in the area of the Semibugorinsky archaeological complex, has become a topical issue in the last few years. This allowed to identify several groups of lithofacies, corresponding to different conditions of sedimentation in this area during the formation of the Khazar settlement, which significantly helps in the reconstruction of environmental conditions of the existence of settlements of the Volga Khazaria. Mathematical modelling of natural processes serving as agents of relief formation has also become a new direction in the research of these landforms.

Маленкина С.Ю.

(Музей Землеведения МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: maleo@mail.ru)

Фосфатные столбчатые строматолиты долины р. Сухой Песчанки и среда их формирования

Malenkina S.Y.

(The Earth Science Museum at Moscow State University, Moscow)

Phosphate columnar stromatolites of the Sukhay Peschanka River and environments of their formation

Ключевые слова: столбчатые и пластовые строматолиты, юра, оксфорд, кимеридж, фосфориты, Приуралье

В Оренбургском Приуралье были изучены уникальные фосфатные пластовые и столбчатые строматолиты и тромболиты и смоделированы обстановки их формирования. Пластовые постройки формировались в условиях сублиторали, а столбчатые возникли на границе литоральной и сублиторальной зон в условиях похожих на современный залив Шарк-Бей.

Впервые в России (СССР) юрские строматолиты были описаны в 1989 г. в долине р. Сухой Песчанки, в 50 км к западу от г. Соль-Илецка, в зоне сочленения Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской синеклизы [1]. Первый раз разрез был изучен Д.Н. Соколовым еще в 1906 г. и уточнен в 1915 г. [2], позже, более детально, А.Л. Яншиным в 1932 г. [3], Д.И. Иловайским 1928–1931 гг. [4] и Н.П. Михайловым в 1964 г. [5]. Несмотря на то, что исследователи в качестве характерной особенности разреза отмечали наличие в нем слоя «веретеновидных вертикально ориентированных фосфоритовых конкреций», природу их они не объясняли. Лишь гораздо позже В.Н. Силантьевым данные образования были определены как столбчатые строматолиты, а ниже по разрезу выявлены пластовые строматолиты, первые из которых описаны достаточно подробно [1], а вторые вообще никак не охарактеризованы. Оба слоя залегают на песках келловая в составе оксфорд-кимериджской фосфоритоносной пачки (2 м). Их уникальность в том, что минеральной основой служат не карбонаты, как у большинства известных строматолитов, а фосфаты кальция, то есть они являются фосфатными песчаниками.

Летом 2008 г. мы исследовали их на правом склоне долины р. Сухой Песчанки, в ее среднем течении [6], где снизу вверх наблюдался следующий разрез:

1. Пески зеленовато-серые, мелкозернистые, неслоистые, биотурбированные, кварц-глауконитовые и глауконитовые, несколько глинистые неравномерно насыщенные округлыми желваками (1–10 см) песчанитых фосфоритов. Мощность слоя 0.3–0.45 м.

2. Нижний пластовый строматолитовый слой. Мощность 0.15–0.2 м.

3. Пески ожелезненные мелкозернистые биотурбированные кварц-глауконитовые с округлыми фосфоритовыми желваками (до 12 см), нередко слоистыми. Мощность 0.3–0.5 м.

4. Верхний строматолитовый слой, погруженный в такие же пески. Мощность 0.25–0.35 м.

5. Пески биотурбированные, глауконит-кварцевые, насыщенные серыми крупными и мелкими (3–10 см) округлыми фосфоритовыми желваками, неправильной формы, комковатого строения, пористыми, источенными сверльщиками. Мощность 0.6–1 м.

Слои переполнены различной макрофауной с карбонатным скелетом и фосфатными ядрами.

Строматолитовые постройки из нижнего слоя (оксфорд) по классификации М.Е. Раабен [7] относятся к пластовым. Они субгоризонтально слоистые, реже слабо волнистые, с выпуклыми вверх наслоениями, иногда развиваются некрупные тела пространственно разделенных полусфероидов, соединяющихся общими наслоениями. Нередки раздувы, утонения или выклинивания отдельных слойков, четко различающихся по цвету.

Строматолитовые постройки из верхнего слоя (верхний киммеридж по определению Н.П. Михайлова [5]) можно отнести к морфологическому типу столбчатых неветвящихся строматолитов [7]. Они представляют собой субцилиндрические вертикальные столбики диаметром 5–20 см, высотой 20–35 см, иногда с раздувами, с шероховатой бугорчатой, реже ровной гладкой поверхностью, четко отделяющиеся от вмещающего песка, включающего их фрагменты (размерами 1–6 см). Часто они срastaются своими основаниями и расположены на расстоянии 1–10 см один от другого. Сечения столбиков с четкой слоистостью, неравномерной толщины 0.1–1 см, подчеркнутой чередованием темных и светлых куполовидных слойков. Столбики насыщены макрофауной (белемниты, раковины двустворок и аммонитов с фосфатными ядрами) и венчаются пористой светло-серой «шапочкой» (тромболит) грибовидной формы (3–10 см), со сверлениями, комковато-слоистой текстурой и вертикальными бороздками.

Оба слоя прослеживаются на десятки метров и на 40–50% сложены скрытокристаллическим фосфатным веществом (карбонат-фторapatит), в различной степени ожелезненным и загрязненным тонкодисперсными включениями органического вещества и терригенным материалом, присутствуют нефосфатные минералы, среди которых преобладает глауконит (до 50%), размерами 0.05–0.2 мм. Терригенная примесь алевроитовой и мелкозернистой (редко более крупной) размерности, представлена в основном неокатанным кварцем (5–40%), реже полевыми шпатами, обломочками кремней, кварцитов и кварц-слюдяных сланцев. Среди биокластов преобладают спикулы губок, присутствуют скелетные элементы иглокожих. Также отмечаются известковые водоросли,

копролиты, редко радиоларии и фораминиферы. Отмечается микроритмичность: нижний ритм представлен светлым слоем, верхний – темным. В светлых строматолитовых слоях фосфатное вещество характеризуется светло-серым (в шлифах – светло-коричневым) цветом, заметно большим количеством пор, спикул губок и примесью зерен полупрозрачного кварца; в темных слоях оно темно-серого, коричневатого цвета (органика), более плотное и с меньшей примесью.

Анализ морфологического разнообразия изученных построек строматолитов, а также фациальных особенностей отложений дал возможность смоделировать обстановки их формирования. В среднеюрское время с юго-востока через Прикаспийскую синеклизу со стороны океана Тетис начала развиваться широкая трансгрессия, и данная территория оказалась на перегибе склона, вероятно, в оксфорд-кимериджское время здесь существовали локальные выступы рельефа, на которых и формировались строматолиты. Во время образования нижнего слоя, строматолитовые постройки формировались в достаточно тиховодных условиях сублиторали, на ровном стабильном субстрате, что обусловило их пластовую форму. Столбчатые строматолиты верхнего слоя, вероятно, возникли на границе литоральной и сублиторальной зон [8] в условиях периодически активной гидродинамики (наличие фрагментов), с существенными поставками терригенного осадочного материала, возможно эолового происхождения, поступающего в бассейн и отлагавшегося одновременно с нарастанием строматолитов. Обильный обломочный материал обуславливал разобщение строматолитовых построек, их столбообразную форму, что давало возможность ссыпаться кластическому материалу с постройки в промежутки между ними. Режим постепенного медленного погружения и постоянное поступление осадочного вещества благоприятствовало росту биогермов до определенного момента, затем оно прекратилось, вероятно, из-за резкого обмеления. При этом нормальные слои перестают откладываться, микроструктуры становятся комковатыми, пористыми с вертикальными бороздками, иногда происходит полное прекращение роста биогерма [8]. Это находит свое подтверждение в разрезе, где выше слоя столбчатых строматолитов венчающихся комковатыми «шапочками» наблюдаются многочисленные желваки аналогичного комковатого строения (также тромболиты).

Остается проблема фосфатизации строматолитов. Вероятнее всего, слои обоих слоев сразу после отложения фосфатизировались путем бактериально опосредованного осаждения аморфного фосфата кальция, поскольку морская вода резко недосыщена фосфатами. Процесс минерализации происходил синседиментационно или во время самой ранней стадии диагенеза сразу после деградации и переработки органического вещества отмирающего микробияльного мата, захваченных распадающихся макрофаунистических остатков нарастающим сверху

матом. Это увеличивало концентрацию фосфатов и других ионов в иловых водах, что приводило к пересыщению и осаждению аморфного вещества, в дальнейшем подвергавшегося раскristализации до микрокристаллитов апатита и более крупных кристаллов франколита. Вероятно, этому также благоприятствовали жаркий аридный климат (способствовавший повышению концентрации фосфатов во время отлива), близость относительно глубоководной части бассейна (Прикаспийской синеклизы) и связь с открытым океаном, что способствовало периодическим береговым апвеллингам.

В заключение можно сказать, что в экспозиции нашего музея на 26 этаже присутствуют два совершенно разных по морфологии образца столбчатых неветвящихся строматолитов, с тромболитовыми навершиями («шапочками»), из данного местонахождения привезенные автором (рис.). Один из них узкий вертикально вытянутый 32x8x9 см «веретеновидный» (ВФ 14825), а другой утолщенный 26x16x8 см с боковым выростом, представляющий собой полированный срез (ВФ 14826). Оба они невероятно похожи на строматолиты и тромболиты залива Шарк-Бей (Австралия) и это неслучайно, так как условия их формирования близки.

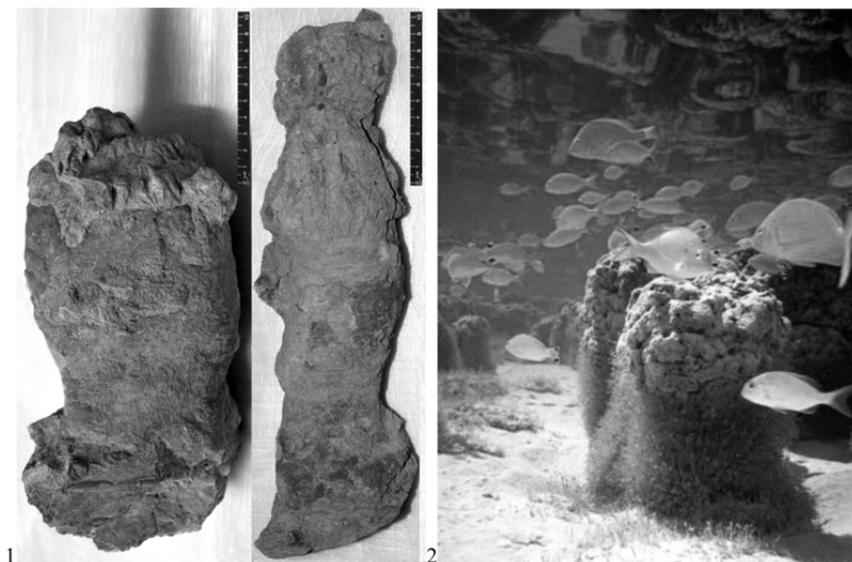


Рисунок. Столбчатые строматолиты: 1 – образцы ВФ 14826 (до распиловки) и ВФ 14825, 2 – современные из залива Шарк-Бей (Австралия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Силантьев В.Н. Фосфатные столбчатые строматолиты из верхней юры

Оренбургского Приуралья // Доклады АН СССР. 1989. Т. 308. № 5. С. 1197–1199.

2. Соколов Д.Н. Геологическое исследование залежей фосфоритов в южной части Оренбургского и смежных Уральского и Актюбинского уездов // Отчет по геологическому исследованию фосфоритовых залежей. Труды комиссии Моск. с.-х. ин-та по исследованию фосфоритов. 1918. Т. 8. С. 41–65.

3. Яншин А.Л. Рекогносцировочное обследование фосфоритовых залежей бассейна р. Сухой Песчанки, к западу от Илецкой защиты // Агрономические руды СССР. Труды НИУ. 1932. Вып. 100. Т. 1. Ч. 2. С. 3–14.

4. Иловайский Д.И., Флоренский К.П. Верхнеюрские аммониты бассейнов рек Урала и Илека // Материалы к познанию геологического строения СССР. М., 1941. Вып. 1. С. 7–195.

5. Михайлов Н.П., Густомесов В.А. Бореальные позднеюрские головоногие. М.: Наука, 1964. С. 5–88.

6. Маленкина С.Ю. Юрские строматолиты Восточно-Европейской платформы: новые местонахождения, морфология построек и среда их формирования // Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии: Третье Всероссийское совещание: научные материалы. Саратов: Наука, 2009. С. 129–132.

7. Раабен М.Е. Строматолиты // Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 52–58.

8. Reid R.P., James N., Macintyre I., Dupraz C., Burne R. Shark Bay stromatolites: Microfabrics and reinterpretation of origins // *Facies*. 2003. V. 49. № 1. P. 299–324.

Unique phosphate stratiform and columnar stromatolites and thrombolites were studied in the Orenburg Priuralie and the environments of their formation were modeled. Stratiform structures were formed in sublittoral conditions, and columnar ones arose at the border of the littoral and sublittoral zones in depositional environments similar to modern Shark Bay.

Маленкина С.Ю., Иванов А.В.

(Музей Землеведения МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: maleo@mail.ru)

**Проблема генезиса палеогеновых столбчатых
строматолитов местонахождения «Камышинские уши»**

Malenkina S.Y., Ivanov A.V.

(The Earth Science Museum at Moscow State University, Moscow)

**The genesis problem of paleogene columnar stromatolites at
the “Kamyshinskies ushi” location**

Ключевые слова: кремнистые столбчатые строматолиты, палеоцен, Поволжье

Близ г. Камышина Волгоградской области были изучены необычные неветвящиеся и ветвящиеся столбчатые строматолиты. Их минеральный состав мало отличается от вмещающих пород и состоит в основном из сцементированных оксидом кремния зерен кварца. Темные прослои значительно больше насыщены рудными включениями. Концентрация хрома, молибдена, вольфрама, ванадия, кобальта и никеля в темных разностях заметно возрастает, что подтверждает их строматолитовое происхождение.

Местонахождение строматолитов находится на северо-западной окраине города Камышина Волгоградской области. Здесь имеются три возвышенности (две горы так называемые «Уши» и «Лоб» или «Шишанка» – 174 м над уровнем моря, 30–40 м над окружающей местностью), сложенные песками и кварцитовидными песчаниками, образующими разнообразные тела в виде жил, даек, локальных массивов необычной структуры, разбитыми крупными трещинами. Этот объект давно широко известен, прежде всего, как уникальный палеоботанический памятник природы и сначала изучался с этих позиций (впервые прекрасно сохранившиеся отпечатки листьев отмечал еще Р.И. Мурчисон в 1845 г.; сегодня известно более 30 видов каштанодуба, магнолии, литсеи, калины, оксикарпии, девальквеи и других форм). Позже изучение условий образования кварцитовидных тел было проводилось группой сотрудников Саратовского государственного университета под руководством чл.-корр. РАН Г.И. Худякова [1] и одновременно коллективом сотрудников Геологического института РАН в середине 1990-х гг. [2]. Они предположили, что формирование горизонта с растительными остатками и цементация пород кремниевым гелем были синхронны, поскольку макрофитофоссилии в песчаниках были без признаков переотложения, а процесс окремнения пород протекал в результате разгрузки насыщенных кремнеземом растворов либо в субаэральных, либо в мелководно-морских условиях литорали. Начиная с 2000-го г. по настоящее время исследованием массивов камышинских кварцитовидных песчаников активно занимались саратовские геологи [3, 4]. В результате проведенного изучения А.В.

Иванов интерпретировал их как ископаемые стириолитовые (кремнистые водорослево-бактериальные) постройки – разновидность строматолитов, хотя и уточнил, что изначальность кремнистого состава строго не доказана [3]. Наличие строматолитов в песчаниках также свидетельствует о мелководно-морских обстановках литорали или сублиторали. Они же были описаны волгоградским исследователем к.г.н. А.А. Ярковым как окаменевшие биогермы *Filiformis giganteus*, относимым им к особой разновидности багрянок (*Zarizinlaminata*) [5].

Этим летом в рамках комплексной научно-просветительской экспедиции «Флотилия плавучих университетов» 2022 г. нами были произведены дополнительные исследования этой территории, подтверждающие ранее сделанные выводы о наличии строматолитов в пределах одного «Уха» и «Шишанки» (на восточном «Ухе» строматолиты нами не обнаружены). Светло-серые кварцевые пески, по которым сформировались кварцитовидные песчаники в виде неправильных тел, имеют мощность 30–35 м и залегают пластообразно в пределах камышинской свиты, в которой встречаются палеоценовые растения. Она четко выделяется в разрезах волжского палеоцена, поскольку с размывом залегают на отложениях сызранской свиты и с размывом перекрывается толщей пород пролейской свиты. По данным Г.П. Леонова [6], в основании камышинской свиты прослеживается слой конгломерата с обилием зубов акул. Разрез свиты заканчивается сыпучими, часто косослоистыми кварцевыми песками и кварцитовидными песчаниками, содержащими остатки растений камышинского комплекса (в них заключены отпечатки листьев и обломки древесины). Слой гравийно-галечных базальных конгломератов мощностью 0.6 м залегают на глубине 20–25 м.

На западном «Ухе» наблюдается рифовый массив по западной периферии и единичные столбы в других частях. Массив содержит многочисленные строматолитовые постройки четко выделяющиеся своим более темным цветом, нередко с ржаво-бурыми из-за ожелезнения оттенками, на фоне светлых песчаников. На «Шишанке» – наибольшее представительство и разнообразие форм. Практически вся вершинная поверхность этой возвышенности представляет собой единый рифовый массив.

Чаще всего их можно отнести к морфологическому типу столбчатых неветвящихся строматолитов [7], реже попадаются ветвящиеся строматолиты, веерообразно расходящиеся (рисунок). Один из них зафиксирован на западном «Ухе», высотой около 2 м, другие два на «Шишанке» – 0.5 м и около 2.5 м. Неветвящиеся строматолиты представляют собой субцилиндрические вертикальные столбики различного размера: редкие столбики диаметром первые сантиметры относительно невысокие, подавляющее большинство среднего размера – диаметром 10–20 см не превышающие 1–1.5 м и редкие единичные диаметром 30–50 см

высотой 1–2.5 м. Обычно столбики располагаются субпараллельно друг другу на расстоянии нескольких сантиметров один от другого.



Рисунок. Столбчатые строматолиты «Шишанки».

Сечения столбиков часто с четкой слоистостью неравномерной толщины, подчеркнутой чередованием темных и светлых куполовидных слоев. Иногда она затушевывается окварцеванием, видимо более поздним, от строматолитов остаются лишь тени. Вообще степень окварцевания очень различается в пределах одного массива. В некоторых случаях она примерно одинакова в строматолитах и вмещающем песчанике, в этом случае границы между ними несколько расплывчаты с зазубренным краем. Часто вмещающая порода окварцована сильнее, еще чаще наиболее окварцованы стенки, непосредственно примыкающие к строматолитам. Иногда очень заметен контраст плотности вмещающей породы, стенок и менее плотных строматолитовых столбиков – при выветривании они разрушаются несколько быстрее, образуя западины на поверхности скал. Более сильное окварцевание отчетливо выделяется более светлым цветом. Слоистость в настоящее время выражена, вероятно, в основном лишь различной степенью ожелезнения.

Предыдущими исследованиями [4] показано, благодаря результатам рентгенодифракционного минералогического анализа, что минеральный состав кварцитовидных песчаников мало отличается от неизмененного кварцевого песка. Важно отметить, что данным методом анализа опаловидных (рентгеноаморфных) форм кремния выявить не удалось. Весь

оксид кремния идентифицируется как кварц. Изучение под микроскопом шлифов, изготовленных из отобранных проб кварцитовидных песчаников, показало, что размер зерен кварца в породе колеблется от 0.2 до 1.7 мм, иногда наблюдаются признаки сортировки. Зерна окатаны с сохранившимися следами угловатости. Пористость колеблется 0.1 до 1%. Цемент заполнения представлен только оксидом кремния, иногда с незначительной регенерацией зерен кварца за счет их обрастания новообразованным кварцевым агрегатом. В отдельных случаях установлены микростилолитовые контакты между зернами кварца, характеризующиеся проникновением обломков друг в друга по сложной зубчатой сутурной границе. Иногда в цементе встречаются редкие округлые (вероятно, биоморфные) выделения пирита. Исследование на электронном микроскопе с микрозондом рудных фаз показало, что темные разности песчаников значительно больше насыщены рудными включениями. Среди идентифицированных включений выявлены преимущественно восстановленные формы железа, формы, сочетающие железо, хром и никель, а также меди и олова; в явно подчиненном количестве присутствуют окислы железа и сульфиды железа, мышьяка и меди. Светлая разновидность песчаника состоит лишь из слабо (точно) сцементированных частиц кварца. Стенки, примыкающие к строматолитам, представлены почти монокристаллическим кварцитом, поры которого заполнены новообразованными микрокристаллическими агрегатами кварца. В составе микроэлементов изменения в кварцитовидных песчаниках заметно выражены только в темных плотных разностях по хрому, молибдену, вольфраму, ванадию, кобальту и никелю. Концентрация этих элементов в темных разностях резко возрастает (по Cr – на три порядка, по Mo и W – на 2 порядка, по Co и V – на порядок), что подтверждает их строматолитовое происхождение.

Возможна сопряженность роста строматолитов с функционированием системы флюидоразгрузки [4], хотя по некоторым признакам нам представляется, что первоначально при формировании строматолитов не было такой степени окварцевания, какая наблюдается в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Худяков Г.И., Ахлестина Е.Ф., Букина Т.Ф. Палеогидротермальные проявления в Нижнем Поволжье // Структура и эволюция минерального мира: Материалы Международного минералогического семинара. Сыктывкар, 1997. С. 166–167.
2. Муравьев В.И., Цеховский Ю.Г., Каледа К.Г., Бабушкин Д.А., Суворов А.И. Процессы окремнения в палеогеновых песчаниках Восточно-Европейской платформы // Литология и полезные ископаемые. 1997. № 2. С. 150–162.
3. Иванов А.В. Палеоэкологические особенности кайнозойских гидротерм

Нижнего Поволжья // Козволюция геосфер: от ядра до Космоса. Мат-лы Всерос. конф. памяти чл.- корр. РАН Глеба Ивановича Худякова. Саратов: Изд-во СГТУ, 2012. С. 269–272.

4. Паничев А.М., Иванов А.В., Чекрыжов И.Ю., Яшков И.А., Иванов В.В. Геохимические особенности кремнистых и кремнисто-карбонатных метасоматитов в меловых и палеогеновых отложениях Нижнего Поволжья // Жизнь Земли. 2021. Т. 43. № 1. С. 4–19.

5. Ярков А.А. Водоросли океана Тетис Волгоградской области // Стержень. 2008. Вып. 6. С. 91–113.

6. Леонов Г.П. Основные вопросы региональной стратиграфии палеогеновых отложений Русской плиты. М.: Изд-во Московск. ун-та, 1961. 552 с.

7. Раабен М.Е. Строматолиты // Бактериальная палеонтология. М.: ПИН РАН, 2002. С. 52–58.

Unusual non-branching and branching columnar stromatolites were studied near the city of Kamyshin, Volgograd region. Their mineral composition differs little from the host rocks and consists mainly of quartz grains cemented by silicon oxide. Dark layers are much more saturated with ore inclusions. The concentration of Cr, Mo, W, V, Co and Ni in dark varieties increases noticeably, which confirms their stromatolite origin.

Малышева Е.Н.

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Дальневосточный геологический институт Дальневосточного Отделения Российской Академии Наук, г. Владивосток, e-mail: rumbum@yandex.ru)

Органогенная постройка горы Голубиная (Южное Приморье) и ее литолого-палеоэкологическая характеристика

Malysheva E.N.

(Federal State Budget Institution of Science Far East Geological Institute of FEB of RAS, Vladivostok)

Organogenic structure of Mountain Golubinaya (Southern Primorye) and its lithological and paleoecological characteristics

Ключевые слова: органогенная постройка, литотипы, палеосообщества, банка, биостром, биогерм.

Проведено микроскопическое изучение известняков органогенной постройки горы Голубиная, выделены их литотипы, соответствующие трем генетическим типам: биогенные, биохомогенные и механогенные. Выявлены структуры органогенной постройки, соответствующие трем этапам ее развития: банка, биостром, биогерм.

Гора Голубиная расположена на правом борту р. Артемовка в Шкотовском районе вблизи с. Многоудобное, представляет собой изолированный массив куполовидной формы с овальным основанием площадью 400 × 200 м (рисунок). Возраст отложений датируется по фауне фораминифер как мидийско-джульфинский (определение А.П. Никитиной [2]), по современным данным – как кепитенско-вучапинский [1].

Микроскопическое изучение верхнепермских известняков в рассматриваемом обнажении позволило выделить литотипы известняков, соответствующие трем генетическим типам, для каждого из которых характерен свой механизм образования: биогенные, биохомогенные и механогенные. В таблице приведена классификация известняков, в которой использованы принципы, изложенные М.С. Швецовым [4].

Биогенные известняки образовались в результате жизнедеятельности прикрепленных организмов, остатки которых после их гибели сохраняются на месте обитания, часто в прижизненном положении. Для них в пределах массива Голубиная характерны высокое разнообразие организмов-породообразователей, светлая окраска, массивность, биогенная слоистость, текстурная неоднородность. Распределение организмов по массиву неравномерно-пятнистое. В составе биогенных известняков различаются цельноскелетные и детритовые литотипы (таблица).

Среди цельноскелетных выделены биогермные и цельнораковинные

известняки.

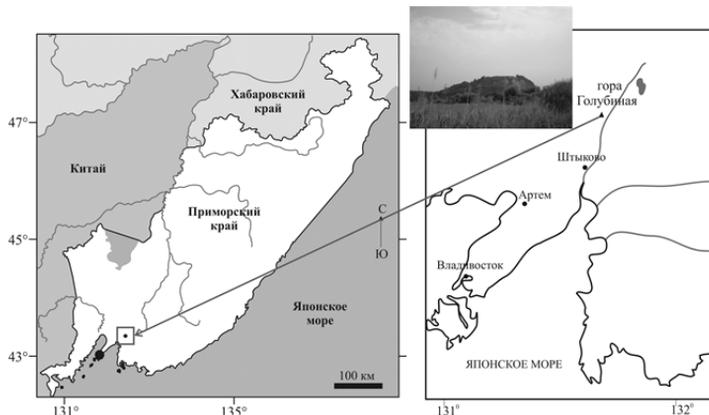


Рисунок. Схема расположения г. Голубиная по [3] с дополнениями.

Таблица. Генетические типы известняков г. Голубиная.

Генетические группы отложений	Литологические разновидности	
Биогенные	Цельносkeletalные	Биогермные: – мшанковые, – водорослево-криноидно-мшанковые, – водорослево-криноидно-фузулинидовые, – биокластово-микробийные, – микробийно-водорослевые, – политаксонные Цельнораковинные: – фузулинидовые
	Детритовые	– крупнодетритовые – шламовые
Биохомогенные	– мшанково-фораминиферово-сугликовые, – пелитоморфные, – тонкозернистые	
Механогенные	органогенно-обломочные	

К биогермным известнякам относятся мшанковые, водорослево-криноидно-мшанковые, водорослево-криноидно-фузулинидовые, биокластово-микробийные, микробийно-водорослевые и

политаксонные различия.

Мшанковые известняки встречаются в средних и верхних частях массива в виде разных по величине участков, измеряемых десятками метров. Они светло-серые с темными пятнами, содержат фрагменты мшанок, часть из которых находится в прижизненном положении, а между ними скапливается мшанковый детрит.

Водорослево-криноидно-мшанковые известняки – наиболее распространены и слагают крупные тела размером в десятки метров, а также встречаются гнездами в средней части массива. Они серые, с темной пятнистостью, содержат остатки водорослей, мшанок, криноидей, примерно в равных пропорциях, цементированные крустификационным и спаритовым цементом.

Водорослево-криноидно-фузулиновые известняки образуют пачки мощностью 8–12 м и расположены в средней и нижней частях массива. Они представлены серыми и темно-серыми массивными известняками, состоящими из фрагментов водорослей, криноидей, фораминифер.

Биокластово-микробийные известняки состоят из органических остатков, цементированных крустификационным и спаритовым цементом. Органический материал представлен микробийными пелоидами на 50%, остальная часть породы представлена биокластами состоящими из обломков брахиопод, мшанок, водорослей, фораминифер и остатками неопределимых организмов. Известняки пористые имеют светло-серую окраску.

Микробийно-водорослевые известняки – серые и светло-серые, образованные органическими остатками, цементированными кальцитовым цементом. Органические остатки представлены пелоидами (50%), водорослями (20%), мшанками (10%). Брахиоподы, фузулины, криноидеи, моллюски составляют всего 20%.

Политаксонные известняки состоят из сочетания крупных остатков мшанок, водорослей, фораминифер, кораллов, двустворчатых моллюсков, остракод, среди которых трудно выделить главенствующие организмы. Они распространены в верхней части массива.

Среди цельнораковинных выделены фузулиновые известняки. Они представлены темно-серыми, плотными разностями образованными скоплениями раковин фузулинид. Процентное содержание фузулинид составляет 75%. Встречаются в основании массива большими пачками, мощностью 10–15 м. В средней и верхней частях массива образуют гнезда.

Детритовые известняки сложены обломками скелетных организмов. В зависимости от крупности обломочного материала и степени его окатанности подразделяются на крупнодетритовые и шламовые.

Крупнодетритовые известняки плотные светло-серые до черных, сложенные обломками рифостроящих организмов и почти целиком раковинами моллюсков, фораминифер, цементированными

пелитоморфным кальцитом составляющим более половины породы и образуют гнезда.

Шламовые известняки плотные однородные от светло-серых до черных разностей, сложены мелкими обломками неопределимых организмов, сцементированных кальцитом. Известняки образуют линзы среди других известняков. Размеры линз от 5 до 15 см. Иногда в шламовых известняках встречаются фораминиферы и остракоды. В известняках отсутствуют рифостроящие организмы.

Биохемогенные известняки образовались благодаря совместному действию бактерий, водорослей, животных и химических процессов. Среди них выделены мшанково-фораминиферово-сгустковые, пелитоморфные и тонкозернистые литотипы.

Мшанково-фораминиферово-сгустковые известняки характеризуются наличием комочков пелитоморфного кальцита. Комочки овальной и эллипсоидной формы. Контурсы расплывчатые, иногда окружены светло-серой каемкой. Часто встречаются в верхней части постройки.

Пелитоморфные известняки встречены в южной части постройки, представлены темно-серыми породами, состоящими из пелитоморфной массы на 90%, в которой рассеян биокластовый материал, представленный мелкими, неокатанными обломками криноидей, мшанок, фузулинид, водорослей, остракод.

Тонкозернистые известняки – однородные темно-серые, с незначительным количеством органических остатков. Они образуют прослои среди других типов пород (шириной от 1 до 15 см), а также выполняют пустоты в породах.

Среди механогенных известняков выделены органогенно-обломочные литотипы. Они имеют широкое распространение, встречаются прослоями и линзами размером от 10 см до 5 м. Эти известняки пятнистые, светло-серые до темно-серых оттенков, на 60% состоящие из обломков мшанок, губок, водорослей, кораллов, фораминифер, криноидей, брахиопод.

Судя по строению массива, отчетливо различаются три стадии его развития: (1) банка, (2) биостром и (3) биогерм [3].

На первой стадии сформировался фундамент органогенной постройки (фация банки). Он представлен темными, почти черными фузулинидовыми известняками мощностью от 2 до 15 м. В верхней части этих образований кроме фораминифер встречаются скелетные остатки брахиопод, иглокожих, мшанок, одиночные кораллы.

Вторая стадия развития соответствует образованию небольших каркасных построек (калиптров и бистромов). Форма калиптров округлая и куполовидная, размеры варьируют от 2 до первых десятков сантиметров. Сложены они в основном мшанками. При жизни это были небольшие купола, в промежутках между ними скапливался детритовый материал, состоящий из обломков мшанок, водорослей, фораминифер. Известняки

второй стадии обычно серые, глинистые. Биостромы изометричной или линзовидной формы появляются выше по разрезу, мощностью – от первых десятков сантиметров до 3 м в диаметре, протяженность до 15 м. Прижизненная форма биострома – подводная заросль.

Во время третьей стадии развития формировался биогермный массив. Средняя часть постройки сложена простыми биогермами различной формы и размеров. Наиболее крупные биогермы, мощностью до 12 м, развиты в центральной части постройки, мелкие (3–5 м) обычны для краевых частей. В составе биогермов преобладают каркасные известняки, содержащие большое количество остатков кораллов, губок, мшанок, брахиопод, водорослей.

Анализ полученных результатов позволяет предположить, что органогенная постройка горы Голубиная формировалась в пределах слабоподвижной зоны в непосредственной близости от берега. Генезис этой постройки по текстурным, структурным, экологическим характеристикам определяется как биогерм. Данная органогенная постройка прошла три стадии своего развития, от банки до биогерма, и сохранила свою первичную целостность.

Выражаю благодарность к.г.-м.н. Т.А. Пуниной за помощь и поддержку на всех этапах исследования. Работа выполнена в рамках темы НИР – № 0270-2016-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котляр Г.В. Пермские отложения Южного Приморья – ключ к прослеживанию ярусных подразделений международной и общей стратиграфических шкал // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 4. С. 19–38.
2. Никитина А.П. Биостратиграфия верхнего палеозоя Приморья по фузулинидам // Вопросы бистратиграфии Советского Дальнего Востока. Владивосток: ДВГИ, 1974. С. 5–18.
3. Пунина Т.А., Малышева Е.Н. Литолого-палеоэкологическая характеристика верхнепермской органогенной постройки горы Голубиная, южное Приморье // Вестник ДВО РАН. 2021. № 2. С. 20–27.
4. Швецов М.С. Петрография осадочных пород. 3-е изд., перераб и доп. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 416 с.

A microscopic study of limestones of the organogenic construction of Mountain Golubinaya was carried out, their lithotypes corresponding to three genetic types were identified: biogenic, biochemogenic and mechanogenic. The structures of organogenic construction corresponding to three stages of its development are revealed: bank, biostrom, bioherm.

Мельникова А.А.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: anmel01-09@mail.ru)

Климатические события позднего голоцена в Лофотенской котловине Норвежского моря на основе диатомового анализа.

Melnikova A.A.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Climate events of the Late Holocene in the Lofoten Basin of the Norwegian Sea based on diatom analysis

Ключевые слова: диатомовые водоросли, палеоклимат, поздний голоцен, Лофотенская котловина, Норвежское море.

В работе представлены результаты изучения комплексов диатомей позднего голоцена из донных осадков Лофотенской котловины Норвежского моря. Был проведен анализ распределения тепловодных и холодноводных диатомей, на основании полученных данных сделана палеоклиматическая интерпретация.

Диатомовые водоросли – это одноклеточные организмы, которые являются важнейшей частью морского фитопланктона всего Мирового океана. В Северной Атлантике среди разных методов исследования палеоклиматических изменений (распределение атлантических и арктических вод, и др.) применяется диатомовый анализ. Преимущество этого метода в том, что у диатомей скорость роста гораздо выше, чем у другого фитопланктона, а так же они более чувствительны к малейшим температурным изменениям [1]. Это позволяет детально проследивать климатические колебания.

Для проведения палеоклиматической интерпретации позднего голоцена было отобрано 26 проб с интервалом в 1 см из колонки АМК-6142 (69°02.674' с.ш., 02°06.611' з.д.; глубина 3181 м), вскрытой мультикорерным пробоотборником. Станция отбора колонки расположена в южной части абиссальной равнины Лофотенской котловины Норвежского моря. Разрез колонки по данным литологического описания представлен однородной толщей алевроито-пелитового ила оливкового цвета. Диатомеи в приемлемой для количественного анализа концентрации найдены в верхних 8 пробах. По радиоуглеродному методу максимальный возраст осадков из этих проб составляет 777 лет.

Лофотенская котловина расположена в субполярной области с преимущественным влиянием атлантических вод [2]. Данный район находится восточнее Арктического фронта, на котором взаимодействуют Арктические и Атлантические водные массы. За счет изменчивости распределения тех или иных вод, фронт проявлял неоднократные миграции

холодноводных форм: более сильный 450 л.н. и небольшой 219 л.н. Вероятно, они отразили условия Малого ледникового периода, который начался в 1300 г. и закончился в 1880 г. [3]. Аналогичные палеоклиматические изменения с небольшой разницей во времени были зафиксированы в статье Андерсон с соавторами [4], описывающей позднеголоценовую эпоху на плато Воринг Норвежского моря, которое находится у юго-восточной окраины Лофотенской котловины. Эти авторы также выделили два дискретных похолодания с центрами 400 и 100 л.н., связанных с Малым ледниковым периодом.

Авторы благодарят М.Д. Кравчишину и А.А. Ключиткина за предоставленные пробы осадков и помощь в проведении микропалеонтологических исследований. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 21-17-00235 и в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № 0149-2019-0007 (проведение экспедиций).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глезер З.И., Макарова И. В., Стрельникова Н. И., Моисеева А.И., Николаев В.А. Диатомовые водоросли России и сопредельных стран: Ископаемые и современные. // Л.: Наука, 1988. Т. II (1). 116 с.
2. Dugstad J., Fer I., LaCasce J., Sanchez de La Lama M., Trodahl M. Lateral heat transport in the Lofoten Basin: Near-surface pathways and subsurface exchange // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2019. V. 124. P. 2992–3006.
3. Федоров В.М., Фролов Д.М. Малый ледниковый период в жизни Земли и его возможные причины // *Жизнь Земли*. Т. 42. 2020. № 1. С. 4–12.
4. Andersson C., Risebrobakken B., Jansen E., Dahl S.O. Late Holocene surface conditions of Norwegian Sea (Vøring Plateau) // *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 2003. № 18 (2). P. 1–22.

This paper presents the results of the study of late Holocene diatom complexes from bottom sediments of the Lofoten Basin of the Norwegian Sea. The distribution of warm-water and cold-water diatoms was analysed, and paleoclimatic interpretations were constructed on the basis of the data obtained.

Мустафин М.А.¹, Пушина З.В.², Сергеев А.Ю.³

(¹Российский государственный педагогический институт им. Герцена, г. Санкт-Петербург, e-mail: mustaphinmark@gmail.com; ²ФГБУ ВНИИОкеангеология имени И.С. Грамберга, г. Санкт-Петербург; ³Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург)

Диатомовые водоросли из донных отложений Анадырского залива, Берингово море

Mustafin M.A.¹, Pushina Z.V.², Sergeev A.Yu.³

(¹Herzen State Pedagogical University, Saint Petersburg; ²FSBI "VNIIOkeangeologia", Saint Petersburg; ³Federal State Budgetary Enterprise "A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute", Saint Petersburg)

Diatoms from the sediments of the Anadyr Bay, the Bering Sea

Ключевые слова: диатомовый анализ, донные отложения, палеогеография, Анадырский залив, Берингово море.

Донные отложения Анадырского залива Берингова моря изучались в 2021–2022 гг. в ходе геолого-геофизических работ отделом Региональной геоэкологии и морской геологии, «ВСЕГЕИ». Исследование диатомовых комплексов из изученных грунтовых колонок донных отложений позволило реконструировать палеоэкологические условия их формирования в позднечетвертичное время.

Диатомовые водоросли широко используются для восстановления истории формирования отложений в Беринговом море. Детальное изучение верхнечетвертичных отложений Берингова моря [3–6] позволило установить их биостратиграфию и палеоэкологические условия седиментации.

Колонки донных отложений из Берингова моря, в том числе Анадырского залива, были получены Полярной партией ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках объектов «Создание и подготовка к изданию государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 по группе листов территории Российской Федерации в 2020–2022 годах» и «Создание и подготовка к изданию государственной геологической карты масштаба 1:1 000 000 по группе листов территории Российской Федерации в 2021–2023 годах». Работы были проведены на НИС «Иван Киреев».

Колонка донных отложений из Анадырского залива (64.5949° с.ш. 177,0672° з.д.) была отобрана с помощью вибротрубки на глубине 76 м двумя секциями по 100 см. Отложения представлены песчанистыми глинами и песчанистыми алевритами. Длина анализируемой колонки составляет 178 см. Лабораторная подготовка материала на диатомовый анализ проводилась в Лаборатории четвертичной микропалеонтологии «ВСЕГЕИ». Образцы были отобраны через каждые 10–25 см. Лабораторная обработка выполнена по упрощенной методике с использованием перекиси водорода [2]. Таксономическое определение проводилось на световом

микроскопе МИКМЕД-3 при увеличении 1500 раз.

Экологические группы диатомовых водорослей были выделены по следующим параметрам: местообитанию, отношению к солености, а также по географической приуроченности.

Исследование верхнечетвертичных донных отложений колонки из Берингова моря методом диатомового анализа позволило предварительно установить возраст и определить палеоэкологические условия формирования. Диатомовый анализ был сделан для колонки длиной 178 см (рис. 1). Установлено 49 видов диатомей и один вид силикофлагеллат (*Distephanus speculum* (Ehrenberg) Haeckel).

В нижнем горизонте выделена экозона III (128–178) см. Отложения данного интервала представлены гравийно-галечно-песчаными микритами и алевритами. Экозона III характеризуется обедненным видовым составом и низкой численностью створок морских диатомей. Доминирует планктонный неритический холодноводный аркто-бореальный таксон *Thalassiosira gravida* Cleve и тихопелагический *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve. Сублиторальные виды в качестве сопутствующих представлены *Delphineis surirella* (Ehrenberg) Andrews, *Placoneis amphibola* (Cleve) E.J.Cox и другие. Среди криофильных диатомей встречены *Fragilariopsis oceanica* (Cleve) Hasle и *Porosira glacialis* (Grunow) Jørgensen. Обнаружены единичные пресноводные диатомеи. Возможно, эти отложения формировались в позднем квартере [3, 6].

Выше по разрезу колонки в пелитовых алевритах установлены богатые морские диатомовые комплексы.

Экозона II (90–128 см) включает комплексы, в которых преобладают морские криофильные *Fragilariopsis oceanica* (до 45% от общего состава комплекса) и тихопелагический *Paralia sulcata* (до 38%). Им сопутствуют неритические *Chaetoceros* sp. (до 11%), *Thalassiosira gravida* (до 6%). Бентосные виды диатомей немногочисленны и представлены: *Pauliella taeniata* (до 4%), *Delphineis surirella* (до 4%), морские-солонатоводные *Diploneis smithii* – 0,6% (единично и только в этой экозоне) и другие. Пресноводные диатомеи установлены очень редкими створками: бентосными холодноводными ацидофилами *Eunotia praerupta* (до 2%), планктонными алкалифилами космополитами *Handmannia comta* (Grunow) Round & Basson (до 2%).

Экозона I (10–68 см). Диатомовые водоросли в осадках этого горизонта соответствуют в основных чертах составу видов поверхностного слоя осадков материковой отмели Берингова моря [4], преобладают неритические виды. В числе неритических видов доминируют *Thalassiosira gravida* (до 44%) и *Chaetoceros* sp. (до 21%), а также холодноводные *Fragilariopsis oceanica* (до 23%), *Bacterosira bathyomphala* (Cleve) Syvertsen & Hasle (до 21%). Им сопутствуют тихопелагический *Paralia sulcata* (до 12%), неритические виды рода *Chaetoceros* (5 видов) и другие.

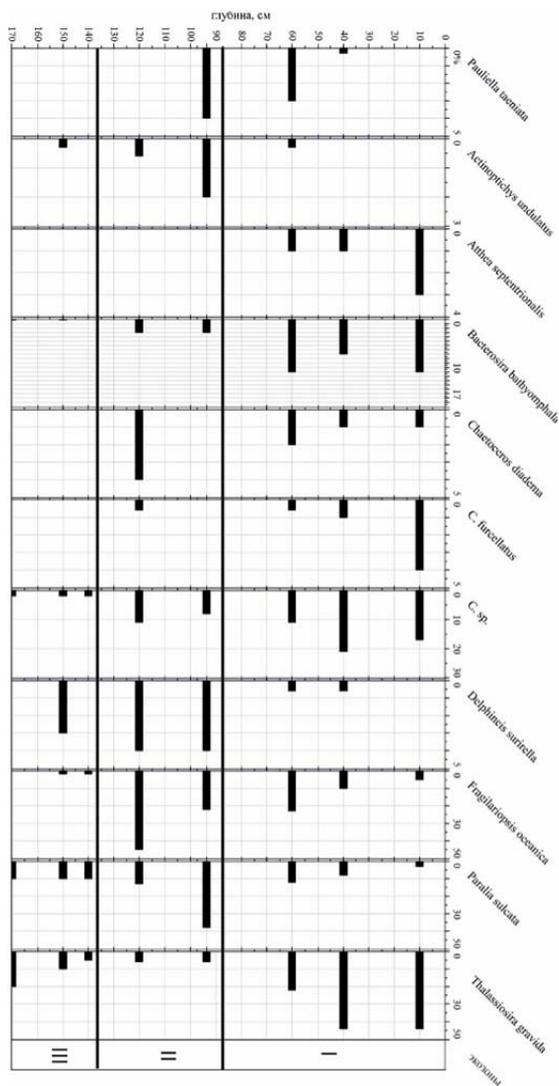


Рисунок 1. Диатомовая диаграмма колонки донных отложений Анадырского залива

Таким образом, установлено, что осадконакопление происходило в морских условиях. В экзоне III условия для развития диатомовых комплексов были не очень благоприятны (или же неблагоприятны условия для сохранения диатомовых створок в осадках), что может быть связано с низким уровнем моря. Осадконакопление верхнего горизонта отложений

(экозоны I и II) происходило в морских условиях в голоцене. Экозона I формировалась в более мористых условиях холодноводного морского бассейна по сравнению с формированием отложений экозоны II.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас микроорганизмов в донных осадках океанов (диатомеи, радиолярии, силикофлагелляты, кокколиты). М.: Наука, 1977. 196 с.
2. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1974. Т. 1. 403 с.
3. Горбаренко С.А., Артемова А.В. Хроностратиграфия верхнечетвертичных осадков северо-западной Пацифики и Берингова моря, изменения среды и продуктивности региона изотопно-геохимические, палеонтологические (диатомеи) и литологические свидетельства, // Тихоокеанская геология. 2003. № 5. С. 25–38.
4. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 258 с.
5. Пушкарь В.С., Черепанова М.В. Диатомеи плиоцена и антропогена Северной Пацифики (стратиграфия и палеоэкология). Владивосток: Дальнаука, 2001. 228 с.
6. Цой И.Б., Обрезкова М.С. Атлас диатомовых водорослей и силикофлагеллат голоценовых осадков морей Восточной Арктики России. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. 146 с.
7. Черепанова М.В. Диатомовая летопись изменения океанографических условий Берингова моря в плейстоцене-голоцене. // Диатомовые водоросли: морфология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: материалы XII Международной научной конференции диатомологов, (Москва, 19–24 сентября 2011). М., 2011. С. 274–276.

Bottom sediments of Anadyr Bay (Bering Sea) were studied in 2021-2022 years during geological investigation by Department of Regional Geocology and Marine Geology, VSEGEI. The revealed diatoms in deposits were allowed to reconstruct the palaeoecological conditions of sedimentation.

Петров Н.И., Борисов Д. Г.

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

Цифровые весы с открытым кодом для работы в условиях качки на научных судах.

Petrov N.I., Borisov D.G.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Open source digital balances for operation in sea conditions on scientific vessels

Ключевые слова: измерение массы, компенсация качки

В работе описывается прототип бюджетных весов для использования на борту научных судов в морских экспедициях. Электронные весы выполнены на базе двухъядерного микроконтроллера ESP32 и основаны на принципе компенсации влияния качки за счет использования двух тензодатчиков для референсного груза и для взвешиваемого образца. Опытный прототип был успешно испытан в 63 рейсе НИС "Академик Иоффе" в 2022 г.

Взвешивание грузов на борту судна в условиях качки является актуальной проблемой как в научных экспедициях, так и в промышленном судоходстве. К примеру, для рыболовецкого флота существует множество коммерческих решений, полностью перекрывающих весь спектр задач в данной области. Большинство существующих моделей морских весов спроектированы для взвешивания грузов массой более одного килограмма (например, для использования на камбузе). Однако, для широкого круга научных задач (взвешивание реактивов, небольших геологических и биологических образцов) требуемый диапазон измерений составляет от 1 до 100 грамм. Существующие немногочисленные решения для этих целей либо достаточно дорогие (более 10 тысяч евро), либо труднодоступны из-за прекращения производства, либо неудобны в транспортировке и эксплуатации.

На данный момент в ведущих научных организациях, занимающихся исследованием океана, применяются следующие методы взвешивания образцов массой менее 100 грамм:

1. Измерение с помощью весов, производства компаний Marel или WPL Industries, основным недостатком которых является высокая цена.
2. Использование двух цифровых лабораторных весов и вычислением результатов с помощью компьютера для компенсации влияния морской качки на конечный результат с точностью 0.01 грамма.
3. Применение разработанных в конце XX века весов компании POLs, специально предназначенных для данных целей. Точность измерений зависит от модели, к примеру, модель POLs P-15/S-182 обеспечивает

точность измерений до 0.01 грамма.

4. Стоит упомянуть также использование механических рычажных (аптекарских) весов. Однако, при относительной погрешности в 0.5 грамм при взвешивании пятиграммового образца, они мало применимы для работы с небольшими массами.

Сотрудники лаборатории палеоокеанологии ИО РАН работают над созданием морских весов со следующими характеристиками:

1. Погрешность взвешивания для масс от 1 до 100 грамм в пределах 0.1 грамма

2. Стабильная работа с заданными характеристиками в штормовую погоду до 4-х баллов

3. Запись результатов исследований на внешнюю Flash память

4. Автономность работы от 3-х часов и более

В качестве основной вычислительной единицы был выбран широко распространенный и высокопроизводительный микроконтроллер ESP32 с встроенным Wi-Fi и Bluetooth модулем. При выборе измерительного элемента на основе тензорезистивного принципа основным критерием так же была доступность. Вся компонентная база, а так же схема электрическая принципиальная и материалы для производства печатной платы находятся в открытом доступе на сайте github.com и могут быть использованы без разрешения авторов. Внешний вид устройства приведен на рисунке.



Рисунок. Внешний вид разработанных цифровых весов.

Принцип измерения данных весов строится на анализе сигналов от двух тензорезистивных датчиков, на одном из которых находится груз известной массы, а на другом образец неизвестной массы. Микроконтроллер вычисляет пропорциональную зависимость между показаниями датчика с образцом и датчика с референсным грузом. При таком подходе удается компенсировать негативное влияние качки (вертикальных перемещений, а также крена и дифферента) на измерения.

Прототип весов был успешно испытан в 63 рейсе НИС «Академик Иоффе» (2022). Весы использовались для определения плотности и влажности донных осадков методом высушивания до постоянной массы. Была проведена серия испытательных взвешиваний при температурах 4°C и 23°C в твиндеке, при температуре 23°C в кормовой лаборатории на главной, третьей палубе и в каюте на шестой палубе при волнении 4 балла. Удалось достичь планируемой погрешности в 0.1 грамм для масс от 1 до 60 грамм и 0.2 грамма погрешности для масс свыше 60 грамм. В настоящее время продолжается процесс разработки второй версии устройства, планируется тестирование образца с усовершенствованной компонентной базой и увеличение чувствительности весов. Однако авторы столкнулись с проблемой труднодоступности качественных тензодатчиков с достаточной выходной чувствительностью, которая прямо пропорционально влияет на точность измерений.

Таким образом, на основе доступной компонентной базы был разработан образец весов соответствующий заданным первоначальным характеристикам, обеспечивающий потребности лаборатории в научно-исследовательских экспедициях.

Авторы признательны руководителю аналитических систем в программе интегрированного океанского бурения Техасского университета A&M Дэвиду Хоупту, аспиранту университета Royal Holloway Глазковой Т.А. и всем членам экипажа судна Академик Иоффе за помощь в испытаниях и процессе разработки. Авторы благодарят Белова А., Грищенко А., Ибрагимова Д., Иванилова Р. за помощь в разработке и испытаниях первого прототипа устройства. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 22-27-00421).

This work describes the development of a cost-effective prototype of weighing scales tailored for marine expeditions, specifically designed for implementation on board scientific vessels. The system is powered by an ESP32 microcontroller, leveraging two load cells for reference weighing and sample measurement. A successful prototype was crafted and rigorously tested during cruise 63 of the RV *Akademik Ioffe* in 2022.

Полякова Е.И.

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, г. Москва, e-mail: ye.polyakova@mail.ru)

**Арктические моря Евразии в позднем кайнозое
(диатомовая стратиграфия и палеоокеанология)**

Polyakova Ye.I.

(Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow)

The Eurasian Arctic Seas During the Late Cenozoic (Diatom Stratigraphy and Paleocyanography)

Ключевые слова: арктические моря Евразии, палеоокеанология, биостратиграфия, диатомовые водоросли, поздний кайнозой

Состав комплексов морских диатомей из верхнекайнозойских отложений арктических морей и побережья Северной Евразии свидетельствуют о неоднократном распространении морских бассейнов на шельфе и прилегающих низменностях, начиная с позднего олигоцена.

В последние десятилетия получен новый обширный материал геолого-геофизических исследований на арктическом шельфе Евразии и в глубоководных районах Северного Ледовитого океана, в палеоокеанологических реконструкциях кайнозоя Арктики успешно используются новые биогеохимические методы исследований. Однако возрастающая интерпретация палеоокеанологических событий до настоящего времени основывается прежде всего на биостратиграфических исследованиях различных микропалеонтологических групп, несмотря на нередко неблагоприятные в Арктическом океане условия сохранности для карбонатных и кремнистых микрофоссилий.

В настоящем сообщении представлены реконструкции этапов трансгрессивного развития морских бассейнов на севере Евразии в позднем кайнозое на основе анализа таксономического состава диатомовых ассоциаций и стратиграфического распространения видов в верхнекайнозойских отложениях шельфа и материковой окраины Северной Евразии с позиций зональной диатомовой стратиграфии [1, 2] с учетом современных данных по геологии и биостратиграфии отложений высоких широт Северного полушария. При корреляции с северотихоокеанским регионом использованы схемы [3], представляющие собой наиболее полное обобщение данных по олигоцен-плейстоценовой диатомовой стратиграфии северных областей Тихого океана. Для Северной Атлантики и Норвежско-Гренландского бассейна до настоящего времени нет единой зональной диатомовой шкалы ввиду отсутствия непрерывной, хорошо датированной стратиграфической последовательности биокремнистых осадков, поэтому учитывались наиболее полные биостратиграфические материалы глубоководного бурения DSDP Leg 38 и ODP Leg 104 в Норвежско-Гренландском бассейне [4–6 и др.].

Биогенное кремненакопление в северной полярной области претерпело кардинальные изменения за время формирования Арктического океана в кайнозой. Ведущая роль в этом принадлежит тектоническим процессам и гидродинамическим условиям в водоемах центральной Арктики и прилегающих морях, прежде всего, установление и разрушение связей с южными океанами – Тетис, Атлантическим и Тихим. В палеогене в эпиконтинентальных морях Северной Евразии существовали благоприятные условия для биогенного кремненакопления [7 и др.], чему способствовали мощные потоки теплых вод из океана Тетис через Тургайское и Западно-Сибирское моря, которые прекратились в раннем олигоцене, также как и водообмен Норвежского моря с Тетис [8, 9]. В водообмене Атлантического и Арктического океанов решающее значение имело тектоническое открытие пролива Фрама. Постепенное расширение (> 100 км) и углубление (> 1,5 км) пролива в раннем-среднем миоцене привело к усилению холодного донного арктического стока в Северную Атлантику, увеличению притока соленой атлантической воды в Северный Ледовитый океан и установлению в нем строгой стратификации водных масс, сопоставимой с современной [10]. Последний фактор привел к сокращению содержания кремнезема в поверхностных водах океана, растворению опаловых створок диатомей после окончания вегетации и практически полностью их исчезновению в неогеновых глубоководных осадках, хотя для миоцена имеются биогеохимические свидетельства высокой продуктивности диатомового планктона в Арктическом бассейне [11]. Более благоприятные условия для сохранности диатомей существовали в окраинных морях за счет поступления речных вод, богатых кремнеземом и биогенными элементами.

Региональный обзор ископаемых морских диатомовых флор. При бедности осадков Баренцева моря диатомеями особое значение приобретают разновозрастные комплексы морских диатомей, установленные Л.Я.Каган в скважинах из Печорского моря [12]. Они включают стратиграфически значимые виды с известным возрастным диапазоном распространения в субарктических районах в позднем плиоцене-эоплейстоцене и раннем неоплейстоцене, а также неогеновые виды, возможно, частично во вторичном залегании [13]. Позднеплиоценовые-эоплейстоценовые комплексы характерны также для отложений колвинской свиты, залегающих, в переуглубленных долинах и депрессиях Большеземельской тундры [14], что предполагает их развитие в едином морском бассейне.

На севере Сибири, комплексы морских неогеновых диатомей редко встречаются *in situ*, как правило неогеновые виды этих комплексов присутствуют в четвертичных отложениях различного генезиса во вторичном залегании [1, 2]. Основные местонахождения неогеновых диатомей установлены в Усть-Енисейском районе в отложениях нижне- и верхнесанчуговской подсвит, и в «казанцевских отложениях» [15]. Их особенностью является присутствие как видов, известных в современной

флоры Карского моря, так неогеновых вымерших форм, стратиграфическое распространение которых ограничено верхним миоценом-началом плиоцена, что свидетельствует о развитии на севере Западной Сибири и шельфе Карского моря обширной трансгрессии в этот период.

Особое стратиграфическое положение занимают комплексы диатомей из отложений "усть-соленинской свиты" (река Соленая, приток Б. Хеты) [16]. По видовому составу эти комплексы коррелируют «колвинским» Большеземельской тундры, «кочоской» серии на п-ове Таймыр и позднеплиоценовым - эоплейстоценовым комплексам Печорского моря. Все комплексы свидетельствуют о высокой интенсивности североатлантического течения и низкой ледовитости морских бассейнов в этот период [1].

Приморские впадины Северной Чукотки сложены кайнозойскими континентальными и морскими отложениями. Свидетельством трансгрессии в олигоцене – начале миоцена являются комплексы фораминифер и единичные створки олигоценых видов морских диатомей, встреченные во вторичном залегании в верхнекайнозойских отложениях всех изученных впадин – *Чаунской*, *Валькарайской* и *Ванкаремской* [1]. Согласно сейсмофациальному анализу непрерывное морское осадкоотложение на внешнем шельфе и континентальном склоне Северной Чукотки и прилегающих впадинах продолжалось с олигоцена до современности [17].

В *Чаунской впадине* в неогене установлена серия трансгрессий, когда море занимало северные или даже центральные районы низменности. *Нижнемиоценовые* прибрежно-морские отложения установлены лишь в устье Чаунской губы [18]. Комплексы бентосных фораминифер включают небольшое число видов, типичных для верхнего олигоцена Северной Атлантики и Арктики наряду с видом-индексом биостратиграфической зоны нижнего–среднего миоцена, и характеризуют тепловодные морские обстановки [19]. *Среднемиоценовая* максимальная трансгрессия также фиксируется по комплексам бентосных фораминифер и единичным морским диатомеям и считается продолжением раннемиоценовой. Она носила пульсационный характер, и периодически на большей части низменности широкое распространение получали мелководные заливы, лагуны, заболоченные озера. Возраст трансгрессии устанавливается по палиноспектрам из основания разрезов морских отложений, включающим реперный для Северо-Востока «*буковый горизонт*» климатического оптимума рубежа раннего и среднего миоцена.

Отложения *позднемиоценовых – плиоценовых* трансгрессий в районе Чаунской губы (о. Айон) охарактеризованы обильной фауной бентосных фораминифер и комплексами морских диатомей. Микрофауна фораминифер свидетельствует о прибрежно-морских условиях и двух фазах трансгрессии [19]. Первая включает тепловодные бореальными и южнобореальными таксоны, типичные для осадков внешнего шельфа окраинных морей. Вторая фаза представлена обедненными комплексами

морских холодноводных арктических и аркто-бореальных видов. Возраст трансгрессии установлен по составу обильных и таксономически разнообразных комплексов морских диатомей и силикофлагеллят [20], включающих виды с датированными уровнями стратиграфического распространения в северных областях Тихого океана, что позволило сопоставить айонские комплексы с зоной *Neodenticula kamtschatica* (вторая половина позднего миоцена – ранний плиоцен) северотихоокеанской диатомовой шкалы. Доминируют планктонные неритические виды, предполагающие значительные глубины моря, занимавшего значительную часть впадины [18].

Валькарайская низменность сложена разнообразными в литологическом отношении рыхлыми кайнозойскими отложениями (*рытильхинская, рывеемская и энмакайская свиты, и валькарайские слои*) [21, 22]. *Рытильхинская свита* залегает на палеозойском фундаменте, ее диатомовые комплексы свиты предполагают чередование морских, лагунных и озерно-болотных обстановок осадконакопления. Выделены два разновозрастных комплекса морских диатомей, включающих виды с известными уровнями стратиграфического распространения в северных областях Тихого океана [1, 2], согласно которым более древний комплекс соответствует зоне *Thalassiosira yabei* северотихоокеанской диатомовой шкалы (конец среднего – начало позднего миоцена), а более молодой – к зональным подразделениям *Denticulopsis dimorpha* и *Thalassionema schraderii* середины позднего миоцена. Почти все виды второго комплекса в отличие от первого являются холодноводными, характерно участие ледово-морских диатомей, свидетельствующих о существовании сезонных морских льдов в Чукотском море. Вышележащие лигнитизированные алевроиты включают морские, пресноводные и солоноватоводные виды диатомей, характеризующие лагунные условия осадконакопления завершающего этапа трансгрессии.

Комплексы морских диатомей из отложений *рывеемской свиты* включают вымершие в плиоцене виды и соответствуют зоне *Neodenticula kamtschatica* (вторая половина позднего миоцена – ранний плиоцен). Характерно первое появление в Чукотском море аркто-бореальных видов, обычных в современном планктоне арктических морей. *Энмакайская свита* является важным стратиграфическим репером позднего кайнозоя Северной Чукотки. Согласно составу диатомовых комплексов возрастной предел свиты укладывается в рамки эоплейстоцена – нижнего неоплейстоцена, но не исключена большая продолжительность трансгрессии [1, 2]. Море достигало подножия гор, температуры вод были несколько выше современных, обилие ледово-морских диатомей свидетельствует о высокой ледовитости морского бассейна.

Основная часть кайнозой Ванкаремской впадины представлена *вельмайской и рыгытгынской свитами*, каждая из них делится на подсвиты. В отложениях *верхневельмайской подсвиты* установлены морские, преимущественно планктонные, холодноводные виды, включая ледово-морские. По индекс-виду *Denticulopsis dimorpha* подсвита отнесена к

одноименной зоне северотихоокеанской шкалы (начало позднего миоцена). Единичные морские сублиторальные диатомеи встречены в отложениях *среднерыгтыгнской подсвиты* в прибрежной полосе.

Таким образом, комплексы морских диатомей свидетельствуют о неоднократном распространении морских бассейнов на арктическом шельфе Евразии и прилегающих низменностях, начиная с позднего олигоцена.

Работа выполнена в рамках госзадания МГУ имени М.В.Ломоносова №121051100135-0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. М.: Научный мир, 1997. 145 с.
2. Polyakova Ye.I. Late Cenozoic evolution of northern Eurasian marginal seas based on the diatom record // *Polarforschung*. 2001. V. 69.
3. Barron J.A., Gladenkov A.Y. 1. Early Miocene to Pleistocene diatom stratigraphy of LEG 145 // *Proc. Ocean Drilling Program. Scientific stratigraphy, Results*. 1995. V. 145. P. 3–19.
4. Dzhinoridze R.N., Jouse A.P., Koroleva-Golikova C.S. et al, Diatom and radiolarian Cenozoic, Norwegian Basin// *Init. Repts. DSDP 38-41: Washington (U.S. Govt. Printing Office)*. 1978. P. 289–427.
5. Schrader H.-J., Fenner J. 1976. Norwegian Sea Cenozoic diatom biostratigraphy and taxonomy // *Init. Repts. DSDP, 38: Washington (U.S. Govt. Printing Office)*. 1978. P. 921–1099.
6. Boden P. Quantitative biostratigraphy of Neogene diatoms from the Norwegian Sea, North Atlantic and North Pacific // *Stocholm Contributions in Geology*. 1992. V. 42(3). P. 123–202.
7. Стрельникова Н.И. Палеогеновые диатомовые водоросли. СПб: Изд-во СПбУ. 1992. 311 с.
8. Ахметьев М.А., Запорожец Н.И. Климатообразующая роль морских течений в раннем палеогене в высоких широтах Евразии // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2017. Т. 25. № 2. С. 115–126.
9. Харин Г.С., Лукашина Н.П. Палеогеография Норвежско-Гренландского и Северо-Западного Европейского морских бассейнов в палеогене // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 2. С. 248–261.
10. Hossain A., Knorr G. Jokat W. et al. Opening of the Fram Strait led to the establishment of a modern like three layer stratification in the Arctic Ocean during the Miocene // *Arktos*. 2021. V. 7. P. 1–12.
11. Stein R., Fahl K., Schreck M. et al. Evidence for ice-free summers in the late Miocene central Arctic Ocean // *Nature Communications*. 2016. V. 7. P. 1–13.
12. Самойлович Ю.Г., Каган Л.Я., Иванова Л.В. Четвертичные отложения Баренцева моря. Апатиты: КНЦ РАН, 1993. 73 с.
13. Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Агафонова Е.А. Диатомеи и водные палиноморфы в донных осадках Баренцева моря: основные закономерности распространения и использование в палеоокеанологических исследованиях

// Система Баренцева моря М.: ГЕОС, 2021. С. 64–95.

14. Лосева Э.И. Атлас морских плейстоценовых диатомей европейского Северо-Востока СССР. СПб.: Наука, 1992. 272 с.

15. Скабичевская Н.А. Средне-позднечетвертичные диатомеи Приенисейского Севера. М.: Наука, 1984. 156 с.

16. Степанова Г.В. Комплексы диатомей Таймыра и их роль в разработке стратиграфической схемы мезо-кайнозоя Советской Арктики. Л.: ПГО Севморгеология, 1990. С. 59–73.

17. Александрова Г.Н. Геологическое развитие Чаунской впадины (Северо-Восток России) в палеогене и неогене. Статья 2. Неоген // Бюл. МОИП. Отд.геол. 2016. Т. 91. Вып. 6. С. 11–35.

18. Дараган-Суцова Л.А., Петров О.В., Дараган-Суцов Ю.И. и др. История формирования Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана по сейсмическим данным // Региональная геология и металлогения. 2020. № 84. С. 25–44.

19. Гудина В.И., Лаштабег В.А., Левчук Л.К. и др. Граница плиоцена-плейстоцена на севере Чукотки (по фораминиферам) // Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР. 1984. Вып. 560. № 104. С. 20.

20. Степанова Г.В. Находка морских неогеновых диатомей на острове Айон (Восточно-Сибирское море) // Ежегод. Всес. палеонтол. о-ва. 1989. Т. 32. С. 200–217.

21. Сухорослов В.Л. Кайнозойские отложения Валькарайской низменности (северное побережье Чукотки) // Геология и геофизика. 1978. № 11. С. 82–88.

22. Данилов И.Д., Полякова Е.И. Валькарайская впадина// Палеоген и неоген Северо-Востока СССР. Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1989. С. 56–61.

The composition of marine diatom complexes from the Upper Cenozoic sediments of the Arctic seas and the coast of Northern Eurasia indicate the repeated spread of marine basins on the shelf and adjacent lowlands, starting from the Late Oligocene.

Попов М.С., Борисов Д.Г.

(Институт Океанологии РАН им. П.П. Ширшова, г. Москва, e-mail: mihael.popov99@gmail.com)

Осадочные волны на плато Санта-Катарина: морфология и механизмы формирования

Popov M.S., Borisov D.G.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Sediment Waves on the Santa Catarina Plateau: morphology and formation processes

Ключевые слова: придонные течения, контуриты, сейсмоакустическое профилирование, многолучевое эхолотирование, ЮЗ Атлантика

На основании данных сейсмоакустического профилирования и многолучевого эхолотирования проведено исследование морфологии и ориентации осадочных волн на плато Санта-Катарина в Юго-Западной Атлантике. Уточнены границы области распространения волн. Анализ полученных результатов и их сравнение с данными численного моделирования скоростей течений позволил сделать вывод о контуритовой природе изученных осадочных волн.

Район исследования охватывает крупное плато Санта-Катарина в переходной зоне между Аргентинской и Бразильской котловинами. Этот регион имеет большое значение для водообмена между этими двумя котловинами, а также для распространения на север вод Антарктического происхождения. Это крупное плато располагается в интервале глубин от 3400 до 4000 м и осложнено крупным поднятием фундамента, которое получило название «поднятие Торрес» [1]. Придонная циркуляция на плато контролируется течением Нижней циркумполярной воды. Схема течений в этом районе чрезвычайно сложна и изменчива. Измерения показывают изменения направлений на противоположные в течение года. Скорости течений могут достигать 30 см/с [2]. Имеющиеся публикации показывают, что плато охвачено локальным антициклоническим круговоротом Нижней циркумполярной воды, которая попадает в район исследования из канала Вима [2, 3]. Северная часть плато осадочными волнами, морфология и происхождение которых остаются мало изученными [2, 4]. Целью данной работы является уточнение границ поля осадочных волн на севере плато, исследование их размеров, пространственной ориентации и описание возможных механизмов формирования этих осадочных тел.

Расстояние между гребнями варьирует в пределах 1070–6740 м, и имеет среднее значение 2750 м (медианное значение – 2585 м, среднеквадратичное отклонение – 840 м).

Такие осадочные волны являются довольно крупными для глубоководных районов океана. Некоторые из них можно даже назвать гигантскими. Рассмотренные осадочные волны очень нерегулярны в своих морфологических параметрах, демонстрируют то симметричный (в большинстве случаев), то слегка ассиметричный профиль. Размеры соседних волн могут значительно отличаться. Однако отмечено укрупнение волн в направлении с северо-запада на юго-восток. Гребни осадочных волн достигают 18 км по протяженности в плане и ориентированы в большинстве случаев под углом 125–165° от направления на север. Гребни волн субпараллельны друг другу на северо-западе поля, а на юго-востоке, ближе к склону поднятия Торрес, обнаруживается раздвоение и слияние гребней соседних волн.

На сейсмоакустических профилях донные отложения в области распространения осадочных волн характеризуются четкой акустической стратификацией. Признаки миграции вершин осадочных волн на сейсмоакустических разрезах практически отсутствуют. В соответствии с существующими классификациями акустических образов отложений выявленные сейсмofации можно отнести к типу ШВ [5]. Гигантские осадочные волны, обнаруженные на склонах поднятия Торрес, демонстрируют большую степень симметрии и практически полное отсутствие признаков миграции вершины по акустическому разрезу по сравнению волнами меньшего размера, которые и занимают преобладающую часть поля.

Численное моделирование скоростей и направлений придонных течений (модель INMOM, [2]) показало выраженное антициклоническое движение потока НЦПВ на плато [2, 4]. Встречая на своем пути топографическое препятствие в виде поднятия Торрес, поток НЦПВ вынужденно поворачивает на восток и движется вдоль склонов поднятия. При этом скорость течения значительно увеличивается. Сопоставление распределения размеров осадочных волн с результатами моделирования скоростей придонных течений показывает хорошую положительную корреляцию между этими параметрами. Иными словами, чем выше скорость течения (по результатам моделирования) на том или ином участке плато, тем выше волны и больше расстояния между их гребнями. Взаимодействие потока НЦПВ со склонами поднятия Торрес, вероятно, приводит к формированию локальных турбулентных вихрей, что в сумме с высокой скоростью течения и порождает гигантские волны, гребни которых имеют извилистую форму, раздваиваются и сливаются с соседними осадочными волнами. Симметричная форма осадочных волн может быть связана с высокой степенью изменчивости направлений придонных течений, даже в течение

года. Такая изменчивость в данном районе описана в [2, 3]. В результате такой изменчивости отложение осадочного материала происходит равномерно на обоих склонах волны. Расположение волн на довольно пологой поверхности крупного плато Санта-Катарина, выраженная корреляция размеров волн со значениями скорости течения НЦПВ, преимущественная ориентация осадочных волн под углом к направлению течения, характерная акустическая структура волн, описанная выше, указывает на контуритовую природу данных аккумулятивных тел.

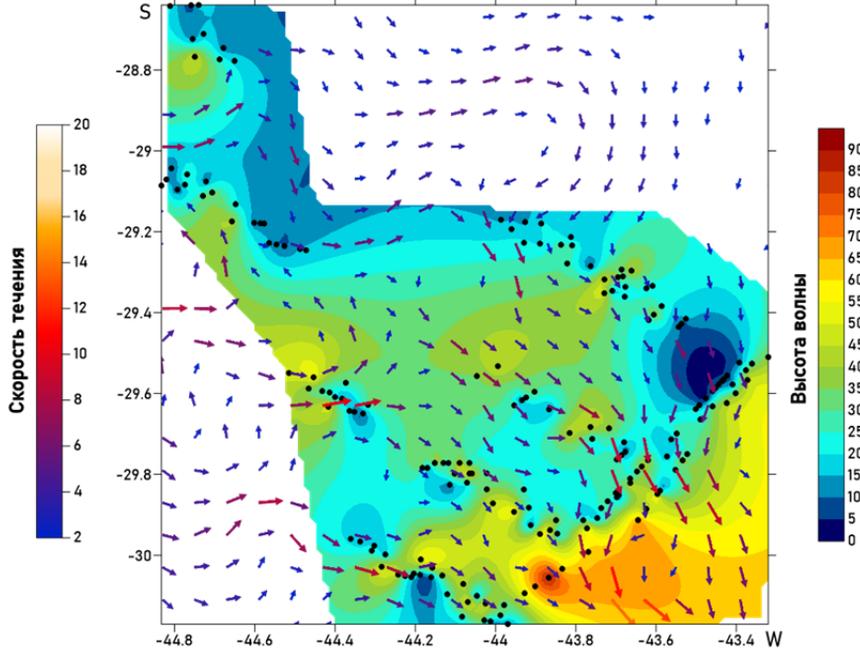


Рисунок 2. Сопоставление распределения высот осадочных волн с результатами моделирования скоростей и направлений придонных течений (модель INMOM).

Если на основании пространственной ориентации волн попытаться реконструировать возможные направления потоков, которые могли сформировать рассматриваемые осадочные волны, то доминирующие направления потоков условно разделятся на две группы: западная и восточная группы. Эти две группы направлений, отличаются тем, что восточная группа в целом хорошо совпадает с генеральным направлением придонного течения НЦПВ, а западная – не совпадает. Такое различие может быть объяснено изначальными неровностями дна, которые послужили субстратом для формирования поля осадочных волн.

Возможным объяснением может быть эрозионная деятельность течения НЦПВ, которая привела к образованию вытянутых по направлению течения промоин. Эти промоины в свою очередь послужили субстратом для образования осадочных волн в западной части поля. Такие промоины были обнаружены [1] совсем неподалеку, к западу от поля осадочных волн, у подножия континентального склона.

Поле осадочных волн на плато Санта Катарина оказалось больше, чем считалось ранее. Исследованные осадочные волны имеют контуритовую природу, и их морфология определяется главным образом скоростями придонного течения Нижней циркумполярной воды.

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 22-27-00421).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jeck I. K. et al. The Santa Catarina Plateau and the nature of its basement // *Geo-Marine Letters*. 2020. V. 40. № 6. P. 853–864.
2. Frey D. et al. Modeling of bottom currents for estimating their erosional-depositional potential in the Southwest Atlantic // *Journal of Marine Systems*. 2022. V. 230. P. 103736.
3. Morozov E.G. et al. *Abyssal channels in the Atlantic Ocean: Water structure and flows*. Springer Science & Business Media, 2010.
4. Borisov D., Frey D., Levchenko O. Sediment waves on the Santa Catarina plateau (western south Atlantic) // *Journal of South American Earth Sciences*. 2020. V. 102. P. 102698.
5. Damuth J.E., Hayes D.E. Echo character of the east Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes // *Marine Geology*. 1977. V. 24. № 2. P. 73–95.

This study aims to analyze sub-bottom and multibeam profiling data to investigate the morphology and orientations of sediment waves on the Santa Catarina Plateau in the western South Atlantic. The boundaries and dimensions of the sediment wave field on the plateau have been reassessed. Through the analysis of the obtained results and comparison with numerical modeling of bottom current velocities, it has been concluded that the studied sediment waves have a contourite origin.

Саидова Х.М., Соколова Е.А.

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

Палеобиогеографические реконструкции для раннего маастрихта по планктонным фораминиферам в Тихом океане

Saidova Kh. M., Sokolova E. A.

(Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow)

Paleobiogeographical reconstructions for the early Maastricht by plankton foraminifera in the Pacific Ocean

Ключевые слова: маастрихт, танатоценозы, палеоклимат, климатическая зональность, величина различия видового состава планктонных фораминифер

Проанализированы данные по видовому составу раковин планктонных фораминифер (ПФ) в нижнемаастрихтских осадках, вскрытых двенадцатью скважинами в низких палеоширотах Тихого океана. На основании различия видового состава, фауна ПФ подразделяется на неритическую региональную и океаническую широтно-зональную. Для каждого разреза определен тип танатоценоза ПФ и установлена принадлежность районов к той или иной климатической зоне. Выяснилось, что в изученной акватории в начале раннего маастрихта. климат был ровным и прохладным

Изучаемая акватория простирается от 33° ю.ш. до 10° с.ш. (здесь и далее имеются ввиду палеошироты [1]). Позднемеловые отложения вскрыты в этом регионе двенадцатью скважинами глубоководного бурения. Из кернов этих скважин авторами отобрано 219 образцов. Образцы переданы комитетом «Curatorial Advisory Board» по проекту бурения: Deep Sea Drilling Project. В каждом образце изучен систематический состав планктонных фораминифер (ПФ), что позволило датировать изучаемые отложения началом нижнего маастрихта (верхи зоны *Gansserina gansseri* по стратиграфической шкале [2]). В процессе исследования все виды ПФ, в соответствии с нашей методикой [3] подразделены на три климатические группы. Для каждого разреза был определен тип танатоценоза (подсчитывалось процентное соотношение раковин видов, относящихся к разным климатическим группам), использовались собственные данные изотопно-кислородного анализа [4]. По пространственному распространению типов танатоценозов были выделены климатические зоны для конца фазы *Gansserina gansseri*.

Для выделения широтно-зональных фаун ПФ производилась оценка видового сходства и различия одновозрастных комплексов ПФ из разных скважин [5]. Для этого была использована формула: $V = \frac{a+b-c}{c}$, где а и б –

число видов в сравниваемых комплексах, s – число общих видов и B – величина различия видового состава этих комплексов. Если комплексы видов ПФ абсолютно одинаковы, то $B = 1$. Полученные данные по величине различия комплексов ПФ нанесены на карту (рис. 1).

На основании различия видового состава, фауна ПФ подразделяется одним из авторов на неритическую региональную и океаническую широтно-зональную: субтропическая западная (СЗО), тропическая центральная (ТЦО) и субтропическая центральная океанические (СЦО) фауны [6].

Анализ изученного материала показал, что в распределении танатоценозов ПФ наблюдается следующие закономерности. В разрезах скважин 305 и 465 преобладают примитивные таксоны умеренной группы: *Globigerinelloides subcarinatus* (Bronnimann), *G. multispinatus* (Lalicker), *G. impensus* Sliter, *Heterohelix striata* (Ehrenberg), *H. globulosa* (Ehrenberg), *H. navarroensis* Loeblich, *Hedbergella monmouthensis* (Olsson), *H. holmdelensis* Olsson. Численность раковин этих видов составляет 49%. Кроме того комплекс ПФ обогащен семью видами субтропической группы: *Globotruncanita stuarti* (Lapparent), *G. conica* (White), *G. pettersi* (Gandolfi), *Globotruncana arca* (Cushman), *G. falsostuarti* Sigal, *Rugoglobigerina rugosa* (Plummer), *Globotruncanella havanensis* (Voorwijk). Численность раковин субтропической группы не превышает 18%. Главной чертой, отличающий изучаемый танатоценоз ПФ от бореального, является наличие в нем единичных раковин вида *Contusotruncana patelliformis* (Gandolfi). Этот вид относится к тропической группе, что допустимо в переходном теплобореальном подтипе танатоценоза, а не в бореальном (рис. 2).

Отложения конца верхнего кампана, вскрытые скважинами DSDP Site 171, 313 и 463, отличаются разнообразием родовых и видовых таксонов ПФ. Субтропическая группа представлена восьмью видами: *Globotruncanita stuarti* (Lapparent), *G. conica* (White), *G. pettersi* (Gandolfi), *Globotruncana arca* (Cushman), *G. falsostuarti* Sigal, *Rugoglobigerina rugosa* (Plummer), *Globotruncanella havanensis* (Voorwijk), *G. petaloidea* (Gandolfi). Общая численность раковин субтропической группы составляет 39%. Значение видов тропической и умеренной групп тоже весьма существенно. Раковины последних имеют численность 18%, а представители тропической группы – на 4% меньше. Умеренная группа представлена видами: *Globigerinelloides multispinatus* (Lalicker), *G. impensus* Sliter, *Heterohelix striata* (Ehrenberg), *H. globulosa* (Ehrenberg), *Hedbergella monmouthensis* (Olsson), *H. holmdelensis* Olsson, а тропическая – *Pseudoguembelina excolata* (Cushman), *Gansserina gansseri* (Bolli), *Globotruncana rosetta* (Carsey), *Rugotruncana subcircumnadifer* Gandolfi, *Contusotruncana patelliformis* (Gandolfi). Изученный танатоценоз принадлежит к промежуточному типу. Промежуточная зона простирается от 8°с.ш. до 15° ю.ш. (рис. 2).

Субтропическая западная океаническая фауна ПФ изучена в отложениях зоны *Gansserina gansseri*, вскрытых скважинами 171, 305, 313, 463 и 465

(рис. 1). Величина различия видового состава комплексов скважин 305 и 465 составляет 1.1, а для комплексов скважин 305 и 171 – 1.66. Полученные данные по величине различия комплексов ПФ нанесены на карту (рис. 1).

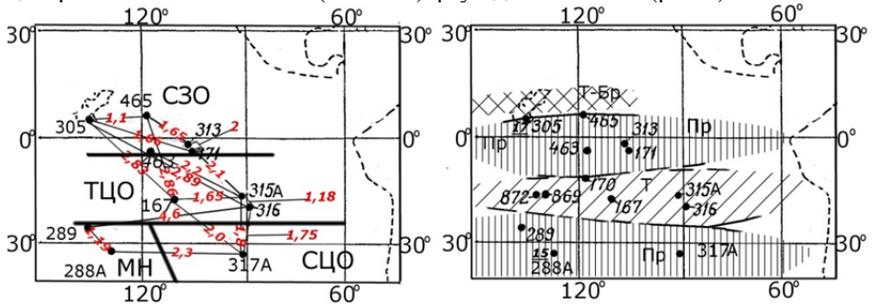
Несколько южнее в отложениях вскрытых скважинами DSDP Sites 167, 315A и 316, преобладают виды, имеющие крупную, шиповатую, часто снабженную киями раковину с крупной апертурой. Большинство из них относятся к тропической группе. Общая численность раковин «тропических видов» составляет 39%. Доминируют виды: *Peudoguembelina excolata* (Cushman), и *Contusotruncana patelliformis* (Gandolfi). Численность раковин субтропической группы, среди которых преобладают *Globotruncana arca* (Cushman) и *Globotruncanita stuarti* (Lapparent), составляет 33%. Виды умеренной группы представлены единичными раковинами. Описанный танатоценоз, вероятно, принадлежит к тетическому типу. Тетическая зона занимает акваторию от 15° до 20° ю.ш. (рис. 2).

Тропическая центральная океаническая фауна ПФ, изучена в скважинах 167, 315A, 316 (рис. 1). Величина различия комплексов из разных районов ее распространения не превышает 1.65 (рис. 1). Величина различия комплексов фаун ТЦО и СЗО значительно больше. Например, для видового состава комплексов скважин 463 и 315A эта величина составляет 2.2; для комплексов скважин 316 и 305 – 2.89 (рис. 1).

Комплекс ПФ из отложений зоны Gansserina gansseri, вскрытых скважиной DSDP Site 317A, отличается разнообразием родовых и видовых таксонов. Однако доминирующие значение приобретают виды субтропической группы: *Globotruncana arca* (Cushman), *G. falsostuarti* Sigal, *Globotruncanita conica* (White), *G. pettersi* (Gandolfi), *Globotruncanella petaloidea* (Gandolfi), численность их раковин составляет 41%. Раковины видов тропической и умеренной групп обнаружены в равных количествах – по 16%. Описанный танатоценоз, вероятно, принадлежит к промежуточному типу (промежуточная зона (рис. 2) и представляет собой Субтропическую центральную океаническую фауну. Величина различия комплекса ПФ скважины 317A с комплексами Тропической центральной фауны равна 1.75 (скв. 316), 1.80 (скв. 315A), 2.0 (скв. 167) (рис. 1).

В районе Меланезийской котловины одновозрастные отложения вскрываются скважинами DSDP Sites 288A и 289. Выявленный комплекс ПФ не отличается разнообразием родовых и видовых таксонов. Преобладают раковины рода глоботрункана. Часть из них: *Globotruncana arca* (Cushman) и *G. falsostuarti* Sigal относятся к субтропической группе, кроме того эта группа представлена видами *Globotruncanita stuarti* (Lapparent), *Globotruncanella havanensis* (Voogwijk). Однако суммарная численность субтропических раковин составляет 43%, а тропических – всего 12%. В тропической группе тоже доминируют глоботрунканы, представленные видами *Globotruncana rosetta* (Carsey), и *G. aegyptiaca* Nakkady. Раковины видов умеренной группы (в основном *Hedbergella*

holmdelensis Olsson) и малочисленные экземпляры *Heterohelix punctulata* (Cushman) составляют 18%. Изученный комплекс ПФ характеризуется чертами несколько обедненного промежуточного типа танатоценоза (рис. 2). В скважинах 288А и 289 выявлена Меланезийская неритическая региональная фауна. Величина различия видового состава комплексов ПФ скважин 288А и 289 составляет 1.19. Различие видового состава комплексов Меланезийской неритической региональной (скв. 288А) и Субтропической центральной океанической (скв. 317А) фаун равна 2.3, а – комплексов Меланезийской неритической региональной (скв. 289) и Тропической центральной океанической (скв. 316) фаун достигает 4.6 (рис.1).



● 738 1 — 2 — 3 — CZO 3 — TCO 4 — CCO 5 — MH 6 — 6,8 — 7 — 8 — 9 — T 9 — Pr 10 — 11 — 12

Рисунок 1. Области распространения неритической региональной и океанических типов фаун в маастрихте

Рисунок 2. Климатическая зональность в раннем маастрихте

1 – скважины глубоководного бурения; 2 – границы распространения различных типов фаун; 3–6 – типы фаун: 3–5 – океанические: 3 – субтропическая западная, 4 – тропическая центральная, 5 – субтропическая центральная; 6 – меланезийская неритическая региональная; 7 – величина различия видового состава комплексов ПФ; 8 – границы климатических зон; 9–12 – климатические зоны: 9 – тетическая, 10 – промежуточная, 11 – теплобореальная; 12 – палеотемпературы

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы о климатических условиях, которые в начале маастрихта были развиты в Тихом океане.

1. В начале раннего маастрихта продолжилась тенденция к похолоданию, которое охватило тихоокеанскую акваторию в конце кампанского века [5]. Севернее 8° с.ш. наметилась теплобореальная подзона. Тетическая зона сузилась, заняв акваторию от 15° до 20° ю.ш.

2. В южном полушарии было значительно теплей, чем в северном.

3. На основании различия видового состава, фауна ПФ подразделяется на неритическую региональную и океаническую широтно-зональную: субтропическую западную, тропическую центральную и субтропическую

центральную океанические фауны. В пределах области распространения каждого из перечисленных типов фауны величина различия комплексов ПФ из разных скважин не превышает 1.65. Самая маленькая величина различия (1.1) отмечена в начале маастрихта в области распространения субтропической западной фауны. Между комплексами ПФ, сформировавшимися в областях распространения разных океанических типов фауны, эта величина колеблется от 1.71 до 2.90. Самая большая величина различия (до 4.6) наблюдается между комплексами ПФ, сформировавшимися в областях распространения Меланезийской неритической региональной и океанических фаун.

Автор выражает глубокую благодарность комитету «Curatorial Advisory Board» за передачу образцов кернов глубоководного бурения, без которых данная работа была бы невозможна. Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0128-2021-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А., Седов А.П. Глобальные палеогеодинамические реконструкции для последних 160 млн. лет // Геотектоника. 1984. № 3. С. 3–16.
2. Coccioni R., Premoli Silva I. Revised Upper Albian–Maastrichtian planktonic foraminiferal biostratigraphy and magnetostratigraphy of the classical Tethyan Gubbio section (Italy) // Newsletters on Stratigraphy. 2015. V. 48. № 1. P. 47–90.
3. Соколова Е.А. Палеоокеанологические реконструкции Тихого океана для конца позднего мела (маастрихт) по планктонным фораминиферам. М.: ВИНТИ, 1998. N 1351-В 98. 174 с.
4. Zakharov Y.D., Popov A.M, Shigeta Y. et al. New Maastrichtian oxygen and carbon isotope record: Additional evidence for warm low latitudes // Geosciences Journal. 2006. V. 10. № 3. P. 339–359.
5. Саидова Х.М., Соколова Е.А. палеобиогеографические реконструкции для конца позднего кампана по планктонным фораминиферам в Тихом океане // Океанологические исследования. 2023. Т. 51. № 2. С. 48–69. doi: 10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(2).3.
6. Саидова Х.М. Палеогеографические реконструкции мезозоя Тихого океана по фораминиферам // Тез. докл. IV Всесоюзной школы морской геологии М. 1980. Т. 1. С. 65–66.

Data on the species composition of planktonic foraminifera (PF) shells in Maastrichtian sediments recovered by fourteen boreholes in the low paleolatitudes of the Pacific Ocean are analyzed. Based on the difference in species composition, the fauna of the PF is subdivided into neritic regional and oceanic latitudinal-zonal. For each section, the type of PF thanatocenosis was determined and the belonging of the regions to one or another climatic zone was established. It turned out that in the studied water area the climate remained even and cool throughout the early Maastrichtian.

**Сапелко Т.В., Русанов А.Г., Игнатьева Н.В., Газизова Т.Ю.,
Лапенков А.Е., Гузиватый В.В., Каретников С.Г.**

(Институт озероведения РАН-СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург, e-mail:
tsapelko@mail.ru)

**Древняя и современная связь оз. Липовского на
Кургальском полуострове с Балтийским морем
Sapelko T.V., Rusanov A.G., Ignatieva N.V., Gazizova T.V.,
Lapenkov A.E., Guzivaty V.V., Karetnikov S.G.**

(Institute of Limnology RAS-SPC RAN, St. Petersburg)

**Ancient and modern connection of Lake Lipovskoye on the
Kurgalsky Peninsula with the Baltic Sea**

Ключевые слова: Балтийское море, озерные отложения, макрофиты, пыльца, гидрохимия, голоцен

В результате изучения солоноватоводного оз. Липовского на южном побережье Балтийского моря получены данные гидрохимического анализа, распространения макрофитов, выявлены особенности отражения растительности в озерных отложениях по палинологическим данным поверхностных проб. Показаны первые результаты по колонке донных отложений, отражающие древнюю историю озера.

В Балтийском регионе есть множество озер, отделившихся от Балтийского моря в разные периоды поздне-последнего времени. Однако солоноватоводное оз. Липовское, расположенное на Кургальском полуострове на уровне моря, является уникальным для рассматриваемого региона, т.к. в настоящее время окончательно не потеряло связь с морем. Кургальский полуостров расположен в южной части Финского залива Балтийского моря между Нарвским заливом и Лужской губой. Северная часть полуострова, где находится оз. Липовское, сложена в основном анциловыми и литориновыми отложениями [1]. Первые исследования оз. Липовского были предприняты середине в XIX века, когда гидрографической партией выполнены первые промеры оз. Липовского. В 20-е годы XX века в связи со строительством порта исследования возобновились, построены первая батиметрическая карта озера и схема распределения грунтов. С 2019 г. Институтом озероведения РАН начаты новые исследования оз. Липовского, в основном его современного состояния [2]. С 2023 г. впервые предпринято изучение древней истории озера. Ранее в изучаемом регионе исследования озер в связи с их отделением от Балтики проводились на Нарвско-Лужской низменности [3] и на правом берегу р. Россонь в Нарвско-Лужском междуречье [4]. Судя по имеющимся реконструкциям для южной части Финского залива, озера Кургальского полуострова отделились от Балтики в период Литоринового трансгрессивно-регрессивного цикла [1, 5].

Площадь озера составляет 5.65 км², средняя глубина – 9.2 м, максимальная глубина – 16.9 м. При нагонных ветрах соленые воды Финского залива попадают в озеро, где, будучи более плотными, опускаются во впадины. Стоковые течения выносят из озера поверхностные пресные воды, соленые воды при этом остаются в глубоководных впадинах.

Согласно данным Института озераедения РАН, полученным в ходе исследования сезонной динамики гидрохимических показателей с марта по сентябрь 2019 г., по величине минерализации, составляющей в среднем 4.03 г л⁻¹, озеро относится к категории соленых. Удельная электропроводность (УЭП) в среднем 6320 мкСм см⁻¹. По классификации О.А. Алекина [6] вода озера относится к хлоридному классу, группе натрия, третьему типу, характерному для сильно минерализованных вод. Озеро вытянуто в меридиональном направлении, заток соленых вод происходит в его северную оконечность. В подледный период минерализация поверхностных и придонных слоев отличается на порядок, а соотношение главных ионов практически не подвержено пространственно-временным изменениям. Эпилимнион оз. Липовского достаточно хорошо аэрирован в течение года. Для весенне-летнего периода характерно стопроцентное насыщение или даже перенасыщение кислородом вследствие активного фотосинтеза, тогда как в осенне-зимний период относительное содержание О₂ снижается. Зимой в гиполимнионе отмечался дефицит кислорода, однако его содержание оставалось достаточно высоким (65–82%). В мае в глубоководной зоне содержание кислорода в придонном слое снизилось, а летом произошло дальнейшее снижение вплоть до полного исчезновения кислорода и образования сероводорода. Существование анаэробной зоны в придонной области устойчиво и сохраняется до конца сентября. Значение водородного показателя в озере изменяется в диапазоне от 6.00 до 8.38 (от слабокислых до слабощелочных вод). Валовое содержание фосфора (Рвал.) составляет от 0.020 до 0.355 мг Р л⁻¹, при этом средневзвешенное в столбе воды среднегодовое содержание Рвал. оценивается в 0.064 мг Р л⁻¹, что позволяет классифицировать озеро по фосфору как эвтрофный водоем. Среднегодовое средневзвешенное содержание валового азота (Нвал.) в озере составляет 0.53 мг N л⁻¹. Как и для фосфора, наибольшее содержание азота характерно для придонных слоев воды, находящихся в анаэробных условиях. Неорганические формы азота составляют от 5 до 91% Нвал. Содержание нитритов ничтожно мало, что типично для незагрязненных вод. Весовое отношение N/P в годовом цикле в среднем составляет 13, в период открытой воды – 9, т.е. в период наибольшего развития вегетационных процессов соотношение главнейших биогенных элементов в воде озера близко к оптимальному значению для развития фитопланктона. По полученным в августе 2023 г. новым данным, значения ряда гидрохимических показателей на оз. Липовском укладываются в соответствующие интервалы значений, полученных в 2019 г.: УЭП – 7780–

7852 мкСм см⁻¹; цветность – 11–16 град.; рН – 7.48–7.92; Рвал. – 0.028–0.043 мг Р л⁻¹; Рнеорг. – 0.003–0.005 мг Р л⁻¹; Nвал. – 0.29–0.31 мг N л⁻¹; NH⁴⁺ – 0–0.03 мг N л⁻¹; NO³⁻ – 0.009 мг N л⁻¹; NO²⁻ – не обнаружено. Таким образом, для большей части гидрохимических показателей оз. Липовского в настоящее время характерна ярко выраженная сезонная динамика. Периодический заток соленых вод из Финского залива в северную оконечность оз. Липовского в значительной степени определяет химический состав его воды и гидрохимический режим.

Подробное изучение современного распространения макрофитов в оз. Липовском выявило участие зарослей гелофитов, а также плавающих и погруженных гидрофитов в строении растительного покрова озера по занимаемой ими площади (таблица). В северной оконечности в районе протоки в Финский залив по берегам располагаются плотные заросли тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Среди зарослей тростника встречаются единичные куртины камыша озерного (*Scirpus lacustris* L.) и клубнекамыша морского (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla). Северная оконечность озера характеризуется обильным развитием погруженной растительности. В состав погруженного яруса водной растительности входят рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.), уруть очередноцветковая (*Myriophyllum alterniflorum* DC.), рдест гребенчатый (*Potamogeton pectinatus* L.), шелковник морской (*Batrachium marinum* Fries) и харовые водоросли (*Nitella* sp.). Влиянием морских вод на этом участке озера обусловлено развитие наяды морской (*Najas marina* L.), типичного вида солоноводных водоемов, занесенного в Красную книгу Ленинградской области [7]. По предварительным результатам водолазных исследований на оз. Липовском было установлено широкое распространение наяды морской почти по всему озеру до глубин 4 м. Еще один произрастающий вид из Красной книги – частуха злаковидная (*Alisma gramineum* Lej.). Вдоль западного и восточного берега озера высшая водная растительность представлена узкой полосой зарослей тростника с редкими включениями камыша озерного. Из погруженных растений вдоль берегов встречаются рдесты пронзеннолистный и гребенчатый, уруть очередноцветковая и харовые водоросли. Растения с плавающими на воде листьями представлены зарослями кубышки желтой (*Nuphar lutea* (L.) Smith). Заросли воздушно-водных растений (гелофитов) и погруженных гидрофитов доминируют в зарастании озера (таблица). Плавающие гидрофиты занимают менее 1% в общей площади зарастания. Общая площадь зарослей высшей водной растительности составляет 9.3% от площади озера. В целом, невысокая степень зарастания дна озера обусловлена незначительной площадью литорали, пригодной для произрастания водной растительности, что вызвано сильно выраженным уклоном дна вдоль западного и восточного берега озера.

Таблица. Участие гелофитов, плавающих и погруженных гидрофитов в растительном покрове оз. Липовского по занимаемой площади.

Экологическая группа	Площадь, га	Заросли, в % от общей площади	Заросли, в % от площади водоема
Гелофиты	26.6	50.6	4.7
Плавающие гидрофиты	0.4	0.8	0.1
Погруженные гидрофиты	25.6	48.7	4.5
Общая площадь	52.6	100.0	9.3

Для реконструкции древней истории озера и истории его соединения с Балтийским морем в марте 2023 г. со льда с глубины 4 м отобрана колонка донных отложений из оз. Липовского мощностью 5.8 м [8]. Донные отложения представлены серым глинистым слоистым алевролитом с черными прослоями гидротроилита и гиттией. Мощные песчаные прослои на глубине около 7 м и несколько прослоев в верхней части отложений свидетельствуют о неоднократном трансгрессивно-регрессивном цикле Балтики в голоценовый период. Основная роль в исследованиях принадлежит палинологическому анализу с изучением непыльцевых палиноморф и пыльце макрофитов с апробированием новой методики изучения роли макрофитов малых озер в реконструкции изменения уровня крупного водоема [9]. Впервые методика применяется для изучения изменения уровня моря. Помимо исследований современного распространения макрофитов и гидрохимических показателей изучены поверхностные пробы донных отложений оз. Липовского, отобранные зимой 2019 г. и зимой 2023 г. в одних и тех же точках, что позволило провести мониторинг современного состояния распространения водной и прибрежно-водной растительности в озере. Известно, что пыльца макрофитов плохо сохраняется в озерных отложениях, однако пробы из отложений, накопившихся за несколько лет, отобранные по всей площади озера, дали более полную информацию об отражении современной растительности в донных отложениях озера. Среди пыльцы макрофитов, найденной в поверхностных пробах оз. Липовского, определены *Potamogeton*, *Myriophyllum*, *Typha angustifolia*, *Isoetes lacustris*. При этом предварительные палинологические данные, полученные по верхней части колонки донных отложений, показывают несколько другой состав пыльцы макрофитов, что может свидетельствовать об изменениях озерной экосистемы за последнее время. Летом 2023 г. также отобраны поверхностные пробы на озере, анализ которых возможно может несколько скорректировать уже полученные результаты.

В результате получены данные по современному состоянию оз. Липовского, которые показали мезотрофный статус озера и позволили отнести озеро к солонатоводным. При этом в истории озера по

предварительным результатам палинологического анализа колонки и поверхностных проб донных отложений происходили изменения состава растительности озера, что возможно было связано с изменениями гидрохимических показателей и изменением уровня моря.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00128, <https://rscf.ru/project/23-27-00128/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rosentau, A., Muru, M., Kriiska, A. et al. Stone age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland // *Boreas*. 2013. V. 42 (4). P. 912–931.
2. Станиславская Е.В., Афанасьева А.Л., Павлова О.А. Альгофлора озер заказника «Кургальский» (Ленинградская область) // *Поволжский экологический журнал*. 2021. № 3. С. 335–347. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-335-347>
3. Sandgren P., Subetto D.A., Berglund et al. Mid-Holocene Littorina Sea transgressions based on stratigraphic studies in coastal lakes of NW Russia // *GFF*. 2004. V. 126. P. 363–380.
4. Сапелко Т.В., Герасимов Д.В., Крийска А. и др. Радиоуглеродное датирование в междисциплинарных археологических и палеолимнологических исследованиях на р. Россонь, Нарвско-Лужская низменность. // *Радиоуглерод в археологии и палеоэкологии: прошлое, настоящее, будущее*. СПб: ИИМК РАН, РГПУ. Самара: СГСПУ/ОО «Порто-принт», 2020. С. 79–80. <https://doi.org/10.31600/978-5-91867-213-6>
5. Rosentau A., Klemann V., Bennike O. et al. A Holocene relative sea-level database for the Baltic Sea// *Quaternary Science Reviews*. 2021. V. 266. 107071 <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107071>
6. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
7. Красная книга природы Ленинградской области. Т. 2. Растения и грибы. СПб.: Мир и Семья, 2000. 672 с.
8. Сапелко Т.В., Лапенков А.Е., Газизова Т.Ю. и др. Особенности озерного осадконакопления на Кургальском полуострове в южной части Финского залива // XXXVII пленум Геоморфологической комиссии РАН. Иркутск: Институт земной коры СО РАН. 2023. С. 303–306.
9. Газизова Т.Ю., Сапелко Т.В. Обоснование значения пыльцы макрофитов для палеолимнологических реконструкций на примере озер о. Лункулансаари на северо-востоке Ладожского озера // *Биосфера*. 2020. № 4. С. 21–30.

On the Baltic Sea southern coast as a result of studying the brackish Lake Lipovskoye obtained data from hydrochemical analysis, the distribution of macrophytes and identified features of the vegetation reflection in the lake surface sediments based on pollen data. The first results on the lake sediment core we shown reflecting the ancient lake history.

**Сивков В.В.^{1,2}, Баширова Л.Д.^{1,2}, Дорохова Е.В.^{1,2},
Дорохов Д.В.^{1,2}, Напреенко М.Г.¹,
Напреенко-Дорохова Т.В.¹, Пономаренко Е.П.¹,
Мычко Э.В.^{1,2}, Бубнова Е.С.^{1,2}, Кулешова Л.А.¹,
Алексеев В.И.^{1,2}**

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: vadim.sivkov@atlantic.ocean.ru; ²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград)

Геолого-геофизические и палеоокеанологические исследования в бассейне Атлантического океана в 2015–2022 гг.

**Sivkov V.V.^{1,2}, Bashirova L.D.^{1,2}, Dorokhova E.V.^{1,2},
Dorokhov D.V.^{1,2}, Napreenko M.G.¹,
Napreenko-Dorokhova T.V.¹, Ponomarenko E.P.¹,
Mychko E.V.^{1,2}, Bubnova E.S.^{1,2}, Kuleshova L.A.¹,
Alekseev V.I.^{1,2}**

(¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; ²Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad)

Geological, geophysical and palaeoceanological investigation in the Atlantic Ocean Basin (2015–2022)

Ключевые слова: контуритовые дрифты, реконструкция палеоклимата, контурные течения, глубоководные проходы, Северо-Восточная глубинная вода, Северо-Атлантическая глубинная вода, Антарктическая донная вода, Балтийское море, инклюзы в янтаре

В 2015–2022 гг. Атлантическим отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН проводились исследования по четвертичной палеоокеанологии и современным процессам осадконакопления в Атлантическом океане и Балтийском море. В Атлантическом океане изучены контуритовые осадки и реконструированы придонные условия в плейстоцене-голоцене. В Юго-Восточной Балтике и на приморских территориях детализирована голоценовая история региона, получены новые данные по стратиграфии и палеонтологии палеогена.

В *Атлантическом океане* в основном изучались контуритовые дрифты, сформированные под влиянием Северо-Атлантического глубинного течения (САГТ) и Антарктического придонного течения (ААПТ). Данные по распределению взвеси обобщены на субэкваториальном разрезе.

Дрифты САГТ в Северной Атлантике. В районе дрифта Гардар выявлены голоценовые вариации течения Северо-Восточной глубинной воды (СВГВ). Показано, что с начала голоцена происходило его заглупление. Значительная интенсификация течения произошла в последнюю тысячу лет. Выявлены 1500–1600-летние циклы изменчивости течения СВГВ. По значениям $\delta^{13}\text{C}$ отмечено постепенное увеличение доли

вод Норвежского бассейна в СВГВ. Температура поверхностных вод во время холодных событий голоцена снизилась на 0.5°C , исключение составляет событие Бонда 4 (5.9 т.л.н.), когда температура снизилась на 1.5°C . Уменьшение доли умеренного вида планктонных фораминифер *G. inflata*, обитающего в подповерхностных водах (глубина более 150 м), четко маркирует холодные события голоцена. Среднеплейстоцен-голоценовые осадки *дрифтов Хаттон и Снорри* сформированы под влиянием контурных течений, скорость которых увеличивалась в теплые климатические периоды. Одновозрастные осадки расположенного южнее реликтового *дрифта Глория* являются в основном IRD-содержащими гемипелагитами, которые не были подвержены влиянию течений, а значит и вариациям климата. Только в юго-восточной части дрифта были выявлены усиления придонного течения, синхронные с потеплениями климата [1, 2]. В южном канале *разлома Чарли-Гиббс* обнаружен безымянный «канальный» дрейф позднплейстоцен-голоценового возраста. Выявлена слабая взаимосвязь контурных течений с долговременной климатической цикличностью, отмечено замедление течений во время событий Хайнриха. Подстилающие осадки представлены турбидитами, отложившимися в результате локального катастрофического события (массивного оползня), произошедшего около 27 тыс. лет назад [3]. В северном канале также обнаружено осадочное тело, примыкающее к южному склону и имеющее позднплейстоцен-голоценовый возраст, – контуритовый дрейф, позднплейстоценовые-голоценовые осадки которого имеют смешанную природу (контуриты и пелагиты). Результаты минералогического анализа указывают на постепенное усиление интенсивности течения СВГВ, начиная с раннего-среднего голоцена. В обоих каналах разлома осадки формируются СВГВ, причём в северном канале влияние течения этой водной массы более значимо.

Дрифты ААПТ в Центральной Атлантике. В южной части котловины Зеленого мыса на пути современного ААПТ контуритовый дрейф не был обнаружен. Тем не менее, по результатам изучения осадков выявлено преобладающее влияние Антарктической придонной водной массы (ААДВ) в течение последних 500 тыс. лет. Экспансия Северо-Атлантической глубинной водной массы отмечена во время теплых климатических фаз, сокращение продукции этих вод – в пределах холодных климатических интервалов. В поверхностных водах этого района океана биопродуктивность увеличивалась во время МИС 13/12 и МИС 1, а также в начале МИС 11, 9, 7, что связано со сдвигом внутритропической зоны конвергенции в северном направлении. Постепенное углубление верхнего квазиоднородного слоя (ВКС), предположительно, началось с МИС 5 и продолжается по настоящее время. Этим интервалам, характеризующимся повышенной биопродуктивностью поверхностных вод, предшествовало усиление глубоководного апвеллинга и сокращение ВКС [4]. Обнаруженное к северу от *глубоководного прохода Кейн* (поднятие Сьерра-Леоне) осадочное тело идентифицировано как контуритовый дрейф. По его

осадкам реконструирована среднеплейстоцен-голоценовая изменчивость течения ААДВ, его скорость не всегда была связана с климатическими колебаниями. Усиление течения происходило только во время похолоданий МИС 4 и 5, а также во время Терминаций I (МИС 2/1) и II (МИС 6/5) [5]. В южной впадине *глубоководного прохода Дискавери* (Азоро-Гибралтарский трансформный разлом) вдоль возвышенностей были обнаружены небольшие позднечетвертичные контуритовые дрифты. Во время и по окончании ледниковых стадий (МИС 6/5, 4/3 и 2/1) течение трансформированной ААДВ усиливалось, что отразилось в исследуемых осадочных разрезах повышением содержания терригенного материала и усилением растворения карбоната кальция. В проходе выявлена высокая мозаичность донных ландшафтов и биоценозов по сравнению с прилегающими абиссальными равнинами [6, 7].

Взвешенное осадочное вещество. На субэкваториальном разрезе выявлены крупномасштабные особенности пространственной неоднородности концентрации и гранулометрического состава взвеси, уточнены параметры придонного нефелоидного слоя. Показано, что аномально высокие концентрации взвеси над возвышенностью Сьерра-Леоне являются откликом на высокую биопродуктивность Канарского апвеллинга [8].

В *Балтийском море* уточнены морфологические и литологические особенности *контуритовых дрифтов*, обнаруженных в Борнхольмской, Готландской и Гданьской впадинах. Периоды интенсификации придонных течений (затоков североморских вод) приходятся на климатический оптимум голоцена. По бентосным фораминиферам подтверждена взаимосвязь между интенсивностью затоков и вариациями индекса Северо-Атлантического колебания [9]. Результаты многолетних исследований концентрации взвеси обобщены на осевом разрезе. Распределение взвеси характеризуется высокими значениями концентрации в поверхностном слое моря, обусловленными биопродуктивностью, «чистым» промежуточным слоем и придонным нефелоидным слоем, мощность которого зависит от гидродинамической активности. На увеличение концентрации взвеси во впадинах моря могут влиять изменения форм миграции осадочного вещества на окислительно-восстановительном барьере. [10]. В юго-восточной части Балтийского моря на поверхности позднеплейстоценовых плотных ледниковых и озерно-ледниковых отложений выявлены борозды айсбергового выпаживания (плугмарки) [11]. По направлению плугмарков определено преобладающее направление дрейфа айсбергов – с северо-запада на юго-восток. Обнаружены также погребенные плугмарки, перекрытые морскими голоценовыми илами. На террасированном подводном склоне Самбийского полуострова (Калининградская область), сложного преимущественно палеогеновыми и меловыми отложениями, уточнены глубины подошвы абразионных уступов, что позволило скорректировать кривую относительного изменения уровня моря в юго-восточной части Балтийского моря [12]. Детализированы

морфометрические параметры погребенных палеодолин и реликтовых субаквальных дюн, которые локально перекрывают слоистые отложения предполагаемых лагунных илов, сформировавшихся на ранней стадии развития Куршского залива.

На *территории Калининградской области* впервые выявлены основные закономерности развития лесных и болотных экосистем на каждом этапе голоцена, определены растительные сообщества, сформировавшие торфяную массу болот, и посчитаны скорости торфонакопления. Детально прослежена трансформация затопляемых лесоболотных комплексов в мелководную лагуну *Куршского залива*. Трансформация происходила последние 7 тыс. лет и включала в себя регрессию моря (около 5.6 т.л.н.) и начало последней его трансгрессии (примерно 1.1 т.л.н.) [13]. Для низинного восточного побережья залива (палеодельта реки Неман) выполнена периодизация позднечетвертичного развития ландшафта, в частности определено время начала формирования дельтового ландшафта (2.7 т.л.н.). Прослежены голоценовые сукцессии болот *Куршской косы*, которые привели к образованию мощных отложений торфов и сапропелей [14].

По палинологическим данным уточнены стратиграфические подразделения палеогеновых и неогеновых отложений на калининградском побережье [15]. Описан новый вид динофлагеллат из верхнего эоцена региона [15]. Собранная в верхнеэоценовых отложениях богатая коллекция ископаемых послужила основой для масштабной ревизии ископаемых [16]. Известные данные по стратиграфии и палеонтологии Калининградской области актуализированы, дополнены результатами собственных сборов и опубликованы в виде научно-обзорной монографии [17].

По результатам изучения инклюзов в балтийском янтаре проанализированы возможные экологические предпочтения вымерших таксонов, что дает материал для реконструкции палеоэкологии и палеоклимата территории Руссо-Скандии в эоцене. Описано 34 новых для науки ископаемых вида насекомых, впервые для балтийского янтара приведены данные по представителям трех семейств жесткокрылых [например, 18, 19].

Работы выполнены в рамках госзадания ИО РАН (темы №№0149-2018-0012, 0149-2019-0013, FMWE-2021-0012), а также при финансовой поддержке грантов РФФИ (№№14-50-00095, 18-77-10016, 19-17-00246, 22-17-00170) и РФФИ (№ 19-45-390001 р_а). Исследования дрейфа Гардар проводились благодаря поддержке академика А.П. Лисицына.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сивков В.В., Дорохова Е.В., Баширова Л.Д. Контурные течения Северной Атлантики в последнем ледниковом цикле // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 6. С. 994–1000.
2. Bashirova L. et al. Paleotemperature, geochemical and grain size data in Quaternary sediments from the Gloria Drift (Northwest Atlantic) // *Data in Brief*. 2018. V. 19. P. 758–761.
3. Баширова Л.Д. и др. Палеотечения в районе разлома Чарли-Гиббс в

позднечетвертичное время // Океанология. 2017. Т. 57 (3). С. 491–502.

4. Kuleshova L.A. et al. Changing sea-surface and deep-water conditions in the southern Cape Verde Basin during the mid-Pleistocene to Holocene // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2022. V. 594. P. 110921.
5. Sivkov V.V. et al. Study of the Contourite Drift north of the Kane Gap (eastern equatorial Atlantic) // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2019. V. 19. ES2008. P. 1–9.
6. Dorokhova, E.V. et al. Landscape Mapping, Ichnological and Benthic Foraminifera Trends in a Deep-Water Gateway, Discovery Gap, NE Atlantic // *Geosciences*. 2021. V. 11. P. 474.
7. Glazkova T. et al. Sedimentary processes in the Discovery Gap (Central–NE Atlantic): An example of a deep marine gateway // *Deep-Sea Research Part I*. 2022. V. 180. 103681.
8. Sivkov V., Bubnova E. Distribution of suspended particulate matter at the equatorial transect in the Atlantic Ocean // *Ocean Science*. 2021. V. 17(5). P. 1421–1435.
9. Ponomarenko E.P. Holocene palaeoenvironment of the central Baltic Sea based on sediment records from the Gotland Basin // *Regional Studies in Marine Science*. 2023. 102992. doi: 10.1016/j.risma.2023.102992
10. Сивков В.В., Емельянов Е.М., Бубнова Е.С. Концентрация и гранулометрический состав взвеси // Система Балтийского моря. М., 2017. С. 292–316.
11. Dorokhov D.V., Dorokhova E.V., Sivkov V.V. Iceberg and ice-keel ploughmarks on the Gdansk-Gotland Sill (south-eastern Baltic Sea) // *Geo-Marine Letters*. 2018. V. 38 (1). P. 83–94.
12. Dorokhov D.V. et al. Morphology and origin of the palaeo cliff area in the Sambia Peninsula nearshore (SE Baltic Sea) // *Quaternary International*. 2022. V. 630. P. 17–33. doi: doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.025
13. Druzhinina O. et al. Water Level Fluctuations in the Middle and Late Holocene in the Curonian Lagoon, Southeastern Baltic: Results of the Macrofossil and Phytolith Analyses // *Hydrology*. 2023. V. 10. 11.
14. Napreenko M.G., Napreenko-Dorokhova T.V., Matul A. Reconstructing the Holocene environments in the Russian sector of the Neman Delta, Kaliningrad Region // *Geological Quarterly*. 2021. V. 65(32).
15. Iakovleva A.I., Aleksandrova G.N., Mychko E.V. Late Eocene (Priabonian) dinoflagellate cysts from Primorsky Quarry, southeast Baltic coast, Kaliningrad Oblast, Russia // *Palynology*. 2022. V. 46. Is. 2. P. 1–40.
16. Мычко Э.В. и др. «Земля кранта» эоцена Самбийского полуострова: орикто-комплекс ископаемых и условия его формирования // Бюллетень МОИП. Отдел Геологический. 2021. Т. 96. Вып. 1. С. 1–66.
17. Мычко Э.В. Ископаемая летопись Янтарного края: естественная история Калининградской области. М.: “Фитон XXI”, 2022. 320 с.
18. Alekseev V.I. et al. The first described turtle beetles from Eocene Baltic amber, with notes on fossil Chelonariidae (Coleoptera: Byrrhoidea) // *Fossil Record*. 2021. V. 24. P. 19–32.
19. Alekseev V.I. et al. The first representative of the family Teredidae (Coleoptera: Coccinelloidea) in the fossil record // *Historical Biology*. 2022. V. 34 (11).P. 2224–2229.

In 2015–2022, the Atlantic Branch of the Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences conducted research on Quaternary paleoceanography and modern sedimentary processes in the Atlantic Ocean and the Baltic Sea. In the Atlantic, contourites were studied during the Pleistocene-Holocene, and near-bottom conditions were reconstructed. In the south-eastern part of the Baltic Sea and its coastal areas, the Holocene history of the region was detailed, and new data on Paleogene stratigraphy and paleontology were obtained.

**Смирнова К.М., Новичкова Е.А., Матуль А.Г.,
Сломнюк С.В., Кравчишина М.Д.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: skm98@mail.ru)

**Палеоокеанологические реконструкции обстановок
осадконакопления в Карском море в голоцене**

**Smirnova K.M., Novichkova E.A., Matul A.G., Slomnyuk S.V.,
Kravchishina M.D.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Paleoceanological reconstructions of sedimentation
environments in the Kara Sea in the Holocene**

Ключевые слова: палеоэкология, Карское море, бентосные фораминиферы, таксономия, статистический анализ.

В данной статье представлены результаты микропалеонтологического анализа донных осадков района Карского моря. В осадках были изучены ассоциации бентосных фораминифер и выделены пять экозон. Проведена реконструкция возможных условий среды.

Фораминиферы, как одна значимых частей зоопланктона, являются чувствительным индикатором окружающей среды, в то время как их раковины хорошо сохраняются в донных осадках. Наиболее представительной для палеореконовструкций является группа бентосных фораминифер (БФ), обитающая во всех зонах моря, начиная от супралиторали до максимальных глубин абиссали. Объектом наших исследований является колонка АМК-7440, отобранная трубкой большого диаметра (ТБД) в ходе 89-го рейса (1 этап) НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре 2022 г. в юго-западной части Карского моря с глубины моря 99 м, которая вскрывает толщу морских осадков мощностью 639 см (рисунки).

Целью данной работы являлись реконструкции палеоокеанологических обстановок осадконакопления в юго-западной части Карского моря по результатам проведения микропалеонтологического фораминифероового анализа.

По результатам магнито- и спектрофотометрии керна, а также благодаря анализу литературных данных [5], предполагаемый возраст осадков колонки может составлять около 7–18 тыс. кал. лет.

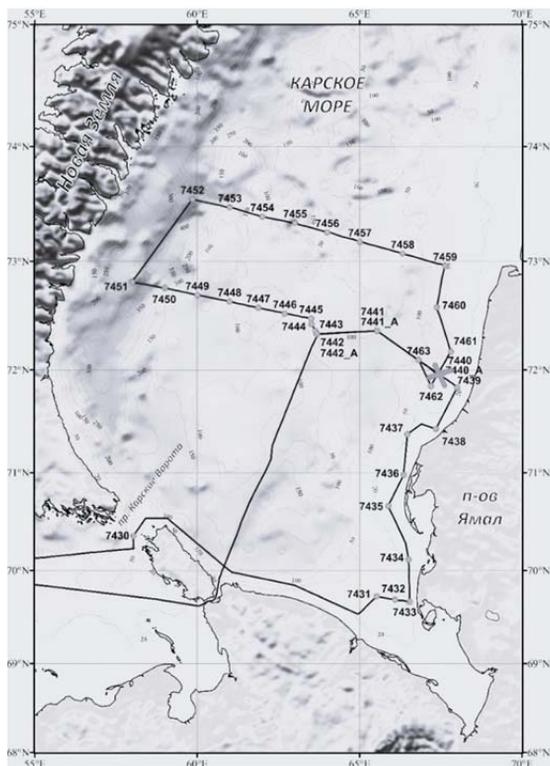


Рисунок. Карта станций отбора осадков в 89-1 рейсе АМК.

Для предварительного анализа ассоциаций бентосных и планктонных фораминифер, взвешенный осадок (с интервалом 10 см в колонке) фильтровался через сито фракции >0.063 мм в связи с небольшими размерами раковин бентосных фораминифер в Арктике. В готовых препаратах насчитывали, как правило, 30–150 экземпляров микрофоссилий, определяли таксоны, их относительное содержание (%) в тех интервалах, где был произведен статистически необходимый расчет, и абсолютную концентрацию (экз./г. сухого осадка). Просмотр микрофоссилий производился под стереомикроскопом Zeiss Stemi 508 с увеличением 25x. Планктонные фораминиферы в изученных пробах встречены не были.

По результатам анализа бентосных фораминифер в осадках колонки АМК-7440 установлено, что их ассоциация представлена 28 видами. Видовое разнообразие БФ изменяется от 2 до 12 видов на пробу.

Концентрации БФ в колонке достигают максимальных значений 142 экз./г. – на глубине 140–141 см, а минимальные концентрации 2 экз./г. – на 10–11 см в осадках колонки. По результатам анализа ассоциаций БФ

установлено, что доминирующими видами являются *Cassidulina reniforme* и *Elphidium clavatum*.

Вид *Cassidulina reniforme* является типичным арктическим представителем группы БФ, ассоциированным в Карском море с холодными и распресненными арктическими водами, а также характерным видом для зоны дрейфующих льдов, особенно при совместном нахождении в осадках вместе с видом *Elphidium clavatum*. В редких случаях *C. reniforme* указывает на периодические бескислородные условия на морском дне [1]. В исследуемой колонке концентрации данного вида достигают 35 экз./г., в то время как его доля в ассоциации БФ доходит до 48%.

Второй по значимости доминирующий вид *Elphidium clavatum* – оппортунистический вид, встречающийся практически повсеместно, часто достигает высокой численности в стрессовых обстановках с ярко выраженной сезонностью в поступлении питательных веществ, таких как, например, в зонах контакта речных и морских вод [1, 2]. Его концентрации в осадках колонки достигают 66 экз./г., а его содержание в составе ассоциации БФ доходит до 48%.

Доля вида *Nonion labradoricum*, встречающегося в арктических морях в высокопродуктивных зонах и часто являющегося индикатором близости границы сезонных льдов [2], достигает в составе ассоциаций БФ 17%, в то время как его максимальные концентрации в осадках колонки составляют 13 экз./г.

Одним из индикаторных видов, установленных в составе ассоциаций БФ в колонке АМК-7440, является вид *Islandiella norcrossi*, характерный для условий с высокой сезонной продуктивностью [3]. Кроме того, присутствие данного вида в осадках является признаком возрастания глубин и уменьшения притока пресных вод. В колонке данный вид достигает максимальных концентрации до 5 экз./г., а его содержание в составе ассоциаций доходит до 12%.

Особое внимание в ассоциации БФ привлекает вид *Cibicides lobatulus*, относящийся к эпифауне и характерный для активных гидродинамических обстановок. Данные условия часто возникают в результате перемешивании атлантических и арктических вод, а, следовательно, данный вид может считаться индикатором североатлантических вод в Арктике [1, 2, 4]. Максимальные концентрации данного вида в колонке АМК-7440 достигают 1 экз./г., однако его содержание в составе ассоциаций не превышает 3.6%.

Таким образом, по результатам содержания и состава БФ в колонке можно выделить пять экозон, которые, в целом, указывают на общие нормально-морские условия, но с небольшими отклонениями.

Для интервала 639–520 см установлены концентрации БФ от 6 до 34 экз./г. В данном интервале максимальное содержание в ассоциации БФ достигает вид *Elphidium clavatum* (до 48%), характеризующий арктические нормально-морские условия. Вторым по значимости видом является

Cassidulina reniforme, доля которого достигает 31%, который также указывает на данные условия в целом для этой части колонки.

Интервал 520–170 см выделяется наиболее сильно, так как благодаря повышенным концентрациям БФ от 3 до 50 экз./г. произведен статистически необходимый насчет (до 100 шт.) и, следовательно, подсчитана доля отдельных видов БФ в осадках. В данном интервале максимальное содержание в ассоциации БФ достигают виды *Elphidium clavatum* (до 43%) и *Cassidulina reniforme* (до 48%). Доминирование данных видов в ассоциации указывает на арктические нормально-морские условия в целом для интервала. Тем не менее, наличие в осадках вида *Cibicides lobatulus* (не более 3.6%) на глубинах 180, 250, 270, 440, 450 и 500 см может свидетельствовать о притоке североатлантических вод в юго-западную часть Карскоморского шельфа. На глубине 190–191 см установлено наличие вида *Nonion labradoricum* (до 5%), встречающегося в арктических морях в высокопродуктивных зонах и часто являющегося индикатором близости границы сезонных льдов.

Для интервала 170–110 см характерны повышенные концентрации БФ, доходящие до 141 экз./г. В данном интервале максимальное содержание в ассоциации БФ достигают виды *Elphidium clavatum* (35–58%) и *Cassidulina reniforme* (10–39%). Преобладание данных видов характерно для арктических нормально-морских условий. Тем не менее, в интервале 140–151 см установлено наличие вида *Nonion labradoricum*, характерного для условий высокой сезонной продуктивности, а также о приближения к колонке границы сезонных льдов.

В интервале 110–40 см значения концентрации БФ изменяются от низких (3 экз./г.) до средних (45 экз./г.). В данном интервале максимальное содержание в ассоциации БФ достигает вид *Elphidium clavatum*, его доля в ассоциации составляет от 25 до 53%, и вид *Cassidulina reniforme* (20–75%). Доминирование этих видов-индикаторов указывает на арктические нормально-морские условия бассейна в целом для этого интервала.

В интервале 40–0 см концентрации снижаются, их значения изменяются от 15 до 3 экз./г. В данном интервале максимальное содержание в ассоциации БФ достигает вид *Elphidium clavatum* (от 27 до 59%), что свидетельствует об арктических нормально-морских условиях. Также, в этом интервале присутствует вид *Cassidulina reniforme*, доля которого изменяется от 18 до 66%. Следует отметить, что на глубине 30–31 см в осадках колонки появляется вид-индикатор активных гидрологических условий и притока теплых атлантических вод *Cibicides lobatulus* (3.6%).

Таким образом, по результатам микропалеонтологического анализа можно предположить, что осадки нижней части колонки (410–639 см) накапливались в нормальных морских условиях арктического бассейна с привнесом терригенного материала, о чем свидетельствует наличие видов-индикаторов опресненных обстановок. Для средней части колонки (210–410

см) предварительно реконструируются опресненные морские условия с ростом сезонной продуктивности. Осадки верхнего слоя (0–210см) формировались в нормальных морских условиях, близким к современным.

Высокая численность типичных арктических видов *Elphidium clavatum* и *Cassidulina reniforme*, в интервале 170–511 см, позволяет отнести данную часть осадков колонки к типичным послеледниковым (возраст до 10 тыс. кал. лет).

Авторы благодарят экипаж НИС «Академик Мстислав Келдыш» а также всех участников экспедиции за помощь при работе с донными осадками.

Работа выполнена в рамках проекта РФФ № 21-17-00235.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hald M., Korsun S. Distribution of modern benthic foraminifera from fjords of Svalbard, European Arctic // Journal of Foraminiferal Research. 1997. № 27. P. 101–122.
2. Murray J. Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
3. Pogodina I.A. Distribution of benthonic and planktonic foraminifera in deposits of the Storfjord trough, in the western Barents Sea // Polish Polar Studies. XXVI Polar Symposium, Lublin, June 1999. P. 203–214.
4. Schroder-Adams C.J., Cole F.E., Medioli F.S et al. Recent Arctic shelf foraminifera: seasonally ice covered areas vs. perennially ice covered areas // Journal of Foraminiferal Research. 1990. № 20. P. 8–36.
5. Stein R., Dittmers K., Fahl K. et al. Arctic (paleo) river discharge and environmental change: evidence from the Holocene Kara Sea sedimentary record // Quaternary Science Reviews. 2004. № 23. P. 1485–1511.

This paper presents the results of micropaelontological analysis of bottom sediments in the Kara Sea region. In sediments, benthic foraminifera were studied, five ecozones were identified. The reconstruction of possible environmental conditions was carried out.

Сорокин В.М.¹, Росляков А.Г.¹, Лукша В.Л.¹, Демонов А.П.²

(¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, e-mail: vsorok@rambler.ru; ²ООО «Сабси Сервей Солюшенс», г. Москва)

Типы осадочных процессов в западной части Черного моря в позднечетвертичное время

Sorokin V.M.¹, Rosljakov A.G.¹, Luksha V.L.¹, Demonov A.P.²

(¹Lovonosov Moscow State University; ²ООО Sudsea Service Solution, Moscow)

Types of sedimentary processes in the western Black Sea during Late Quaternary time

Ключевые слова: позднечетвертичный, осадки, осадконакопление, Черное море

В западной части Черного моря в зависимости от тектонического и физико-географического положения, изменения климатических условий и колебаний уровня водоема реализуются различные типы осадочного процесса, определяемые разными ведущими механизмами и процессами

1. Черное море – уникальный внутриконтинентальный водоем, в западной глубоководной впадине которого накопилось более 10 км осадочных отложений. Особенности региона являются: контрастное тектоническое строение северного и южного обрамления, шельфа (платформенные области и альпийские складчатые сооружения Балканид и Понтид) и глубоководной впадины с субокеаническим типом земной коры, что выразилось в геоморфологической структуре дна; контрастные изменения климата в ледниковую эпоху; многократные изменения уровня моря, определившие характер связи со Средиземным морем и, как следствие, смену морских и пресноводных (озерных) режимов с особыми океанологическими характеристиками. Все эти условия осадконакопления отразились в типах осадочного процесса, обусловили различное их сочетание во время оледенений и межледниковий и привели к формированию сложно построенной толщи четвертичных осадков.

Цель исследования – выделение, характеристика и выявление роли различных типов позднечетвертичного осадконакопления в западной половине Черного моря как природной модели, основанной на изучении последнего цикла межледниковье – оледенение – послеледниковье, для лучшего понимания развития осадочного процесса в ледниковый период.

2. Работа основана на результатах обработки более 100 разрезов позднечетвертичных осадков, вскрытых грунтовыми трубками на шельфе, континентальном склоне и глубоководной впадине в западной половине Черного моря, а также материалов НСП и эхолотирования на ряде участков впадины.

3. Формирование наиболее изученных позднечетвертичных отложений Черного моря происходило в результате комплексного воздействия целого

ряда природных условий и их изменений во времени. К ним относятся: 1) различное геологическое и геоморфологическое положение участков дна, 2) циклические контрастные флуктуации климата в ледниковые и межледниковые эпохи, 3) значительные колебания уровня, влияющие на связь со Средиземным морем, 4) физические и химические свойства водной массы, 5) характеристики органического мира. Все эти параметры обусловили развитие и сочетание разных типов осадочных процессов, приведших к образованию сложно построенных фациальных и генетических комплексов отложений. Нами выделены следующие их типы.

Волновые процессы наиболее полно изучены в современном Черном море. Их результатом является накопление песчаных осадков разного вещественного состава в мелководной зоне бассейна, определяемой глубиной волнового воздействия на дно и околтуренной изобатой 30 м.

Флювиальные процессы определяются действием речного стока и регулярными течениями. Их результатом является разнос аллювиального осадочного материала Днепра и Южного Буга на расстояние в несколько десятков км с формированием обширного участка глинистых осадков среди грубозернистых осадков волнового поля. Вторым примером формирования отложений течений является западный шельф Черного моря от дельты Дуная вдоль побережья Румынии и Болгарии. Основная масса выносимого рекой алевритово-глинистого терригенного материала подхватывается западной ветвью циклонического течения и откладывается южнее м. Калиакра, образуя 2 крупных и мощных валообразных аккумулятивных тела со скоростью накопления до 2 мм/год, сложенных смесью алевритового и глинистого материала, со следами воздействия штормовых волн.

Биогенные процессы играют значительную роль в осадконакоплении западной половины Черного моря. На северо-западном шельфе в интервале глубин 30-70 м широко развиты раковинные осадки, являющиеся продуктом жизнедеятельности моллюсков. В позднечетвертичное время ареалы их распространения и состав существенно изменялись в зависимости от колебаний уровня моря. За пределами шельфа в сложении осадков принимал участие биогенный материал, представленный на разных этапах остатками известкового и/или кремнистого и бесскелетного (органического) планктона. В результате образовались уникальные сапропелевые и в ряде обстановок мощные диатомовые илы, связанные с апвеллингом.

На внешнем шельфе и в глубоководной впадине широко развиты **фоновые процессы**, приведшие к образованию в результате гравитационного осаждения терригенного и/или биогенного материала из поверхностной взвеси. Они представлены однородными по составу и текстуре илами (глинистые илы регрессивных этапов) или 2-3 компонентными ритмичными тонко- и микро-слоистыми илами трансгрессивных этапов (сапропели, глинисто-кокколитовые илы).

Хемогенные процессы участвуют в образовании осадков, хотя их роль не очень значительна. Они ответственны за образование в межледниковые эпохи (начало и конец позднего неоплейстоцена) кристаллических кальцитовых и арагонитовых илов, пользующихся повсеместным распространением.

Значительную роль в формировании разрезов позднечетвертичных осадков играют процессы, связанные с горизонтальными перемещениями осадочного материала «**мутьевыми**» потоками и **оползнями**, а также процессы **эрозии** дна.

“Потоковые” процессы. Западная и южная части континентального склона западной половины Черного моря прорезаны многочисленными каньонами и подводными долинами, вдоль которых происходило в прошлом и происходит сейчас перемещение осадочного материала с шельфа. Северо-западный и северный участки бассейна представляют собой крупные осадочные системы глубоководных конусов выноса Дуная, Днепра и Днестра. Поэтому западная глубоководная впадина практически на всей ее площади является приемником больших объемов терригенного вещества, выносимого различного типа **автокинетическими** потоками, наиболее активными в регрессивные этапы истории бассейна. Как следствие этого в разрезах позднечетвертичных отложений даже в наиболее удаленных от шельфа участках впадины зафиксированы многочисленные, разные по мощности и по крупности прослои грубозернистого материала. В то же время на поверхности дна континентального склона и его подножия и в толще осадков отмечены разномасштабные следы **оползания** и **течения** осадков, запечатленные при съемке дна акустическими методами и при описании керна. В ряде мест обнаружены выраженные в рельефе дна и при НСП аккумулятивные тела, представляющие собой **осадочные** волны.

Эрозионные процессы проявляются преимущественно в подводных долинах континентального склона и руслах конусов выноса в виде стратиграфической неполноты разрезов, вызываемой размывом «мутьевыми» потоками.

4. Выполненные исследования свидетельствуют о сложности осадочного процесса в западной части Черного моря. Она вызывается одновременным сочетанием различных типов осадкообразующих механизмов в разных фациальных обстановках или на разных временных отрезках геологической истории бассейна, что отражается в особенностях строения позднечетвертичных отложений.

In the western part of the Black Sea, depending on the tectonic and physico-geographical location, changes in climatic conditions during the last glacial-interglacial cycle and fluctuations in the reservoir level, various types of sedimentary process are realized, determined by different leading mechanisms and processes

Цуканов Н.В.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: kambear2011@yandex.ru)

Позднекайнозойский морской бассейн Восточной Камчатки Tsukanov N.V.

(Shirshov Institute of Oceanology of the RAS, Moscow)

Late Cenozoic Sea basin of Eastern Kamchatka

Ключевые слова: северо-запад Тихого океана, Восточно-Камчатская аккреционная область, окраинноморские бассейны, вещественные комплексы, терригенные породы, осадконакопление, геодинамика.

В работе рассмотрены особенности строения и состава толщ, слагающих Тюшевский прогиб, который формировался на месте Ветловского бассейна окраинноморской природы. Время развития этой структуры, вероятно, поздний эоцен-олигоцен–средний миоцен. Предложена схема эволюции этого бассейна.

К вещественным комплексам унаследованных бассейнов можно отнести верхнеэоцен? – олигоцен-миоценовые отложения, формировавшиеся в пределах Тюшевского прогиба. В современной структуре Восточной Камчатки они перекрывают вещественные комплексы и структуры тектоно-стратиграфических террейнов различной природы. Анализ строения и состава вещественных комплексов и история развития Тюшевского прогиба является важным для понимания кайнозойской геодинамики Камчаткой окраины, а также вопроса о времени аккреции и амальгамации Кроноцкого террейна островодужной природы к палеоокраине.

Геологическое строение. Тюшевский прогиб протягивается более чем на 350 км в северо-восточном направлении по восточному побережью Камчатки [1]. Отложения, слагающие его, в современной структуре обнажаются фрагментарно; выходы вещественных комплексов картируются в четырех сегментах Восточной Камчатки (рис. 1а): северный сегмент – Восточный склон хребта Кумроч; центральный сегмент – западная и южная части Кроноцкого п-ова (бассейны рек Тюшевка и Мал. Чажма); западный сегмент – хребет Валагинский; южный сегмент – Шипунский п-ов (бассейн р. Вахиль). Мощность слагающих его отложений максимальна в центральных частях и уменьшается в восточном, юго-восточном и в западном направлении, в сторону восточных полуостровов и восточных хребтов Камчатки [2, 3]. Внутренняя структура Тюшевского прогиба осложнена крупным региональным надвигом (надвиг Гречишкина) [3, 4]. В южной части хребта Кумроч по нему на отложения Тюшевского прогиба надвинуты образования Ветловского террейна. В районе Кроноцкого перешейка по надвигу Гречишкина совмещены отложения западного и восточного бортов прогиба [4–7]. В пределах Кроноцкого п-ова, в северной

части Валагинского хребта и по левому берегу р. Вахиль (Шипунский п-ов) наблюдается несогласие, с разрывом, залегание разновозрастных отложений Тюшевского прогиба на различных вулканогенно-туфогенных толщах Кроноцкого террейна (кроноцкая серия) и на терригенных, вулканогенных и кремнисто-терригенных породах Ачайваям-Валагинского и Ветловского террейнов [5, 8–11]. В пределах Тюшевского прогиба выделяется несколько разновозрастных полифациальных комплексов (рис. 1б), имеющих возрастной диапазон в пределах позднего эоцена – раннего олигоцена – миоцена [3, 5, 12–14]. В различных местах прогиба возраст, мощность и состав толщ несколько различаются, но общий характер разреза и возрастной диапазон сохраняются [8, 10–11, 15–16]. Наблюдаются фациальные переходы между одновозрастными отложениями [2, 10–11, 15]. В целом толщи залегают достаточно спокойно и во многих местах можно наблюдать послынные разрезывания и только в районе надвига Гречишкина наблюдаются интенсивные складчатые дислокации и разрывные нарушения.

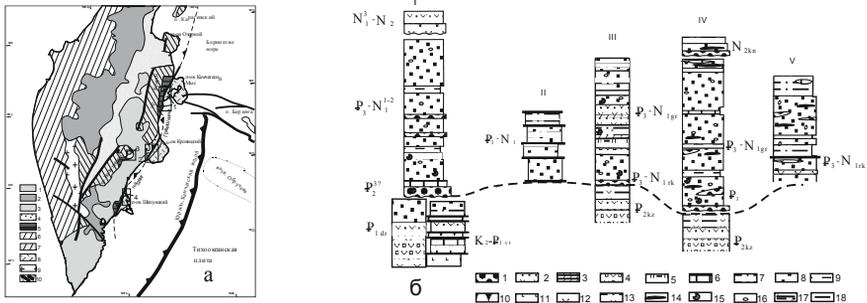


Рисунок 1. Структурная схема Камчатки (а) с районами выходов вещественных комплексов Тюшевского прогиба, составлена с использованием [1, 5, 10] и стратиграфические колонки (б) отложений Тюшевского прогиба (составлены с использованием [2, 5, 8, 10, 13]).
(а): 1 – Восточно-Камчатский вулканический пояс (N_2-Q); 2 – Срединно-Камчатский вулканический пояс (P_3-Q); 3 – Центрально-Камчатская депрессия (P_3-Q); 4 – Тюшевский (Восточно-Камчатский) прогиб (P_2-N_1); 5 – Ветловский террейн (K_2-P_2); 6 – Западно-Камчатский террейн (K_1-P_2); 7–Кроноцкий террейн (K_1-P_2); 8 – метаморфические комплексы; 9– разломы; 10–надвиги. Цифрами на рис. обозначены районы выходов вещественных комплексов Тюшевского бассейна: 1 – северный (хр. Кумроч), 2 – центральный (Кроноцкий п-ов), 3 – западный (Валагинский хр.), 4 – южный (Шипунский п-ов); **(б):** 1 – конгломераты; 2 – туфопесчаники; 3 – диатомиты; 4 – туфоконгломераты; 5 – туфосиллициты; 6 – известняки, песчаные известняки; 7 – алевролиты; 8 – песчаники; 9 – аргиллиты; 10 – терригенный меланж; 11 – базальты; 12 – андезиты; 13 – туфоалевролиты; 14 – угли; 15 – фауна; 16 – галька; 17–18 – геологические границы: 17 – стратиграфические согласные (а), несогласные (б); 18 – тектонические. Цифры над колонками: I – Валагинский хребет; II–III – Кроноцкий п-ов (II – внутренняя зона, III – внешняя зона); IV – хр. Кумроч;

Обсуждение. Геодинамическая природа Тюшевского бассейна до настоящего времени дискуссионна [3–4, 7, 13, 14]. По нашему мнению, ряд фактов, перечисленных ниже позволяют нам придерживаться точки зрения, что прогиб образовался «in situ» как унаследованный или преддуговой бассейн. К таким фактам относятся: 1. состав обломочного материала, где наряду с обломочным материалом островодужных террейнов, присутствуют обломки метаморфических пород; 2. структурные особенности пород как западного, так и восточного бортов прогиба, которые указывают, что поступление осадочного материала преимущественно происходило с запада и юго-запада; 3. транспортировка материала осуществлялась крупными палеоречными системами и различными автокинетическими потоками; 4. присутствие туфовых прослоев, которое указывает, вероятно, на влияние на осадконакопление вулканизма Центрально-Камчатского вулканического пояса; 5. сходный состав пород Тюшевского прогиба и Центрально-Камчатской депрессии; 6. близкий видовой состав фауны западного и восточного бортов прогиба и сходство этих комплексов с Западно-Камчатскими фаунистическими комплексами [2, 18].

Временем начала формирования этого бассейна, вероятно, можно считать поздний эоцен-олигоцен [2, 18]. В это время накапливались преимущественно грубые прибрежно-морские и, или дельтовые отложения, которые в дальнейшем сменились более глубоководными флишевыми. Ширина Тюшевского бассейна в олигоцен-раннемиоценовое время, вероятно, не превышала сотни километров.

Итак, можно предложить следующий сценарий формирования и развития Тюшевского бассейна (рис. 2). В эоцене прекращается вулканическая деятельность в Кроноцкой дуге и начинается закрытие Ветловского окраинноморского бассейна при аккреции Кроноцкого островодужного террейна [7, 19]. На его западном борту продолжают накапливаться терригенные и туфотерригенные образования (тундровская толща). Нижние горизонты вещественных комплексов Тюшевского бассейна, начиная с олигоцена, накапливаются и заполняют остаточный бассейн; наблюдается фациальная смена отложений от бортов бассейна к его центральным частям, от грубых толщ к преимущественно флишевым комплексам, расслоенных фоновыми отложениями открытых бассейнов. Турбидитовые потоки разной плотности приносили осадки в центральные части бассейна, а в прибрежных районах накапливались фациально изменчивые отложения, отражавшие состав подстилающих толщ. Бортами бассейна в это время выступали комплексы Ачайваям-Валагинского террейна, которые входили в структуру Камчатской окраины и Кроноцкого террейна. Этот бассейн осадконакопления сообщался с бассейнами Центральной и Западной Камчатки и с открытым океаном, что

подтверждается фаунистическими комплексами

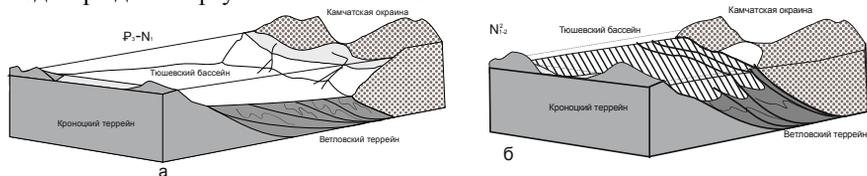


Рисунок 2. Блок-диаграмма развития Тюшевского бассейна для: а- олигоцен-раннемиоценового; б – позднемиоценового- плиоценового времени.

Вероятно, образования Кроноцкого террейна в это время формировали отдельные острова (островную цепь) и через проливы сообщались с водами Тихого океана.

Процесс аккреции Кроноцкого террейна хорошо коррелируется с возрастом эксгумации осадочных комплексов Тюшевского бассейна, которые были выявлены при датировании возраста апатитов из осадочных комплексов [6], начиная с олигоценового времени и заканчивая плиоценом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН № FMWE-2021-0004 (ИО РАН им. П.П. Ширшова)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Лист N-57. Масштаб 1:1 000 000 / Гл. редакторы: Литвинов А.Ф., Марковский Б.А. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006.
2. Гладенков Ю.Б., Цикунов А.Г. Стратиграфия неогеновых отложений Восточной Камчатки (Валагинский хребет) // Изв. АН СССР. 1966. Сер. Геологическая. № 5. С. 105–117.
3. Шапиро М. Н. Надвиг Гречишкина на побережье Камчатского залива // Геотектоника. 1980. № 3. С. 85–102.
4. Бахтеев М.К., Морозов О.А., Тихомирова С.Р. Строение безофиолитового коллизионного шва Восточной Камчатки – зоны надвига Гречишкина // Геотектоника. 1997. № 3. С. 74–85.
5. Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Восточно-Камчатская. Листы N-57-XII, XVIII, N-58-VII (г. ИстокЧажма). Объяснительная записка / Ред. Марковский Б.А. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 223 с.
6. Цуканов Н.В., Фрейтаг Р., Гедике К. Новые данные о возрасте и времени эксгумации осадочных комплексов Кроноцкого террейна и Тюшевского прогиба (Восточная Камчатка) по данным трекового датирования апатита // Докл. РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 1. С. 5–11.
7. Alexeiev D.V., Gaedicke Ch., Tsukanov N.V. et al. Collision of the Kronotskiy arc at the NE Eurasia margin and structural evolution of the Kamchatka – Aleutian junction // International Journal Earth Science (Geol. Rundsch.). 2006. V. 95.

8. Бахтеев М.К., Беньямовский В.Н., Брагин Н.Ю., Витухин Д.И. Новые данные по стратиграфии мезозоя и кайнозоя Восточной Камчатки (Валагинский хребет) // Стратиграфия и геологическая корреляция. 1994. Т. 2. № 6. С. 77–84.
9. Зинкевич В.П., Федорчук А.В., Цуканов Н.В. Аккреционная тектоника юга Валагинского хребта (Восточная Камчатка) // Геотектоника. 1992. № 3. С. 64–78.
10. Литвинов А.Ф., Крикун Н.Ф. Государственная Геологическая карта м-ба 1: 200 000. листы N-57-XXII, XXVIII, XXIX. Объяснительная записка. М.: Недра, 1992. 180 с.
11. Ступин С.И., Серова М.Я., Щербинина Е.А. и др. Олигоценый известковый планктон с Кроноцкого полуострова (Восточная Камчатка) // Стратиграфия и Геологическая корреляция. 1998. № 6. С. 85–95.
12. Беньямовский В.Н., Фрегатова Н.А., Спирина Л.В. и др. Зоны планктонных и бентосных фораминифер в палеогеновых отложениях Восточной Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1992. № 1. С. 100–113.
13. Бояринова М.Е., Вешняков Н.А., Коркин А.Г., Савельев Д.П. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Восточно-Камчатская. Листы 0–58-XXVI, XXXI, XXXII. Объяснительная записка / Ред. Марковский Б.А. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 267 с.
14. Цуканов Н.В. Тюшевский прогиб Восточной Камчатки: строение и геодинамическая природа. Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя boreальных районов: Материалы науч. Сессии. Т. II. Кайнозой. Новосибирск: ИНГГ СО РАН. 2011. С 172-175.
15. Арсанов А.С. Опыт естественного стратиграфического расчленения разреза олигоцен-миоценовых отложений Кроноцкого района Восточной Камчатки. // Проблемы стратиграфии и исторической геологии. М.: Изд. Московского государственного университета, 1978. С. 181–191.
16. Морозов О.А., Ростовцева Ю.В. Минералогия и геохимия песчаников Восточной Камчатки и Командорских островов // Литология и полезные ископаемые. 1996. № 1. С. 44–55.
17. Кураленко Н.Л., Хвост Т.Л. Конвективные дислокации в турбидитах богачевской и тюшевской серий Восточной Камчатки // Литология и Полезные ископаемые. 1991. № 3. С. 30–38.
18. Маркевич П.В. Флишевые формации Северо-Западной части Тихоокеанского складчатого пояса. М.: Наука. 1978. 143 с.
19. Цуканов Н.В., Лобковский Л.И. Геодинамика Олюторско-Камчатской аккреционной области в позднемиоценовое-раннекайнозойское время // Докл. РАН. Наука о Земле. 2020. Т. 492. № 2. С. 16–20.

The paper considers the features of the structure and composition of the strata that make up the Tyushevsky basin, which was formed on the site of the Vetlovka basin of the marginal sea nature. The time of development of this structure is probably the Late Eocene-Oligocene-Middle Miocene. A model for the evolution of this basin is proposed.

Шейков А.А., Шельтинг С.К.

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

Сеймостратиграфическое расчленение разреза неоплейстоцена черноморской котловины к серийной легенде Крымской серии листов ГК-200

Sheykov A.A., Shelting S.K.

(JSC "Yuzhmoregeologiya", Gelendzhik)

Seismostratigraphic separation of the Pleistocene section of the Black Sea for the legend of the geological map sheets of Crimean series at scales of 1:200,000

Ключевые слова: Черное море, шельф, неоплейстоцен, сеймостратиграфия, опорные отражающие сейсмогоризонты, климатостратиграфия, опорный сеймостратиграфический разрез неоплейстоцена.

Описанная в разрезах НСАП на шельфе к югу от м. Ай-Тодор констративная аллювиальная толща, включающая шесть наложенных комплексов аллювия может рассматриваться, как опорный сеймостратиграфический разрез неоплейстоцена Южнокрымской подзоны шельфа. В глубоководной акватории расчленение неоплейстоценовой части разреза обеспечивается выделением в разрезах 6 построек глубоководного конуса выноса Дона, отвечающих стратиграфическим надгоризонтам (климаторитмам) неоплейстоцена.

На Прикрымском шельфе, к западу от Ялты в разрезе покровного сейсмокомплекса (ПСК), залегающего со стратиграфическим и угловым несогласием на поверхности акустического фундамента, ранее были описаны четыре крупные аккумулятивные клиноформы, образовавшиеся в периоды низкого стояния уровня моря, ассоциирующиеся с ледниковыми эпохами плейстоцена [1].

В 2020 г. при выполнении геолого-съёмочных работ на листе L-36-XXXV получены материалы НСАП, обеспечившие детальное сеймостратиграфическое расчленение разреза ПСК [2]. Увязку полученных данных НСАП обеспечило использование временных разрезов, полученных на НИС «Профессор Водяницкий», любезно предоставленных авторам А.В. Хортовым и позже представленных им в ряде публикаций [3, 4].

Работами НСАП 2020 г. на шельфе к югу от м. Ай-Тодор прослежена обширная погребенная речная долина. В разрезе поймы долины описана констративная аллювиальная тоща, включающая серию из шести наложенных разновозрастных аллювиальных комплексов. Каждый комплекс включает косослоистые сейсмофации прирусловых валов, соответствующие отложениям аллювия, формировавшиеся в периоды черноморских регрессий и сейсмофации заполнения палеорусел – образования прибрежно-морских и морских отложений формирование

которых происходило в периоды черноморских трансгрессий (рисунок).

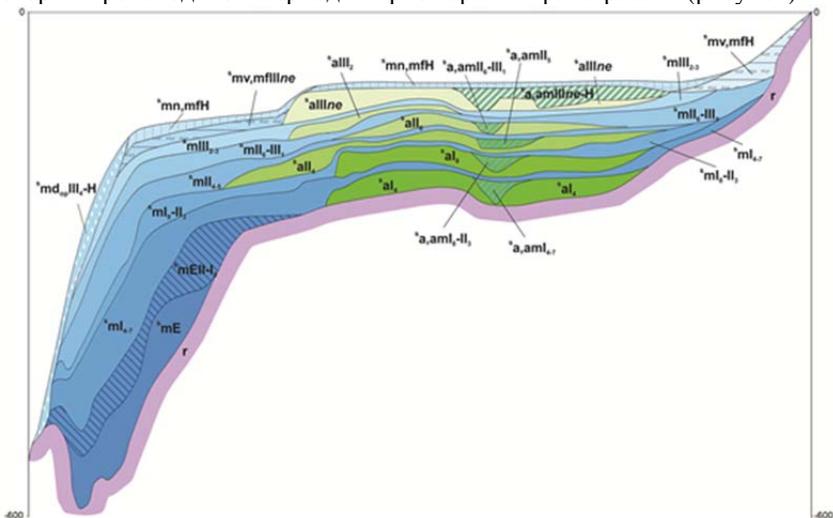


Рисунок. Схема соотношений четвертичных образований на прикрымском участке шельфа. ГК-200, лист L-36-XXXV

За основу стратиграфической привязки описанных сейсмокомплексов (СК) была принята Схема корреляции трансгрессивно-регрессивных событий неоплейстоцена Понта с ледниково-межледниковой ритмикой Русской равнины предложенная Т.А. Яниной [5]. При этом, были учтены представления о едином древнеэвксин-узунларском трансгрессивном цикле, предложенные в работах М.В. Муратова [6], П.В. Федорова [7] и принятые при подготовке к изданию геологической карты четвертичных отложений листа L-36(К-36) [8]. Описанная стратиграфическая последовательность может рассматриваться, как опорный сейсмостратиграфический разрез неоплейстоцена для Южнокрымской подзоны шельфа (табл. 1).

Предложенная схема корреляции была принята за основу при сейсмостратиграфическом расчленении конуса выноса Дона и глубоководной котловины Черного моря, выполненном по материалам ОГТ и НСАП, полученным при реализации геолого-съёмочных работ на площади листов L-36-XXXV и L-36-XXXVI [2].

Стратиграфическое расчленение осадочной толщи квартера в глубоководной акватории Черного моря основывается на выделении и корреляции опорных отражающих горизонтов: В – в подошве эоплейстоцена, Б – в подошве неоплейстоцена [9].

Расчленение неоплейстоценовой части разреза обеспечивается выделением в разрезах ОГТ, в области глубоководного конуса выноса Дона, серии из шести построек с хаотической записью, которые ассоциируются с

отложениями турбидитов, формировавшихся в периоды низкого стояния уровня моря ледниковых эпох неоплейстоцена. Вместе с сейсмогоризонтами А1–А4 (слоистыми сеймопачками перекрывающими/разделяющими хаотические сейсмокомплексы), которые ассоциируются с гемипелагическими отложениями эпох трансгрессий, выделяемые СК отвечают стратиграфическим надгоризонтам (климаторитмам) неоплейстоцена (табл. 2).

В подошве отложений глубоководного конуса Дона по невыразительным осям синфазности коррелируется горизонт А, ассоциирующийся с кровлей нижнечаудинского мариния (^smEII-I₃).

Таблица 1 Стратиграфия неоплейстоцена Южнокрымской подзоны шельфа

Шельф Крыма (подгоризонт)	Индекс	Трансгрессивно-регрессивные события неоплейстоцена Понта (Русской равнины)
Черноморский	^s a,am III _{ne} -H	Новоэвксин-черноморская трансгрессия
Ай-Тодор 1	^s aIII _{ne}	Новоэвксинский регрессивный бассейн (Поздневалдайское оледенение)
Сурожский	^s a,amII ₂₋₃	Сурожский бассейн
Ай-Тодор 2	^s aIII ₂	Послекарангатская регрессия (Ранневалдайское оледенение?)
Карангатский	^s a,amII ₆ -III ₁	Карангатская трансгрессия
Ай-Тодор 3	^s aII ₆	Предкарангатская регрессия (Днепровское оледенение)
Ашейский	^s a, am II ₅	Позднеэвксинская и ашейская трансгрессии
Ай-Тодор 4	^s a II ₄	Послеузунларская регрессия (Жиздринское похолодание)
Древнеэвксин-узунларский	^s a, am I ₈ -II ₃	Древнеэвксинско – узунларский бассейн
Ай-Тодор 5	^s aI ₈	Послечаудинская регрессия (Окское оледенение)
Верхнечаудинский	^s a, am I ₄₋₇	Позднечаудинская трансгрессия
Ай-Тодор 6	^s aI ₄	Внутричаудинская регрессия (Донское оледенение)

От конуса Дона сейсмогоризонты А1–А4 прослежены в глубоководную котловину и на подножие материкового склона. На основании сопоставления с разрезами ОГТ, опорные горизонты коррелируются в материалах НСАП. Сейсмофациальный анализ разрезов НСАП позволил дополнительно расчленить СК и выделить сеймоподкомплексы

соответствующие климатическим полуритмам неоплейстоцена (табл. 1).

Таблица 2 Стратиграфия неоплейстоцена конуса выноса Дона, подножия материкового склона и глубоководной равнины Черного моря

Климатические полуритмы (климатолиты)	Индекс	Сейсмокомплексы ОГТ/НСАП	Сейсмоподкомплексы НСАП
Новозвксин-черноморской трансгрессии	^s Ш _{ne} -Н	А4-Д	А6-Д
Новозвксинской регрессии (Ай-Тодор 1)	^s Ш _{ne}		А5-А6
Сурожской трансгрессии	^s Ш ₂₋₃		А5-А5к
Послекарангатской регрессии (Ай-Тодор 2)	^s Ш ₂		А4-А5к
Карангатской трансгрессии	^s П ₆ -Ш ₁	А3-А4	А4-А4к
Предкарангатской регрессии (Ай-Тодор 3)	^s П ₆		А3-А4к
Шахейской трансгрессии	^s П ₅	А2-А3	А3-А3к
Послеузунларской регрессии (Ай-Тодор 4)	^s a, am П ₄		А2-А3к
Древнеэвксин-узунларской трансгрессии	^s І ₈ -П ₃	А1-А2	
Послечаудинской регрессии (Ай-Тодор 5)	^s aІ ₈		
Позднечаудинской трансгрессии	^s І ₄₋₇	А-А1	
Внутричаудинской регрессии (Ай-Тодор 6)	^s І ₄		

Работа выполнялась в рамках контракта с ФГБУ «ВСЕГЕИ» № 15-3/20-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин В.М. и др. Осадочные процессы на континентальной окраине Крыма в Черном море // Вестник Московского университета. Сер. 4, Геология. 2009. № 1. С. 3–11.
2. Выполнение геологосъемочных работ в пределах листов L-36-XXXV, L-36-XXXVI (Южная площадь): отчет по Контр. № 15-3/20-2; отв. исп.: Шейков А.А. Геленджик, 2022. АО «Южморгеология».

3. Римский-Корсаков Н.А., Хортов А.В. и др. Сейсмостратиграфия материковой окраины Крыма по данным сейсмоакустического профилирования // Сборн. тез. докл. научно-практической конф. «Состояние и перспективы ГРП на нефть и газ на континентальном шельфе РФ», 1–2 июня 2023 г. Вып. 2. СПб.: ВНИИ-Океангеология, 2023. С. 50–62.
4. Хортов А.В., Римский-Корсаков Н.А., и др. Сейсмостратиграфическое исследование Крымского шельфа методом непрерывного сейсмоакустического профилирования // ДАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 2. С. 134–140.
5. Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М: Геогр. факультет МГУ, 2012. 264 с.
6. Муратов М.В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М.: Госгеолиздат, 1960.
7. Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 160 с.
8. Фиколина Л.А., Белецкий С.В., Белокрыс О.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третьей поколение. Серия Скифская. Лист L-36(К-36) – Симферополь. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ», ГУП РК «Крымгеология». СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 979 с.
9. Мейснер Л.Б., Туголесов Д.А. Опорные отражающие горизонты в сейсмической записи осадочного выполнения черноморской впадины (корреляция и стратиграфическая привязка) / Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11. № 6. С. 83–97.

The section of constrictal alluvium described south of Cape Ai-Todor, including six superimposed alluvium complexes and can be considered, as a reference seismostratigraphic section of the Neo-Pleistocene of the South Crimean subzone of the shelf. Seismostratigraphic separation of the NeoPleistocene section of the deep-sea aquatory, is ensured by the separation of the seismic sequences have been recognized within the Don deep-water fan corresponding to the stratigraphic supra-horizons (climate rhythms) of the NeoPleistocene.

Шейков А.А., Шельтинг С.К., Буркацкий О. Н.

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

Кайнозойские отложения на шельфе и материковом склоне у побережья Крыма

Sheykov A.A., Shelting S.K., Burkatsky O.N.

(JSC "Yuzhmorgeologiya", Gelendzhik)

Cenozoic deposits on the shelf and the continental slope off the coast of Crimea

Ключевые слова: Черное море, материковый склон, шельф, стратиграфия, кайнозой, донные отложения, геологическая съемка

Широкое распространение в составе осадков материкового склона и глубоководной котловины переотложенных комплексов фауны датируемой мелом, палеогеном и неогеном свидетельствуют о повсеместном распространении отложений кайнозоя на шельфе и материковом склоне. Отсутствие микрофауны, ассоциирующейся с отложениями таврической серии позволяет пересмотреть существующие представления о повсеместном распространении выходов пород Таврической серии на Ялтинско-Гурзуфском и Алуштинском участках шельфа и материкового склона.

При выполнении геолого-съёмочных работ, на прикрымском участке Черного моря (листы L-36-XXXV, L-36-XXXVI), получены материалы по 200 станциям отбора проб [1]. Донные осадки на различные виды исследований опробованы по площадной сети в зонах шельфа, материкового склона, его подножия и в глубоководной котловине. Отбор выполнен 4-метровой гравитационной трубкой, на глубинах моря от 52 м до 2167 м. Керн массово опробован на микрофаунистические остатки. Образцы отбирались из 2–3 интервалов (от 20–25 см, 150–155 см, 380–385 см), на 6 станциях – из 4–8 интервалов. В 333 из исследованных 413 проб определены ископаемые остатки раковин моллюсков, остракод и фораминифер. Определения проводили: фораминифер – Пинчук Т.Н. (КубГУ), остракод – Кодаш А.С. (АО «Южморгеология»). Моллюски изучал – Попов С.В. (ПИН РАН), малакофауну – Янина Т.А. (МГУ).

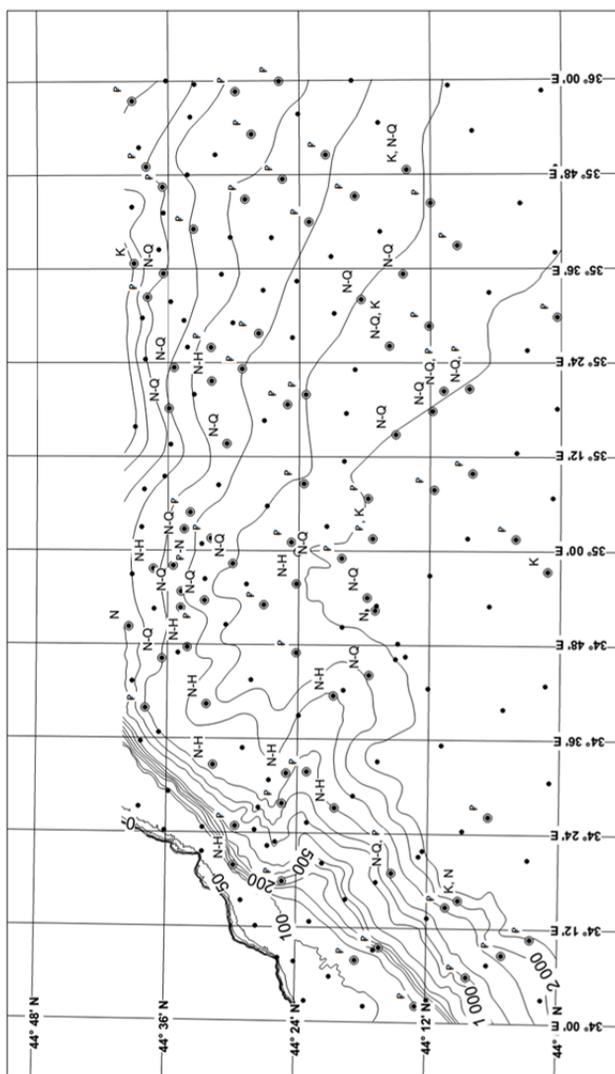
В опробованном разрезе, распространены терригенные, биогенно-терригенные и биогенные алевро – пелитовые и пелитовые илы. В колонках керна встречены: интервалы со следами размыва и переотложения осадков; брекчиевидные структуры; включения обломков осадочных образований гравийных фракций; раздробленные раковины моллюсков.

По видовому и количественному составу фораминифер и остракод в образцах, отобранных на 144 станциях из числа 180, отработанных на материковом склоне, подножии склона и в глубоководной котловине, по комплексу микрофауны, выделены новочерноморские и древнечерноморские отложения. В части образцов описана фауна

бугазских, витязевских, каламитских и джеметинских слоев (Таблица). В ряде случаев в подошве голоценовых осадков трубками вскрыты отложения новоэвксина (42 обр.).

Таблица Фауна неоплейстоцена – голоцена

		Слои	Преобладающая палеофауна
Голоцен	Новочерноморские	Современные	Остракоды родов: <i>Amnicythere</i> , <i>Callistocythere</i> , <i>Cytheroma</i>
		Джеметинские слои	Фораминиферы: <i>Ammonia compacta</i> (50%), <i>Ammonia tepida</i> (40%), <i>Ammonia ammoniformis</i> (30%), <i>Ammonia caucasica</i> (20%), <i>Nonion matagordanus</i> (30%). Остракоды: <i>Callistocythere cristata</i> , <i>Callistocythere diffusa</i> (50–60%), <i>Carinocythereis rubra</i> (30–40%), <i>Loxococoncha bulgarica</i> (30–40%), <i>Euxinocythere lopatici</i> , <i>Euxinocythere multipunctata</i> (10–20%), <i>Bythocythere schornikovi</i> , <i>Xestoleberis cornelii</i> , <i>Paradoxostoma naviculum</i>
	Древнечерноморские	Каламитские слои	Фораминиферы: <i>A. compacta</i> (60–80%), <i>Canalifera nigarensis</i> (20–40%), <i>Eggerella scabra</i> (20–40%), <i>Massilina secans</i> (10–20%), <i>Quinqueloculina laevigata</i> (10–20%), <i>N. matagordanus</i> (5–10%). Остракоды: <i>L. bulgarica</i> (60–80%), <i>Loxococoncha eichwaldi</i> (30–40%), <i>C. rubra</i> , <i>Costa edwardsii runcinata</i> (20–30%), <i>Paradoxostoma simile</i> , <i>P. naviculum</i> , <i>Cytheroma marinovi</i> , <i>X. cornelii</i> (10–20%)
		Витязевские слои	Фораминиферы: <i>A. tepida</i> (60%), <i>A. caucasica</i> (50–60%), <i>A. compacta</i> (40%), <i>Ammonia parasovica</i> (40%) Остракоды <i>L. lepida</i> (60–80%), <i>L. bulgarica</i> (40–50%), <i>Amnicythere palimpsesta</i> (30–40%), <i>Amnicythere quinquetuberculata</i> , <i>Cytherissa bogatschovi</i> , <i>X. cornelii</i> и другие виды.
Бугазские слои		Фораминиферы: <i>A. tepida</i> (80–100%), <i>P. subgranosus</i> (60–80%), <i>Mayerella brotskajae</i> (10–20%). Остракоды представлены <i>A. palimpsesta</i> (80–100%), <i>L. lepida</i> (50–40%), <i>L. eichwaldi</i> (30–40%), <i>Palmoconcha agilis</i> (10–20%)	
Плейстоцен	Новозвксинские	Фораминиферы: <i>Ammonia novoexinica</i> (80–100%), <i>A. tepida</i> (60–80%), <i>Porosonion subgranosus</i> (10–20%). Остракоды: <i>Candona elongata</i> (80–100%), <i>Candona cavis</i> , <i>Candona neglecta</i> (60–80%), <i>L. lepida</i> (30–40%), <i>Loxococoncha immodulata</i> (10–20%), <i>Eucypris crassa</i> , <i>E. asiatica</i> , <i>Darwinula stevensoni</i> , <i>Ilyocypris gibba</i> , <i>Limnocythere alveolata</i>	



● 1 • 2

Рисунок. Схема расположения станций опробования. Станции, на которых были выполнены микрофаунистические определения, в том числе: 1 – станции, на которых выявлены смешанные комплексы микрофауны с перетолжением форм из плиоцена-голоцена (N-N), плиоцена-плейстоцена (N-Q), неогена (N), палеогена-неогена (P-N), палеогена (P), мела (K); 2 - станции, на которых смешанные комплексы не выявлены.

Почти повсеместно в составе микрофауны, среди форм, относимых к голоцену и верхней ступени неоплейстоцена, встречены формы более древних возрастных диапазонов (Рисунок). Свидетельством присутствия материала переотложенного из образований верхнего мела являются обнаруженные фораминиферы *Globotruncana sp.* Признак переотложения из эоценовых отложений – наличие крупных раковин глобигерин *Subbotina sp.* На переотложение из майкопских образований указывают характерные *Textularia aff. caucasica (Nikitina)* и *Haplophragmoides deformabilis*, из неогеновых - крупные с толстыми стенками перетертые раковины *Elphidium sp.* и *Ammonia ex gr. Beccarii (Linne)*.

Смешанные комплексы по разрезу распределены неравномерно, часто встречаются в осадках с текстурами брекчирования, размыва осадков. Включения переотложенных форм определены в 68 из 128 образцов, отнесенных к новочерноморским отложениям. Из 36 образцов, отнесенных к древнечерноморским отложениям, включения переотложенных форм определены в 19 образцах. Из 40 образцов, отнесенных к новозвксину совместное нахождение форм новозвксина с палеогеновыми и плиоцен-плейстоценовыми выявлено в 7 образцах. В 8 образцах с фауной палеогена определить голоценовую и плейстоценовую микрофауну не удалось.

Появление раковин шельфовых фораминифер и остракод в современных и неоплейстоценовых осадках глубоководной части Черного моря обусловлено выветриванием и размывом коренных источников в области сноса осадочного материала, на шельфе и материковом склоне. Повсеместное распространение смешанных комплексов микрофауны, включающих переотложенные формы, датируемые мелом, палеогеном и неогеном, свидетельствует о широком распространении на шельфе и материковом склоне отложений мела, палеогена и неогена. Таким образом полученные материалы подтверждают данные драгирования материкового склона в районе Алушты и Ялты [2].

Вместе с тем, обращает на себя внимание то, что в составе фауны смешанных комплексов отсутствует микрофауна, ассоциирующаяся с развитыми на южном побережье Крыма отложениями нижней, средней, верхней юры и поздне триасово-раннеюрской таврической серии. Указанная особенность позволяет пересмотреть существующие представления о повсеместном распространении выходов пород юры и таврической серии на Ялтинско-Гурзуфском и Алуштинском участках шельфа и материкового склона. Представляется, что указанные комплексы либо не выходят, либо незначительно распространены в области сноса – на шельфе и материковом склоне, из которой преимущественно и происходит перемещение материала, слагающего опробованные грунтовыми трубками отложения среднего-верхнего неоплейстоцена и голоцена [1].

Работа выполнялась по контракту с ФГБУ «ВСЕГЕИ» № 15-3/20-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выполнение геологосъемочных работ в пределах листов L-36-XXXV, L-36-XXXVI (Южная площадь): отчет Контр. № 15-3/20-2; отв. исп.: Шейков А.А. Геленджик, 2022. АО «Южморгеология».
2. Шнюков Е.Ф., Маслун Н.В., Иноземцев Ю.И., Оровецкий Ю.Ю. Новые данные о геологическом строении континентального склона Южного Крыма // Геол. журн. 1990. № 3. С. 88–98.

The widespread distribution of repositioned fauna complexes dating from the Cretaceous, Paleogene and Neogene in the sediments of the continental slope and deep-sea basin indicate the ubiquity of Cenozoic deposits on the shelf and the continental slope. The absence of microfauna associated with the deposits of the Tauride series allows us to revise the existing ideas about the ubiquity of the outcrops of the Tauride series on the Yalta-Gurzuf and Alushta sections of the shelf and the continental slope.

Яковишин С.Ю.

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва,
e-mail: svyatcpx@gmail.com)

Литологическая характеристика и условия формирования глинистых отложений нижнего мела Северо-Западного Кавказа

Yakovishin S.Yu.

(Lomonosov Moscow State University, Moscow)

Lithological characteristics and conditions of formation of the Lower Cretaceous clay deposits of the North-Western Caucasus

Ключевые слова: Кавказ, нижний мел, литология, глины

Литологический и рентгенофазовый анализ глинистых отложений нижнего мела Северо-Западного Кавказа позволил установить обстановки их формирования и источники сноса обломочного материала. Установлено, что изученные отложения сформировались в нормально морских относительно глубоководных условиях шельфа.

Нижнемеловые отложения Северо-Западного Кавказа потенциально перспективны на поиски нефтяных и газовых месторождений. Существование уже открытых месторождений нефти и газа в породах нижнего мела в соседних регионах свидетельствует о перспективах отложений данного возраста. Они сложены относительно глубоководными терригенными глинистыми и песчано-глинистыми отложениями, представленные толщами чередования темно-серых, черных глин, алевролитов и серых песчаников, имеющих ритмичный флизоидный характер. В разрезе существенно преобладают глины, которые могут служить флюидоупором для залежей углеводородов. Исследуемая территория относится к структурно-фациальной Абино-Гунайской подзоне зоны Северо-Западного Кавказа [1], где на поверхность выходят породы от позднеюрского до четвертичного возраста. Объектом исследований были свиты нижнего мела, включающие следующие местные литостратиграфические подразделения снизу вверх:

Мачмаловская свита (K_1mc) залегает согласно как с вышележащими, так и с нижележащими толщами. Литологический состав представлен переслаиванием известковых глин и песчаников, а также иногда встречающимся прослоями сидерита. Мощность свиты – 220–350 м. Возраст свиты – ранний берриас.

Чаталовская свита (K_1ch) представлена мергелями в основании и переслаиванием глин с песчаниками, иногда встречаются прослои гравелитов. Мощность свиты – 250 м. Возраст свиты – поздний берриас.

Свита чепси ($K_1\check{c}p$) представлена темно-серыми, зеленовато-серыми

глинами с прослоями (0.01–0.03 м) сидеритов. Максимальная мощность до 850 м. Возраст валанжин-ранний готерив.

Шишанская свита ($K_{1\delta\delta}$) представлена темно-серыми, черными глинами с редкими прослоями более светлых алевролитов и тонко-мелкозернистых песчаников толщиной от 0.5–3 до 10 см, линзовидными прослоями (1–3 см) и конкрециями сидеритов. В верхней части разреза наблюдаются текстуры кон-ин-кон. Мощность 500–900 м. Возраст поздний готерив.

Афипская свита (K_{laf}) отличается более глинистым составом. Она представлена глинами темно-серыми, зеленовато-серыми с темно-фиолетовыми марганцовистыми примазками, слабо или сильно алевритистыми, с редкими прослоями алевролитов (1–10 см), конкрециями сидеритов, иногда с текстурами кон-ин-кон. Мощность 250–750 м. Возраст баррем-ранний апт.

Убинская свита (K_{ub}) представлена глинами с конкрециями и прослоями сидерита, текстурами кон-ин-кон, редкими прослоями и пачками переслаивания с алевролитами, песчаниками (от 1 до 10 см). Мощность свиты до 750 м. Возраст ранний апт.

Свита шапсухо ($K_{l\delta p}$) – глины серые, темно-серые до черных, полосчатые, пластичные, с прослоями (2–5 мм) зеленовато-серых алевритов, есть прослой сидеритов до 2 см. Мощность отложений более 150 м. Возраст средний – поздний апт.

Основными факторами, определяющими литологические характеристики глин, являются фациальные условия накопления, структурные характеристики глинистых пород и их минералогический состав [2]. Минералогический, а также гранулометрический состав глин напрямую зависит от глубины бассейна, а как следствие от стадии трансгрессии морского бассейна. Наибольшие по мощности и имеющие в своем составе наиболее тонкодисперсные минералы глинистые толщи накапливаются в эпоху максимальных трансгрессий, тогда как наименее мощные и чередующиеся с алевритистыми и песчанистыми отложениями глины накапливаются в прибрежно-морских условиях в эпоху ранней трансгрессии или регрессии моря. Такие отложения содержат большую примесь песчаных частиц и наиболее крупнодисперсные глинистые минералы [3].

В зависимости от фациальных условий формирования глины можно разделить на три группы: глины глубоководного шельфа и прилегающего бассейна, глины шельфа средних глубин и глины мелкого шельфа и прибрежного мелководья. Одним из важных факторов при анализе глубоководности формирования глин является их неоднородность. Наиболее однородные глинистые толщи накапливаются на максимальном удалении от берега, тогда как неоднородность свойственна прибрежным фациям с активной гидродинамикой бассейна. Это касается и колебаний мощности отложений. Наиболее постоянные, выдержанные по мощности

глинистые толщи накапливаются вдали от берега. Именно такой характер имеют нижнемеловые свиты Северо-Западного Кавказа, чья мощность часто превышает 500 м.

Важный фактор при анализе фациальных обстановок формирования глинистых отложений – тип преобладающего органического вещества. Гумусовое вещество характерно для прибрежно-морских мелководных обстановок, тогда как сапропелевое распространено в более глубоководных отложениях. В разрезе нижнего мела исследуемого региона сапропелевая составляющая увеличивается вверх по разрезу, что также свидетельствует о прогрессирующем влиянии обширной морской трансгрессии.

Ассоциация глинистых минералов в глинах нижнего мела при незначительных отличиях в разных свитах в целом представлена полиминеральной ассоциацией и обладает преимущественно смешанослойно-каолинит-гидрослюдистым составом с примесью хлорита и смектита (рисунок).



Рисунок. Распределение глинистых минералов в отложениях нижнего мела Северо-Западного Кавказа

Такая ассоциация могла образоваться при разрушении кор выветривания каолинит-гидрослюдистого состава. Смешанослойные минералы представлены гидрослюдисто-смектитовой фазой. Они могли образоваться в результате деградации гидрослюды и каолинита в морских условиях. Наблюдается незначительное увеличение содержания более тонкодисперсных глинистых минералов вверх по разрезу. Достаточно высокое содержание хлорита и смектита свидетельствует о размыве пород среднего и основного состава. Высокий процент каолинита говорит о

существовании зрелых почв. Подобное содержание глинистых минералов было бы возможным при существенном влиянии на процессы седиментогенеза сноса обломочного материала с территории нынешнего Большого Кавказа.

Распределение по площади содержания глинистых минералов в изученных образцах тоже достаточно постоянное. В образцах с северной части территории наблюдается незначительное увеличение содержания смектита. Вероятно, это может быть обусловлено переходом к более глубоководным условиям осадконакопления.

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что глинистые отложения формировались в шельфовых условиях. На протяжении раннего мела произошло незначительное углубление бассейна, вероятно, связанное с трансгрессией моря.

Минералогический состав глинистых пород, который обуславливает различную пластичность глин, является одним из главных факторов, коэффициент глинистости ($K_{гл}$) в образцах глинистых пород, отобранных в естественных обнажениях, составляет 0.52–0.62%, что определяет их как глинистые породы с примесью алевритового материала, представленного кристаллокластами кварца, плагиоклазов и калиевых полевых шпатов. Содержание глинистых минералов (ГМ) в количестве более 50%, при отсутствии или незначительном количестве песчаной фракции (менее 5%), свидетельствует о высокой однородности глин. По-видимому, формирование этих глинистых пород происходило в условиях удаленного шельфа в периоды максимальной трансгрессии раннемелового бассейна.

Соотношение различных ГМ в исследованных образцах глинистых пород также подтверждает этот вывод. В составе ГМ преобладают наиболее дисперсные: смектиты, смешанослойные иллит-смектиты и, собственно, иллиты. Коэффициент набухаемости (K_n) глин изменяется от 0.45 до 0.76, а коэффициент дисперсности ($K_{дгм}$) крайне высок – от 0.65 до 0.81. Все минералы группы смектита относятся к разбухающим фазам, также, разбухающими являются смешанослойные минералы ряда иллит–смектит. При этом в меньшей степени разбухают иллит-смектиты с преобладанием иллитовых межслоев и в большей степени – с преобладанием смектитовых межслоев [4]. Глины нижнего мела характеризуются как породы с высокими экранирующими свойствами, способными обеспечить сохранность не только залежей нефти, но также и газообразных УВ.

Таким образом, на протяжении раннего мела на исследуемой территории обстановки осадконакопления характеризовались постепенным углублением палеобассейна на фоне периодических эвстатических колебаний уровня моря. Наличие в глинах и сидеритовых конкрециях ихнофоссилий «медузоидного» типа *Gyrophyllites* Glocker, 1841 и *Kirklandia* Caster, 1945 – следы проедания осадка «червеобразными организмами», *Ophiomorpha* Lundgren, 1891, пищевые норки роющих декапод, что

свидетельствует о некоторой аноксийности придонных вод [5]. Для поддержания такой среды палеообстановки должны быть достаточно глубоководными. Обилие терригенного материала и в частности глинистой фракции, а также большого количества поступающей в бассейн органики позволяет предположить наличие гумидного климата на данной территории во всем исследуемом возрастном интервале [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корсаков С.Г., Семенуха И.Н., Белуженко Е.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштабa 1:200 000, Изд. второе, Серия Кавказская, Лист L-37-XXVII, 2004.
2. Осипов В.И., Соколов В.Н., Еремеев В.В. Глинистые покрывки нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 238 с.
3. Прозорович Г.Э. Покрывки залежей нефти и газа. М.: Недра, 1972. 120 с.
4. Семенов Е.О. Оценка экранирующей способности глинистых пород и критерии их герметичности при создании газохранилищ в водоносных пластах // Газовая промышленность. 2012. Т. 684. С. 19–23.
5. Вялов О.С. Следы жизнедеятельности организмов и их палеонтологическое значение. Киев: Наукова думка, 1966. 220 с.
6. Фролов В.Т. Литология. Кн. 2. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1993. 432 с.

Lithological and X-ray phase analysis of clay deposits of the Lower Cretaceous of the Northwestern Caucasus allowed us to establish the conditions of their formation and the sources of erosion of clastic material. It is established that the studied sediments were formed in normal marine relatively deep-sea conditions of the shelf.

**Яковшина Е.В.¹, Бордунов С.И.^{1,2}, Кобаевич Л.Ф.¹,
Жарков А.Д.¹**

(¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: yakovishina@mail.ru; ²Геологический институт РАН, Москва)

Палеобстановки карбонатной седиментации турон-коньякских отложений Юго-Западного Крыма

Yakovishina E.V.¹, Bordunov S.I.^{1,2}, Kobayevich L.F.¹

(¹Lomonosov Moscow State University, Moscow; ²Geological Institute RAS, Moscow)

Paleoenvironments of the sedimentation of the Turonian-Coniacian deposits of the Southwestern Crimea

Ключевые слова: Крым, верхний мел, карбонаты, фораминиферы, наннопланктон.

Микрофациальный и биостратиграфический анализ фораминифер и наннопланктона пород опорного разреза турона-коньяка Аксудере (Юго-Западный Крым), сложенного белыми мелоподобными известняками, позволили установить палеобстановки их формирования. Исследования показали, что изученные отложения сформировались в морских условиях открытого шельфа, с нормальной циркуляцией вод и насыщенностью их кислородом.

Опорный разрез Аксудере турон-коньякских отложений Юго-Западного Крыма располагается в Бахчисарайском районе. Представлен белыми мелоподобными известняками со стилолитовыми швами прохладненской свиты (*K₂pr*). В этом разрезе свита имеет максимальную мощность 25 м.

Свита согласно залегает на известняках белогорской свиты (*K₂bg*) сеномана-нижнего турона. В верхней части несогласно перекрывается глинистыми известняками сантона по эрозионной поверхности типа «хардграунд».

Изучение литологических особенностей карбонатной седиментации послужило основой для восстановления условий осадконакопления, связанных как с эвстатическими колебаниями уровня моря, так и с влиянием других достаточно сложных и многофакторных процессов геологического прошлого. Это, в свою очередь, способствует расшифровке событий истории формирования палеобассейна [1].

Полное описание разреза и стратиграфическое распространение фораминифер ранее приведено в работе [2]. В дальнейшем на основе изучения шлифов пород в разрезе выделены микрофации фораминиферовых мадстоунов, спикулитово-фораминиферовых и питонеллово-фораминиферовых вак-мадстоунов, реже вак-пакстоунов [3]. Классификация известняков приведена по Данхему [4]. Основная масса пород сложена микритовым кальцитом. Биокласты представлены фораминиферами, различной сохранности, замещенными вторичным кальцитом; наннопланктоном, известковыми диноцистами *Pithonella ovalis*

(Kaufmann) и *P. sphaerica* (Kaufmann), относимыми ранее к кальцисферам [5]. Также в известняках постоянно присутствует тонкий раковинный детрит (обломки раковин двустворок, брахиопод, спикулы губок, иглы морских ежей). Отмечается рассеянный пирит и растительный детрит. Характерны биотурбации, стилолитовые швы и фосфатизация отдельных компонентов. Генетический тип данных отложений – планктоногенный или неритовый [6, 7].

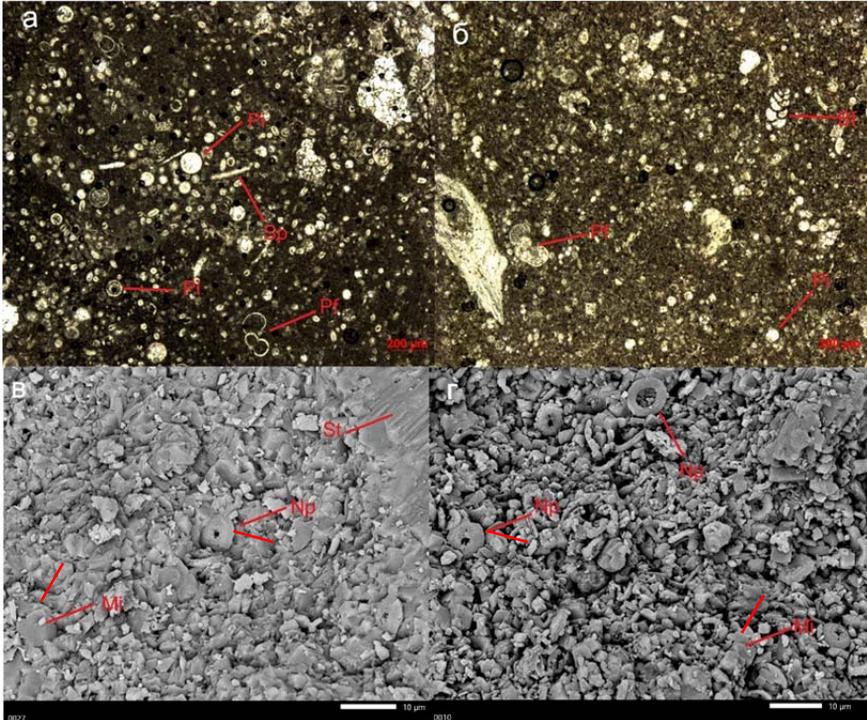


Рисунок. Фото шлифов: а – мад-вакстоун (обр.3); б – вак-мадстоун (обр.10); фото СЭМ: в – обр.3; г – обр.10. Pi – известковые диноцисты; Pf – планктонные фораминиферы; Vf – бентосные фораминиферы; Np – наннопланктон; St – стилолитовые швы; Sp – спикулы губок; Mi – зерна микрита

В разрезе турона-коньяка были идентифицированы стандартные микрофации – SMF 3 (включая SMF 3-Fog и SMF 3-Pit) и SMF 8 [1].

Тип SMF 3. Известняк вак-мадстоун (рисунок). Основная масса состоит из микритового кальцита (55–90%). Органогенные остатки представлены известковыми диноцистами *Pithonella ovalis* (Kaufmann) и *P. sphaerica*

(Kaufmann), (40–80%), и планктонными и бентосными фораминиферами (5–10%), а также спикулами губок, обломками призматического слоя иноцерамов. Зерна микрита сильно перекристаллизованы. Этот тип характерен для туронской части разреза.

Подтипы различаются по планктонным организмам. В нижней части разреза преобладают известковые диноцисты *Pithonella ovalis* (Kauffman), с учетом этого выделяются отложения, относящиеся к стандартной микрофации 3 подтип питонелловый (SMF 3 – Pit) (*Pitonella*) – пелагический известковый ил с многочисленными пелагическими микрофоссилиями. В этой части разреза также можно выделить подтип – фораминиферовый (For). В целом подобный состав отложений свидетельствует об их формировании на внешнем краю глубокого шельфа [1].

Тип SMF 8. Известняк вак-мадстоун (рисунок). Основная масса состоит из микрита (50–60%). Фаунистические остатки представлены известковыми диноцистами (80%), фораминиферами (8–10%), обломками раковин моллюсков (5%), остатками брахиопод, иглами морских ежей. Зерна также сильно перекристаллизованы. Отмечен пирит. Этот тип микрофаций характерен для коньякской части разреза.

Выделенные микрофации сопоставлены с фациальными зонами, соответствующие определенным палеообстановкам [1], которые в свою очередь определяются характером осадконакопления, приуроченностью к геоморфологическим элементам и типом бассейна, положением в определенной части бассейна, удаленностью от береговой линии, динамикой среды, условиями жизни и захоронения организмов и т.д. Выделены следующие фации: 1. Фация глубокого шельфа, которая соответствует морскому дну с умеренным наклоном в сторону бассейна. Эта фация относится к типу SMF 8. Фаунистические остатки представлены в основном известковыми диноцистами и фораминиферами, а также фрагментами спикул губок, иноцерамов. Есть также остатки водорослей. Донные осадки залегают ниже уровня обычного волнового воздействия, но периодически подвергались воздействию штормов. Глубины достигали десятков или первых сотен метров [3]; 2. Фация глубокой окраины шельфа, сформированная у подножия карбонатного шельфа в результате его разрушения за счет сносимого обломочного материала. Эта фация относится к выбранному типу SMF 3. Фаунистические остатки в целом аналогичны предыдущей фации, также характерны крупные фрагменты кораллов, водоросли отсутствуют. Глубина положение базиса волнового воздействия и насыщенность кислородом близки к фации глубокого шельфа [3].

На основе выделенных в разрезе фаций можно сделать вывод, что изучаемые отложения верхнего турона и коньяка формировались в условиях дистального шельфа (неритовые осадки) либо открытого морского бассейна (гемипелагические и пелагические осадки), при медленной или умеренной

гидродинамике и достаточно медленной седиментации. Также можно говорить о нормальной циркуляции вод и их насыщении кислородом. Исходя из выявленных фаций, можно сделать вывод, что изученные отложения сформировались в нормальных морских условиях открытого шельфа. В условиях обширной турон-коньякской трансгрессии весь юг Русской плиты оказался затоплен морскими водными массами достаточно существенной глубины. Относительная холодноводность данного интервала геологической истории и удаленность источников сноса обломочного материала способствовало накоплению чистых белых мелоподобных известняков. Присутствие кремнистых конкреций и прослоев свидетельствует об общем понижении температурного фона на границе турона и коньяка [8], что фиксируется по изотопным данным во всех европейских разрезах, где данное событие получило название «навигационное» [9].

Положение разреза в пограничном регионе Европейской и Тетической палеобиогеографических областей обусловило переходный тип его микрофауны (фораминиферы, наннопланктон) [2]. Состав комплекса фораминифер отличается меньшим разнообразием от ассоциаций центральных частей Тетической области [10]. Преобладают двукилевые спирально-конические формы маргинотрунканид, а также вайтенеллиды. В Тетической фауне более существенная роль принадлежит умбиликально выпуклым дикаринеллидам и однокилевым маргинотрунканидам [9]. Среди наннопланктона преобладают *Watznaueria barnesiae* (Black, 1959) и *Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky, 1912), имеющие достаточно широкий стратиграфический интервал и характерные в большей степени для умеренно-тепловодных вод Европейской палеобиогеографической области.

На протяжении турон-коньякского интервала территория представляла собой относительно глубоководный открытый морской бассейн окраины океана Тетис с пелагическим типом седиментации, с глубинами до первых сотен метров, где шло накопление белых мелоподобных известняков.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты 18-05-00495-а, 18-05-00503-а, 19-05-00361-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flügel E. Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application. Second Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 929 p.
2. Копаевич Л.Ф., Валащик И. Расчленение турон-коньякских отложений разреза Аксудере по иноцерамам и фораминиферам // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геол. 1993. № 5. С. 70–82.
3. Уилсон Д. Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра, 1980. 463 с.

4. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture // *Classification of Carbonate Rocks* / Ed. W.E. Ham. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 1962. V. 1. P. 108–121.
5. Вишневецкая В.С. Находка известковых диноцист в верхнем мелу Поволжья // *Докл. АН*. 2016. Т. 466. № 3. С. 366–369.
6. Фролов В.Т. Генетическая типизация морских отложений. М.: Изд-во МГУ, 1984. 222 с.
7. Фролов В.Т. Литология. Кн. 3. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1995. 352 с.
8. Huber B.T., MacLeod K.G., Watkins D.K., Coffin M.F. The rise and fall of the Cretaceous Hot Greenhouse climate // *Global and Planetary Change*. 2018. V. 167. P. 1–23.
9. Walaszczyk I., Wood C.J., Lees J.A. et al. The Salzgitter-Salder Quarry (Lower Saxony, Germany) and Słupia Nadbrzeżna river cliff section (Central Poland): a proposed candidate composite Global Boundary Stratotype Section and Point for the base of the Coniacian Stage (Upper Cretaceous) // *Acta Geologica Polonica*. 2010. V. 60 (4). P. 445–477.
10. Caron M. Cretaceous planktonic foraminifera // *Plankton Stratigraphy*, Cambridge University Press: Cambridge. 1985. P. 17–86.

Microfacial and biostratigraphic analysis of foraminifera and nanoplankton of the reference section of the Turonian-Coniacian Aksudere (Southwestern Crimea), composed of white chalk-like limestones, allowed us to establish paleoenvironments of their formation. Studies have shown that the deposits were formed in marine conditions of the open deep shelf, with normal water circulation and oxygen saturation.

**Янина Т.А.¹, Сорокин В.М.¹, Болиховская Н.С.¹,
Романюк Б.Ф.²**

(¹МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: didacna@mail.ru; ²ОАО Моринжгеология, г. Рига, Латвия)

**Регрессивные эпохи Каспия в позднем плейстоцене –
голоцене (по материалам бурения)**

**Yanina T.A.¹, Sorokin V.M.¹, Bolikhovskaya N.S.¹,
Romanyuk B.F.²**

(¹Lomonosov Moscow State University, Moscow; ²Morinzhegeologiya, Riga, Latvia)

**Regressions of the Caspian Sea during late Pleistocene –
Holocene**

Ключевые слова: Каспий, ательская регрессия, мангышлакская регрессия, уровень, палинология, малакофауна, возраст, условия среды, корреляция

На основании комплексного исследования бурового материала из Северного Каспия предложено решение вопроса о масштабе, времени проявления ательской и мангышлакской регрессий, палеогеографических условиях этих эпох и их корреляции с палеогеографическими событиями на сопредельных территориях.

В понимании закономерностей развития природной среды Каспия важное значение имеет изучение его регрессивных эпох. В позднелайстоценовой истории Каспийского моря известны регрессии разного масштаба и длительности, наиболее значительные из них – ательской и мангышлакская. Отложения, накапливавшиеся в эпоху ательской регрессии, ярко выражены в разрезах Северного Прикаспия, мангышлакская регрессия на побережьях отражена слабо. Нами проведено комплексное изучение регрессивных отложений в верхнеплейстоценовой осадочной толще Северного Каспия. Основная задача работы – на основании этих исследований предложить решение вопроса о масштабе, времени проявления ательской и мангышлакской регрессий, палеогеографических условиях этих эпох и их корреляции с палеогеографическими событиями на сопредельных территориях.

В основе работы лежат результаты обработки двухчастотных сейсмоакустических профилей и бурового материала. Аналитические исследования включали литологический, палинологический, фаунистический и геохронологический анализы. Определения абсолютного возраста выполнены радиоуглеродным методом в Институте географии РАН (ИГАН), в Московском (МГУ) и Санкт-Петербургском (ЛГУ) государственных университетах и в Lawrence Livermore National Laboratory США (САН). Калибровка возраста проведена программой Calpal-2007online (онлайн версия) Кельнского университета.

На сейсмоакустических разрезах ательской регрессия выражена врезями,

четко проявляющимися под подошвой хвалыньских отложений, мангышлакская регрессия выражена аналогичными депрессиями под новокаспийскими осадками. Ательские отложения на шельфе Северного Каспия заполняют палеопонижения, представлявшие собой пресноводные (либо слабосоленоватые) континентальные водоемы. Они были выработаны в толще гирканских морских осадков в субаэральных условиях в процессе развития регрессии. Толща имеет неоднородный супесчано-суглинистый состав, в ней отмечаются включения растительного детрита и раковин. Состав органических остатков соответствует водно-болотным условиям пресноводных либо слабосоленоватых неглубоких водоемов. Среди растительного материала преобладают фрагменты высших водных растений (роголистник и рогаз); спорово-пыльцевые данные показали содержание пыльцы водных и прибрежноводных растений, остатки пресноводных и солоноватоводных водорослей и диноцист. Присутствуют обломки и целые раковины моллюсков *Unio* sp., *Limnea stagnalis*, *Dreissena polymorpha*, *Anisus eichwaldi*, *Valvata piscinalis*, встречаются наземные гастроподы, остатки насекомых.

Согласно палинологическим данным [1], отложения, залегающие в подошве ательской толщи, формировались в прохладном климате, в фазу господства сосново-еловых лесов и ольшанников. Спорово-пыльцевые спектры более высокие слоев отражают интервал аридизации климата и развития пустынно-степных или сухостепных ландшафтов с преимущественным распространением полынно-маревых сообществ на открытых пространствах и ольховых древостоев в долинах и котловинах на наиболее увлажненных участках. Об усилении гумидности климата, расширении площади лесов и развитии перигляциальных лесостепных ландшафтов, в растительном покрове которых преобладали биотопы ольховых и сосново-березовых древостоев с *Betula* sect. *Nanae* в кустарниковом ярусе, а также злаково-разнотравные и маревые ассоциации, можно сделать вывод на основании спорово-пыльцевых спектров, полученных для средней части ательских отложений. Спорово-пыльцевые спектры верхней части толщи отражают значительное усиление похолодания и, возможно, континентализации климата, вызвавшее распространение тундро-лесостепных природных обстановок [1]. Результаты спорово-пыльцевого анализа свидетельствуют о значительной динамике климатических условий и природных ландшафтов Нижневолжского региона в течение ательской эпохи.

По результатам радиоуглеродного анализа гуминовых кислот, выделенных из торфоподобных образований, залегающих в кровле ательской толщи, получены датировки: 36680 ± 850 (41628 ± 575 кал. лет) (ИГАН-4541); 37100 ± 660 (41907 ± 455 кал. лет) (САМ 163762); 40830 ± 100 (44367 ± 700 кал. лет) (ИГАН-4542) [2]. Датировки указывают, что заключительные этапы ательской эпохи в Каспийском море относятся к

начальным стадиям средневалдайского мегаинтерстадиала Восточно-Европейской равнины (МИС 3). Тогда как самый низкий уровень ательской регрессии и формирование эрозионных врезов на территории Северного Каспия были приурочены к глобальному похолоданию в начале калининской (ранневалдайской) ледниковой эпохи (МИС 4). Это подтверждают многочисленные проявления многолетней мерзлоты в основании ательской толщи в разрезах Северного Прикаспия.

Ательская регрессия Каспия коррелирует со значительным понижением (до -100 м) уровня черноморского бассейна [3] вслед за ледниковой регрессией океана в ранневалдайскую эпоху максимального похолодания.

Замкнутые понижения, заполненные осадками периода мангышлакской регрессии, выявлены на большой площади Северного Каспия. Они врезаны в неоднородные по составу и структуре хвалынские отложения. Палеодепрессии обычно вытянуты в субширотном направлении, протягиваясь иногда на несколько километров параллельно или сближаясь друг с другом. Их ширина чаще составляет 300–500 м, глубина 6–8 м, иногда 12–13 м. По морфологии и расположению они аналогичны современным подступным ильменям дельты Волги. Доминируют глины, содержащие включения растительного детрита и пресноводных раковин. В составе органического материала растительный детрит, рассеянный либо концентрирующийся с образованием тонких прослоек торфа; остатки водорослей, главным образом диатомовых, концентрирующихся преимущественно в пелитовых глинисто-карбонатных осадках [4].

Встречаются раковины разной степени сохранности. В их составе доминируют *Dreissena polymorpha*, присутствуют *Monodacna caspia*, *Adacna laeviuscula*, *Unio pictorum*, *Unio* sp., *Micromelania caspia*, *Clessiniola variabilis*, *Theodoxus pallasi*, *Lithoglyphus caspius*, *Radix pereger*, *Viviparus viviparus*. В песчаных осадках в самой верхней части разреза встречены дидакны, обычно присутствующие в новокаспийских отложениях. Это позволяет предположить, что завершение заполнения понижений осадками произошло при повышении уровня моря на начальных этапах новокаспийской трансгрессии, обусловившей подтопление морскими водами наиболее глубоких понижений и миграцию в них каспийских моллюсков.

Состав биоостатков позволяет предположить две стадии развития водоемов, заполнявших палеопонижения: раннюю, сапропелевую, когда осадки формировались в более глубоких и открытых водоемах с заросшим дном, пресноводных или солоноватоводных, мезо- и эвтрофных, с подвижной водой, богатой карбонатами и сульфатами, насыщенной кислородом, со значительным привносом терригенного материала, и позднюю, торфяную, с формированием осадков в мелководных пресноводных водоемах, заросших почти полностью высшими растениями, со стоячими или слабо подвижными водами, с малым привносом

терригенного материала [4].

Состав спорово-пыльцевых комплексов отражает растительность открытых ландшафтов, почти полное отсутствие деревьев и преобладание степных ассоциаций ксерофитного облика [4].

Положение береговой зоны в максимум регрессии маркируется обширным конусом выноса, обрамляющим с юга палеодолину Волги у края шельфовой зоны на современных глубинах около 45–60 м, что может служить индикатором высотного положения уровня Каспия в это время. По данным радиоуглеродного датирования, возраст осадков находится в интервале 9860–6350 лет (~11400–7300 кал. лет). Для глинисто-карбонатных осадков самой нижней части разреза мангышлакских отложений значения $14C$ возраста лежат между 10 и 9 тыс. лет назад. Самый «молодой» возраст (менее 7 тыс. лет) получен для верхней части разреза.

В климатическом отношении эпоха развития мангышлакской регрессии (ранний голоцен) характеризовалась сравнительно высокой теплообеспеченностью и сухостью [5, 6]. Такое соотношение климатических показателей, очевидно, привело к повышению отрицательной составляющей водного баланса Каспия и его регрессии. Результаты палинологического анализа свидетельствуют о ксерофитизации растительного покрова в Каспийском регионе в целом в эпоху мангышлакской регрессии [7, 8, 9, 10]. Среднегодовое количество осадков меньше современных значений реконструировано для бассейна Волги в период до 9500 л.н. [11]. С. Лерой с соавторами [12] считает, что климатические факторы не могли вызвать столь значительное снижение уровня Каспия. Согласно их представлениям, дополнительной причиной для мангышлакской регрессии стал сток каспийских вод в Черноморский бассейн по Манычу. Каких-либо свидетельств (геологических, геоморфологических, палеонтологических) такого стока нет.

Согласно нашим реконструкциям, как ательская, так и мангышлакская регрессии, были обусловлены климатическими условиями как в бассейне Каспия, так и на его водосборных площадях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 21-44-04401).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болиховская Н.С., Янина Т.А., Сорокин В.М. Природная обстановка ательской эпохи (по данным палинологического анализа) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 6. С. 96–101.
2. Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А. Новые данные по стратиграфии верхнечетвертичных отложений Северного Каспия // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. № 1. С. 95–99.
- 3 История геологического развития континентальной окраины западной

части Черного моря / ред. П.Н. Куприн. М.: МГУ, 1988. 312 с.

4. Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Федоров В.И., Сорокин В.М., Лукша В.Л. Мангышлакские отложения (голоцен) Северного Каспия // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22. № 4. С. 88–108.

5. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.

6. Борисова О.К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Известия РАН. Сер. геогр. 2014. № 2. С. 5–20.

7. Абрамова Т.А. Результаты палеоботанического изучения четвертичных отложений западного побережья Каспийского моря // Комплексные исследования Каспийского моря. Вып. 3. М.: МГУ. 1972. С. 134–146.

8. Вронский В.А. Стратиграфия и палеогеография Каспийского моря в голоцене // Известия РАН. Сер. геолог. 1987. № 2. С. 73–82.

9. Болиховская Н.С. Эволюция климата и ландшафтов Нижнего Поволжья в голоцене // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2011. № 2. С. 13–27.

10. Leroy S.A.G., Tudryn A., Chalief F., Lopez-Merino L., Gasse F. From the Allerod to the mid-Holocene: palynological evidence from the south basin of the Caspian Sea // Quaternary Science Reviews. 2013. № 78. P. 77–97.

11. 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

12. Leroy S.A.G., Lopez-Merino L., Tudryn A., Chalief F., Gasse F. Late Pleistocene and Holocene palaeoenvironments in and around the middle Caspian basin as reconstructed from a deep-sea core // Quaternary Science Reviews. 2014. № 101. P. 91–110.

Based on a comprehensive study of drilling material from the North Caspian, a solution was proposed on the scale, time of occurrence of the Atelian and Mangyshlak regressions, paleogeographic conditions of these epochs and their correlation with paleogeographic events in adjacent territories.

***НАНО- И МИКРОЧАСТИЦЫ,
ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ
(АТМО-, КРИО-, ГИДРО-, ЛИТО-,
СЕДИМЕНТОСФЕРЫ)***

***MICRO- AND NANOPARTICLES,
AND MASS AND ENERGY FLUXES
(ATMO-, CRYO-, HYDRO-, LITHO-,
SEDIMENTOSPHERES)***

**Агафонова Е.А., Ключиткин А.А., Кравчишина М.Д.,
Новигатский А.Н.**

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

**Микроводоросли в осадочном веществе Норвежского моря
Agafonova E.A., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D.,
Novigatsky A.N.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Microalgae assemblages in the Norwegian Sea sinking material

Ключевые слова: диатомовые водоросли, осадочное вещество, Норвежское море, Лофотенская котловина

Определен состав диатомовых ассоциаций осадочного вещества Лофотенской котловины Норвежского моря (71°33.420 с.ш., 06°03.670 в.д., глубина моря 3030 м), полученном с помощью автоматической глубоководной седиментационной обсерватории, установленной с 2018 по 2019 гг. с седиментационными ловушками на горизонтах 500, 1250, 2110 и 2550 м. Установлено, что с глубиной происходит увеличение концентраций, значений потока и разнообразия видового состава диатомовых водорослей в осадочном веществе, также возрастает доля относительно тепловодных видов.

Северная Атлантика относится к зоне взаимодействия Атлантического и Северного Ледовитого океанов и является одним из районов, где происходит формирование глобальной термогалинной циркуляции. Благодаря тому, что через пролив Фрама идет постоянный водообмен, происходит взаимодействие теплых поверхностных водных масс и холодных полярных вод, а также перенос и перераспределение осадочного вещества и растворенных элементов [1–3].

На данный момент степень изученности диатомовых водорослей в поверхностных, плейстоценовых и голоценовых отложениях исследуемого района весьма высока [4–10]. При этом данные о составе микроводорослей в осадочном веществе недостаточны, необходимо более детальное исследование состава диатомовых ассоциаций в осадочном веществе, полученном с помощью седиментационных ловушек. Последние при высокой частоте мониторинга, позволяют получить информацию об особенностях осадочного процесса [11], в том числе о влиянии сезонных природно-климатических и биологических процессов на этапе рассеяния осадочного вещества после его возникновения.

В данной работе приводятся результаты диатомового анализа осадочного вещества, накопленного седиментационными ловушками в Лофотенской котловине Норвежского моря за год на четырех горизонтах: 500, 1250, 2110 и 2550 м при глубине моря 3030 м. Накопление и сбор материала осуществлялся автоматической глубоководной

седиментационной обсерваторией с седиментационными ловушками, которая была установлена в ходе 71-ого рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2018 г. и поднята в 2019 г. в 75-м рейсе того же НИС. Особенности сбора осадочного вещества в флаконы-пробосборники ловушек и предварительная подготовка материала для микропалеонтологических исследований описаны в [12]. Подготовка проб для диатомового анализа осуществлялась по общепринятым методикам [13]. Суммарная годовая концентрации створок диатомей на 1 г сухого осадка (ств./г) рассчитывалась по [14]. На основе данных о потоке осадочного вещества и концентраций диатомей было подсчитано среднее количество створок диатомовых водорослей поступающих на м² в течение суток (ств./м²/сут).

Концентрация диатомей в осадочном веществе, накапливавшемся на четырех горизонтах, изменяется от 7.697 млн. ств./г до 18.912 млн. ств./г, в целом увеличиваясь сверху вниз (рис. 1). Значения потока диатомовых водорослей также увеличиваются сверху вниз более чем в три раза с 312.522 тыс. ств./м²/сут на горизонте 500 м до 1013.705 тыс. ств./м²/сут на горизонте 2550 м.

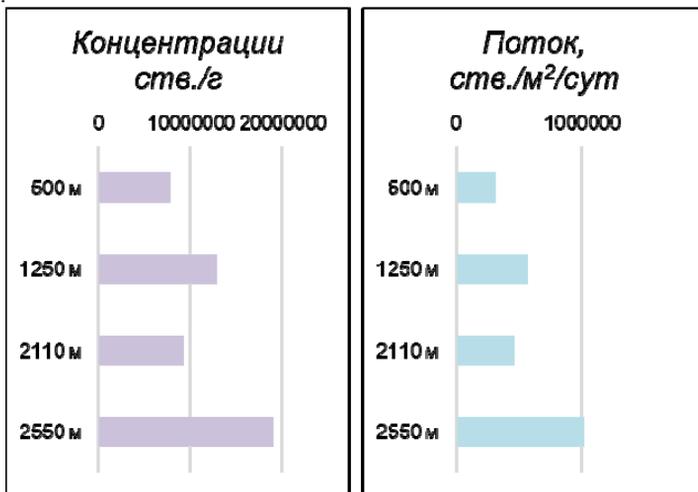


Рисунок 1. Значения концентраций и потоков диатомовых водорослей в осадочном веществе Лофотенской котловины Норвежского моря.

Состав диатомовых ассоциаций представлен 41 видом, обнаружено 5 пресноводных видов и 39 морских видов (рис. 2). Среди последних встречаются, как и относительно тепловодные виды, представленные *Coscinodiscus asteromphalus*, *C. radiatus*, *Thalassionema nitzschioides* и *Shionodiscus oestrupii*, так и относительно холодноводные виды, такие как *Actinocyclus curvatulus*, *Fragilariopsis atlantica*, *Thalassiosira kushirensis* и

др., в том числе и ледово-морские *Fragilariopsis cylindrus*, *F. oceanica*, *Nitzschia hybrida* и *Pauliella taeniata* и ледово-неритические виды *Chaetoceros furcellatus*, *Podosira gracialis*, *Thalassiosira antarctica*, *Thalassiosira bulbosa* и *Thalassiosira nordenskiöldii*. В составе диатомовых ассоциаций осадочного вещества всех четырех горизонтов был обнаружен вид *Neodenticula seminae*, который является типичным планктонным видом севера Тихого океана [15, 16], тем не менее, он встречается в планктоне и поверхностных осадках Северной Атлантики [4, 17–19]. Считается, что миграция данного вида в воды Северной Атлантики происходит вместе с проникновением северотихоокеанских поверхностных вод через Канадский Арктический архипелаг в периоды минимального развития площади его сезонного ледяного покрова [4, 20]. Также единично встречаются морские сублиторальные виды *Amphicoconeis discrepans*, *Cocconeis costata*, *Paralia sulcata*, *Rhabdonema minutum* и *Tryblionella coarctata*.

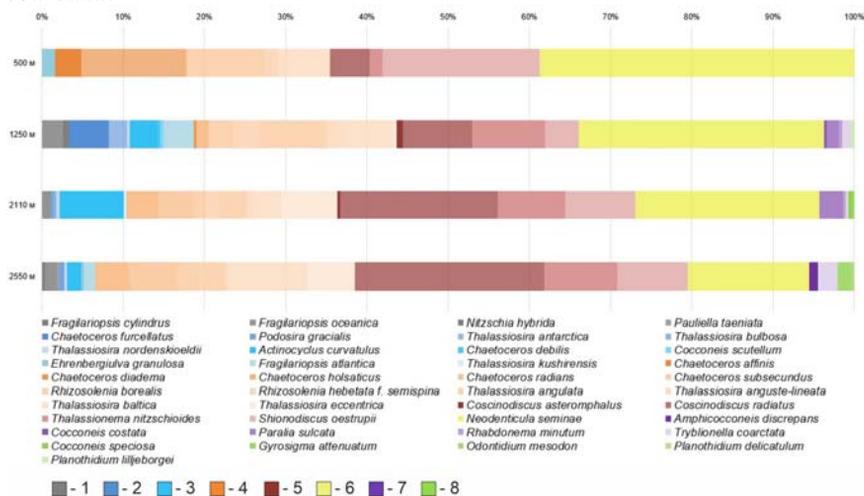


Рисунок 2. Распределение видов диатомовых водорослей в осадочном веществе Лофотенской котловины Норвежского моря. 1 – ледово-морские, 2 – ледово-неритические, 3 – холодноводные, 4 – неритические, 5 – тепловодные, 6 – тихоокеанские, 7 – сублиторальные, 8 – пресноводные виды.

Стоит отметить, что видовой состав увеличивается с 10 таксонов в осадочном веществе, накапливавшемся на горизонте 500 м до 24–27 видов в осадочном веществе нижних трех горизонтов, что вероятно связано с накоплением не только вертикальных потоков вещества, но и латеральных. Для осадочного вещества верхнего горизонта характерно отсутствие пресноводных и ледово-морских видов и в целом их доля не превышает 1–2

и 2–3% соответственно. При этом в осадочном веществе нижних двух горизонтов доля относительно тепловодных видов увеличивается, по сравнению с выше находящимися горизонтами, с 22–25 до 37–41%, за счет возрастающего числа видов *Coscinodiscus radiatus* и *Shionodiscus oestrupii*, который наиболее распространен в более южных широтах Северной Атлантики. Последнее фиксирует влияние поступления теплых водных масс из более южных районов Атлантического океана.

Дальнейшие исследования и планируемый многофакторный анализ позволят определить насколько концентрации, состав и величины потоков диатомовых водорослей зависят от определенных абиотических факторов, таких как температура и соленость поверхностных вод, влияние придонных течений и нефелоидного слоя, зон смешения атлантических и арктических водных масс, положения полярного фронта относительно района исследования и др.

Авторы признательны капитану НИС «Академик Мстислав Келдыш» Ю.Н. Горбачу, команде и всему научному составу за помощь в экспедициях. Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки № FMWE-2021-0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gordon A.L. The Role of Thermohaline Circulation in Global Climate Change // Lamont-Doherty Annual Report. 1989. P. 44–51.
2. Broecker W.S. The great ocean conveyor // Oceanography. 1991. V. 1. P. 79–89.
3. Dugstad J., Fer I., LaCase J., Lama M., Trodahl M. Lateral heat transport in the Lofoten Basin: near-surface pathways and subsurface exchange // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2019. V. 124. № 5. P. 2992–3006.
4. Reid P., Johns D., Edwards M., Starr M., Poulin M., Snoeijis P. A biological consequence of reducing Arctic ice cover: Arrival of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the North Atlantic for the first time in 800 000 years // Global Change Biology. 2007. V.13. P. 1910–1921.
5. Koç N., Miettinen A, Stickley C. Diatom Records. North Atlantic and Arctic // Encyclopedia of Quaternary Science. 2013. P. 562–570.
6. Andersen C., Koç N., Jennings A., Andrews J.T. Nonuniform response of the major surface currents in the Nordic Seas to insolation forcing: Implications for the Holocene climate variability // Paleoceanography. 2004. V. 19. PA2003.
7. Miettinen A. Diatoms in Arctic regions: Potential tools to decipher environmental changes // Polar Science. 2018. V. 18. P. 220–226.
8. Schrader H-J., Fenner J. Norwegian Sea Cenozoic diatom biostratigraphy and taxonomy. // Init. Repts. DSDP 38 / Talwani M. and Udintsev G. (eds.). 1976. P. 921–1099.
9. Джиноридзе Р.Н. Комплексы диатомовых водорослей из осадков Айс-Фиорда, Шпицберген // Вестник ЛГУ. 1986. Сер. 7. № 1. С. 108–111.

10. Miller K., Chapman M., Andrews J., Koç N. Diatom phytoplankton response to Holocene climate change in the Subpolar North Atlantic // *Global and Planetary Change*. 2011. V. 79. P. 214–225.
11. 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. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
12. Клювиткин 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.
13. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.
14. Battarbee R.W. A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms // *Limnology and Oceanology*. 1973. V. 18. № 4. P. 647–653.
15. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: АН СССР, 1962. 258 с.
16. Kazarina G.K., Yushina I.G. Diatoms in recent and Holocene sediments of the North Pacific and Bering Sea // *Berichte zur Polarforschung*. 1999. V. 306. P. 120–133.
17. Starr M., Harvey M., Galbraith P.S., Gilbert D., Chabot D., Therriault J.-C. Recent intrusion of Labrador Shelf waters into the Gulf of St. Lawrence and its influence on the plankton community and higher trophic levels // *Theme Session on Environmental Influence on Trophic Interactions*. 2002.
18. Miettinen A., Koç N., Husum K. Appearance of the Pacific diatom *Neodenticula seminae* in the northern Nordic Seas – An indication of changes in Arctic sea ice and ocean circulation // *Marine Micropaleontology*. 2013. V. 99. P. 2–7.
19. Sha L., Jiang H., Seidenkrantz M.-S., Knudsen K.L., Olsen J., Kuijpers A., Liu Y. A diatom-based sea-ice reconstruction for the Vaigat Strait (Disko Bugt, West Greenland) over the last 5000 yr // *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.* 2014. V. 403. P. 66–79.
20. Matul A., Kazarina G. The North Pacific Diatom Species *Neodenticula seminae* in the Modern and Holocene Sediments of the North Atlantic and Arctic // *Geosciences*. 2020. V. 10 (5). 173.

The composition of diatom assemblages was studied in the sedimentary matter of the Norwegian Sea Lofoten Basin (71°33.420 N, 06°03.670 E, sea depth 3030 m), obtained using the automatic deep-water sedimentary observatory (2018–2019 at horizon 500, 1250, 2110 and 2550 m). The results indicated an increase in the concentrations, fluxes, taxonomic diversity of diatoms and number of relatively warm-water species in the sinking material of two lower horizons.

Адилбаева Т.Е., Таловская А.В., Языкков Е.Г.

(Томский политехнический университет, г. Томск, email: mega.adilbaeva@mail.ru)

Минерально-вещественные и геохимические особенности нерастворимого осадка снегового покрова как индикатор состояния атмосферного воздуха (на примере города Караганда, Центральный Казахстан)

Adilbayeva T.E., Talovskaya A.V., Yazikov E.G.

(Tomsk Polytechnic University, Tomsk, email: mega.adilbaeva@mail.ru)

Mineral-material and geochemical features of as an indicator of the state of the air (case study: city of Karaganda, Central Kazakhstan)

Ключевые слова: экогеохимия, снеговой покров, геохимический состав, минерально-вещественный состав, техногенные образования, сканирующий микроскоп

Выполнены исследования минерально-вещественного и геохимического состава твердого осадка снега на территории многопрофильного промышленного города Караганда (Центральный Казахстан). С помощью микроскопических методов и рентгеновской дифрактометрии выявлено, что в пробах доля техногенных образований, преобладает над природными частицами. Высокая доля техногенных образований в пробах приходится на производственную и малоэтажную зону, представлена угольными частицами, сажей и золой. Содержание Hg, U, Ta, Zn, Sr, Sc, Ca, Na, Cr, Rb, Cs в твердом осадке снегового покрова превышает фоновые значения от 2 до 20 раз. Содержание Th, Br, Sb, As и лантаноидов определено на уровне фоновых ($Kc \leq 1,5$) в твердом осадке снега. Приоритетными источниками загрязнения снегового покрова на территории города являются теплоэлектростанция, расположенная рядом с городом, малоэтажная застройка (отапливаемая углем), транспортная инфраструктура и противогололедные мероприятия.

Количество пылевых выпадений в снеговом покрове является важным индикатором экологического состояния атмосферного воздуха. Снеговой покров – компонент природной среды, с точки зрения экогеохимии можно расценивать как индикатор геохимических аномалий на городской территории в зимний сезон.

Целью работы является оценка экологического состояния территории г. Караганда на основе изучения минерально-вещественного и геохимического состава нерастворимого осадка снега.

На территории города осуществлялась площадная снеговая съемка. Мониторинг загрязнения снегового покрова выполнялся в окрестностях теплоэлектростанции с 2014 по 2021 гг. Всего отобрано и подготовлено 184 пробы, весом каждая около 15 кг. В лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» нами осуществлялось определение минерально-вещественного

состава проб на бинокулярном стереоскопическом микроскопе (Leica EZ4D) с видео приставкой согласно запатентованной методике [1]. Проведен анализ отдельных проб для определения их минерального состава при помощи рентгеновской дифрактометрии (Phaser D2). Кроме того, изучены микрочастицы с помощью электронной сканирующей микроскопии в лабораториях Карагандинского технического университета. В ядерно-геохимической лаборатории на базе ядерного реактора в Томском политехническом университете определен элементный состав проб инструментальным нейтронно-активационным методом. Обработка данных включала расчет эколого-геохимических показателей в соответствии с работами [2–4].

По результатам исследования на территории города средняя величина пылевой нагрузки составляет 232 мг/(м²·сут.) и соответствует низкому и неопасному уровню загрязнения в соответствии нормативной градацией [2]. Диапазон значений пылевой нагрузки находится в интервале от 26 мг/(м²·сут.) до 1751 мг/(м²·сут.) при фоне 47 мг/(м²·сут.).

По функциональным зонам выявлена закономерность статистически значимого уменьшения уровня пылевой нагрузки в 1.8 раз при сравнении со средне городской величиной (рис. 1а). В производственной зоне статистически значимые изменения пылевой нагрузки наблюдаются на уровне 1.8 раз. Статистически значимые изменения пылевой нагрузки в жилых и общественно – деловых зонах не наблюдаются. Похожая закономерность в формировании уровней пылевой нагрузки выявлена в зонах расположения транспортной инфраструктуры. В соответствии с нормативной градацией уровень пылевой нагрузки изменяется со среднего и умеренно-опасного в промышленной зоне на низкий и неопасный в жилых и общественно-деловых зонах, а также, в зоне сосредоточения транспортной инфраструктуры. Самые высокие уровни пылевой нагрузки (169–1032 мг/(м²·сут.)) локализованы до 0.7 км от теплоэлектростанции, эти показатели статистически значимо снижаются на расстоянии 1.6–4.5 км.

По результатам изучения минерально-вещественного состава на бинокулярном микроскопе в пробах твердого осадка снега на территории города обнаружены типы природных (9–35%) и техногенных частиц (65–91%). Основу природных частиц составляют кварц, полевые шпаты и растительные остатки. Основу техногенных образований составляют сажа и угольная пыль, шлак и зола, железо-содержащие и алюмосиликатные микросферулы. Процентное соотношение выявленных частиц в пробах существенно не изменяется по зонам, за исключением производственной зоны.

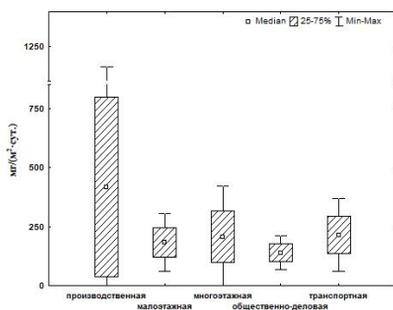


Рисунок 1. Пылевая нагрузка по функциональным зонам города Караганда

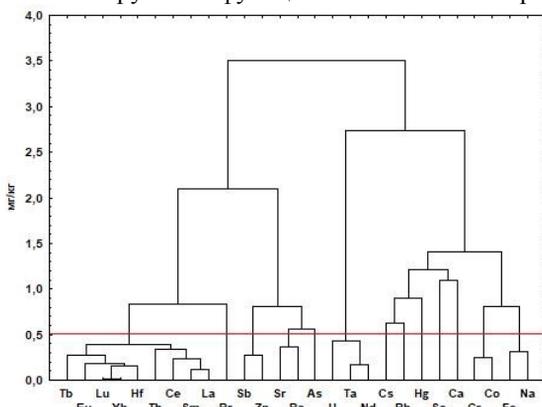


Рисунок 2. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимических ассоциаций элементов в твердом осадке снега на территории г. Караганда города (метод Варда, $1-r_{0,05}=0.51$, $n=93$)

В производственной зоне по данным рентгеновской дифрактометрии преобладают кварц (14.2%), альбит (12.1%), муллит (21.9%), который составляет основу алюмосиликатных микросферул. Также, в пробах установлено повышенное содержание сажи и угольной пыли (20–22%), шлака и золы (20–22%), железо-содержащих (21–25%) и алюмосиликатных (23–25%) микросферул, каолинит (12.7%) и хлорит (15.2%). Содержание выявленных минеральных фаз и микросферул в производственной зоне может быть связано с составом золы уноса. Мы определили, что Al-Si-сферулы и Fe-содержащие сферулы с размерами 0.2–41.7 мкм в твердом осадке снега по своей морфологии соответствуют таким же сферулам с размерами 1.5–126 мкм в золе уноса. Во многих исследованиях также показано, что для золы уноса характерно содержание сферул. В ряде работ показано, что зола уноса Экибастузского угля состоит в основном из кварца, муллита и магнетита. Следовательно, микросферулы и минеральные фазы,

содержащиеся в золе уноса, могут выбрасываться в воздух и затем осаждаться в снеговом покрове.

Геохимическая характеристика твердого осадка снегового покрова на территории города характеризуется широким диапазоном содержаний химических элементов с проявлением точечных аномалий в пробах с высокими значениями. Содержание Hg, U, Ta, Zn, Sr, Sc, Ca, Na, Cr, Rb, Cs в твердой фазе снегового покрова превышает фоновые значения от 2 до 20 раз. Содержание Th, Br, Sb, As и лантаноидов определено на уровне фоновых ($Kc \leq 1.5$) в твердом осадке снега. Суммарный показатель загрязнения (Z_c) изменяется со среднего и умеренно-опасного уровня в производственной зоне на низкий и неопасный уровень в остальных зонах.

Кластерный анализ (рис. 1б) выделил 7 значимых геохимических ассоциаций элементов в твердом осадке снега на территории города: 1) Tb-Eu-Hf-Lu-Yb, 2) Th-Ce-Sm-La, 3) Sb-Zn, 4) Sr-Ba, 5) U-Ta-Nd, 6) Cr-Co, 7) Fe-Na. Выявленные геохимические ассоциации указывают на единые источники поступления элементов в снеговой покров и формы нахождения в твердом осадке снега. На сканирующем электронном микроскопе выявлены твердофазные формы U-Ta-Nb-содержащие микрочастицы с включениями Ti, Fe, Ca размер которых варьирует от 21 до 68 мкм (рис. 3а).

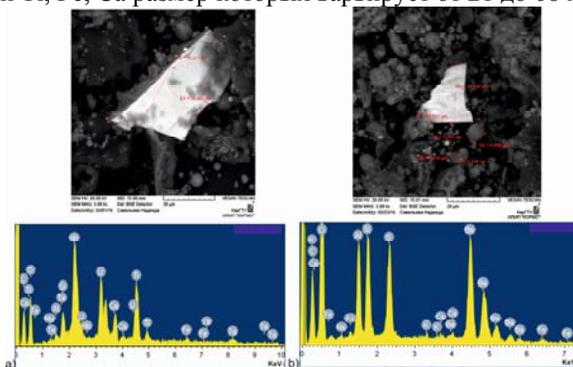


Рисунок 3. СЭМ-изображения и энергодисперсионный спектр микрочастиц в нерастворимом осадке снегового покрова
а) U-Ta-Nb с примесями Ti, Fe, Ca; б) сульфат бария

Обнаружены интерметаллические микрочастицы различные по составу с комбинациями металлов Fe, Ca, Zn, Pb, Ti, W, Mn, Cr, Co размерностью 0.9–12 мкм. Частицы размером 62–96 мкм, состоящая из S, Ba была принята за сульфат Ba (рис. 3б).

При расчете статистических данных между зонами отмечается весьма удовлетворительная сходимость, это является доказательством, что производственная зона и транспортная инфраструктура являются приоритетными источниками пылевого загрязнения снегового покрова на

территории города. Такое распределение пыли связывают с возможным влиянием низкогорных и холмистых форм рельефа и скоростным режимом ветра. Зимой, когда поверхность почвы на территории города покрыта снегом, основной вклад в поступление минеральных частиц вносят противогололедные мероприятия, частично выбросы малоэтажной застройки, отапливаемые углем и дальний перенос.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, Р.С. Смирнова, И.Л. Башаркевич, Т.Л. Онищенко, Л.Н. Павлова, Н.Я. Трефилова, А.И. Ачкасов, С.Ш. Саркисян. М.: Недра, 1990. 335 с.
2. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186 № 2932 83. М.: Госкомгидромет, 1991. 693 с.
3. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 111 с.
4. Патент 2229737 Россия, МПК⁷ G 01 V 9/00. Способ определения загрязненности снегового покрова техногенными компонентами / Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю., Таловская А.В.; заявитель и патентообладатель. Томский политехн. ун-т. № 2002127851; заявл. 17.10.2002; опубл. 27.05.2004.

Studies of the mineral-material and geochemical composition of solid snow sediment on the territory of the multidisciplinary industrial city of Karaganda (Central Kazakhstan) have been carried out. Using microscopic methods and X-ray diffractometry, it was revealed that the proportion of technogenic formations in the samples prevails over natural particles. A high proportion of technogenic formations falls on the industrial and low-rise zone, represented by coal particles, soot and ash. The content of Hg, U, Ta, Zn, Sr, Sc, Ca, Na, Cr, Rb, Cs in the solid phase of snow cover exceeds background values from 2 to 20 times. The content of Th, Br, Sb, As and lanthanides is determined at the background level ($Cs \leq 1.5$) in a solid snow deposit. Priority sources of snow cover pollution in the city are a thermal power plant located near the city, low-rise buildings (heated by coal), terrain features, transport infrastructure and anti-icing measures.

**Антонова В.М.^{1,2}, Губанова Д.П.¹, Виноградова А.А.¹,
Таловская А.В.²**

(¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, e-mail: anvinograd@yandex.ru, antonovavm23@mail.ru, gubanova@ifaran.ru, ²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, e-mail: talovskaj@yandex.ru)

**Результаты анализа элементного состава аэрозольных
частиц многомерными статистическими методами
Antonova V.M.¹, Gubanova D.P.¹, Vinogradova A.A.¹,
Talovskaya A.V.²**

(¹A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, ²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk)

**Results of the analysis of the elemental composition of aerosol
particles by multidimensional methods**

Ключевые слова: аэрозоль, элементный состав, статистические методы анализа, снеготалая вода

Представлены результаты анализа элементного состава приземного аэрозоля в Москве зимой и весной 2021 г. по данным регулярных наблюдений физико-химических характеристик аэрозоля в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН. Применение методов многомерного статистического анализа позволило выделить разные группы элементов, обусловленные условиями их формирования, а также выявить значимые различия в уровне накопления элементов в приземном воздухе при переходе от зимы к весне.

Использование статистических методов исследования для оценки элементного состава атмосферных аэрозолей позволяет получить более точные и надежные результаты, а также повысить уровень понимания процессов, происходящих в атмосфере. Атмосферные аэрозоли характеризуются сложным химическим составом, оценка которого требует обработки большого количества данных. Статистические методы помогают обнаружить в их совокупности закономерности и зависимости, позволяют установить причинно-следственную связь между составом аэрозолей и их возможными источниками, а также оценить репрезентативность и достоверность результатов [1].

С осени 2019 г. в ИФА им. А.М. Обухова РАН реализуется комплексный эксперимент, целью которого является изучение изменчивости физико-химических параметров приземного аэрозоля в контексте антропогенного влияния мегаполиса и воздействия синоптических и метеорологических условий в Центральном административном округе г. Москвы [2]. Данная территория характеризуется плотной застройкой административных и жилых зданий и густой сетью автомобильных дорог со средним и малым

трафиком, небольшим количеством предприятий, малыми площадями с растительностью и открытыми участками почвы [3]. В настоящей работе рассматриваются результаты анализа данных элементного состава аэрозольных частиц при помощи многомерных статистических методов зимой и весной 2021 г.

Элементный состав приземного аэрозоля, отобранного ежедневно в зимний (с 10 января по 15 февраля) и весенний (с 28 марта по 2 мая) периоды, исследован методами атомно-эмиссионной спектроскопии (ICP-AES) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Кроме того, здесь же осуществлялся отбор проб снежного покрова для изучения химического состава снеготалой воды в зимний период 2021 г. Благодаря своей способности аккумулировать загрязнители, анализ снегового покрова предоставляет доступную информацию о состоянии атмосферного воздуха [4, 5].

Статистическая обработка данных элементного состава аэрозолей и снеготалой воды выполнялась современными методами статистического анализа с помощью ПО «Statistica» [1, 4]. В статье приведены результаты кластерного и факторного анализов элементного состава проб, а также результаты сравнения по элементному составу двух сезонов года и двух сред (снеготалая вода–аэрозоль) с помощью критериев Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни.

Кластерный анализ элементного состава аэрозолей весеннего и зимнего периодов позволил определить две ассоциации элементов, характерные для обоих рассматриваемых периодов: Pb-Cd и Mo-Sn-Cu-Ba-Zn-La-Co-Hf-Cr-Mn-Fe-V-Ni-P (уровень значимости 0.68) (рис. 1). Выявленные кластеры химических элементов могут указывать на единый источник поступления элементов в атмосферный воздух (например, Pb и Cd от транспорта), а также о сходстве их природы (терригенные элементы второй группы) и форм нахождения в аэрозолях.

Главными целями факторного анализа являются сокращение числа рассматриваемых микроэлементов и определение структуры взаимосвязей между элементами, т.е. их классификация [1]. В таблице показаны значимые корреляции между фактором и элементом со значением нагрузки больше 0.5 для каждого элемента, достоверно связанного с конкретным фактором.

Зимой 2021 г. определено 2 фактора, объединяющие элементы в группы (таблица). Фактор 1 является наиболее значимым, доминирующим и характеризуется крупной ассоциацией элементов с положительной корреляционной связью. Он обуславливает 33% дисперсии распределения содержания химических элементов в аэрозолях и включает редкие и редкоземельные, радиоактивные элементы, тяжелые металлы 1, 2 и 3 класса опасности, а также макроэлементы, свойственные составу дорожной и строительной пыли. Фактор 2 – менее значимый и отвечает за 12% дисперсии, при этом также положительно связан с большой ассоциацией

элементов. Можно предположить, что первый фактор охватывает элементы терригенного происхождения, всегда присутствующие в приземной атмосфере [2], а второй фактор – элементы, в основном, антропогенные и/или глобального распространения.

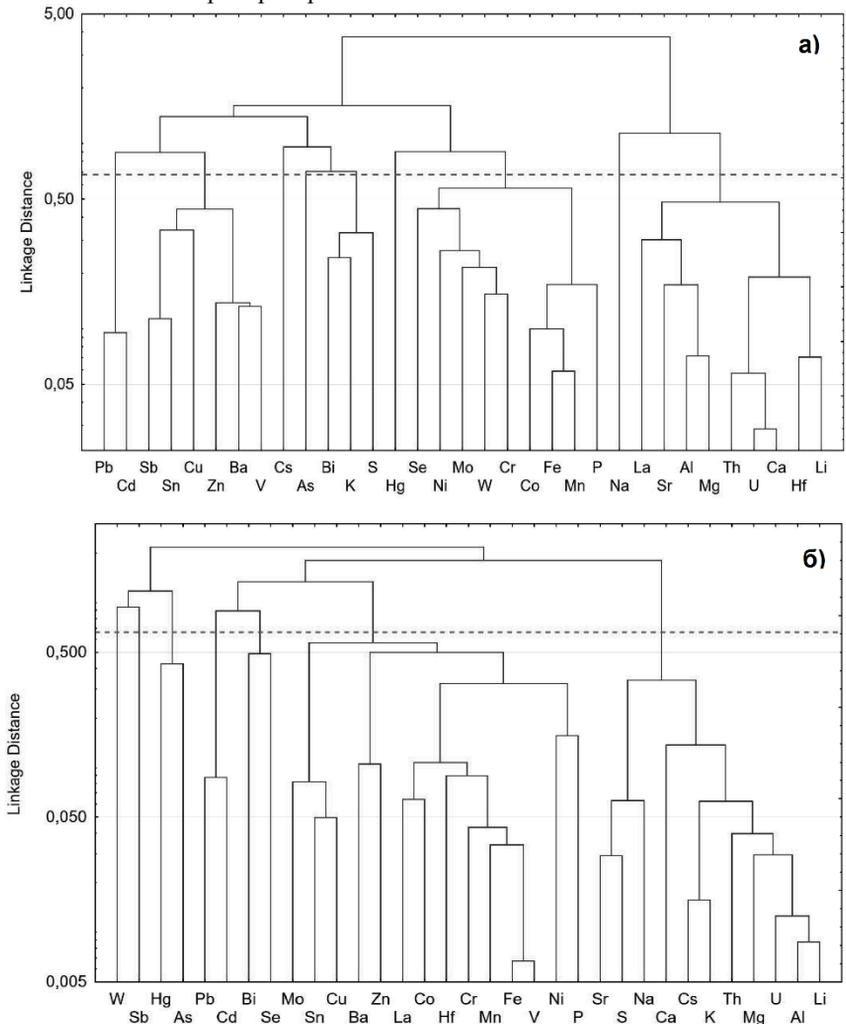


Рисунок 1. Дендрограммы корреляционных матриц значений концентрации элементов в аэрозолях: а) зимой; б) весной 2021 г. Пунктир – уровень значимости связей, равный 0.68.

Таблица. Химические элементы, имеющие значимые (>0.5) факторные нагрузки в рассматриваемых аэрозолях весной и зимой 2021 г.

Зима	Фактор 1	Li, Mg, Al, P, Ca, Mn, Fe, Co, Sr, Hf, W, Th, U
	Фактор 2	P, S, K, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, W, Pb, Bi
Весна	Фактор 1	Li, Na, Mg, Al, P, S, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Hf, Pb, Bi, Th, U
	Фактор 2	S, As, Hg

Весной также выделены два основных фактора. Фактор 1 является наиболее значимым и характеризуется крупной ассоциацией элементов (таблица), он обуславливает 69% дисперсии распределения содержания химических элементов в аэрозолях. Вероятно, весной на поверхности оттаивающей влажной почвы активизируются процессы эмиссии и стока химических элементов в атмосферу и из нее. Фактор 2 – менее значимый и отвечает за 10% дисперсии, при этом он отрицательно связан с S, As и Hg, что может указывать на глобальное или антропогенное распространение этих элементов.

Для сравнения содержания химических элементов в аэрозолях зимой и весной 2021 г. применены критерии Колмогорова-Смирнова и Манна-Уитни. Анализ результатов двух тестов показал статистически значимые высокие уровни накопления всех изучаемых элементов в аэрозоле весной в сравнении с зимой ($p \leq 0.001$). Выявленное сходство в накоплении элементов (Li, Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Hf, W, Hg, Pb, Bi, Th и U) в пробах, отобранных в разные сезоны одного и того же года (рис. 2) свидетельствуют о схожих факторах в поступлении рассматриваемого спектра элементов.

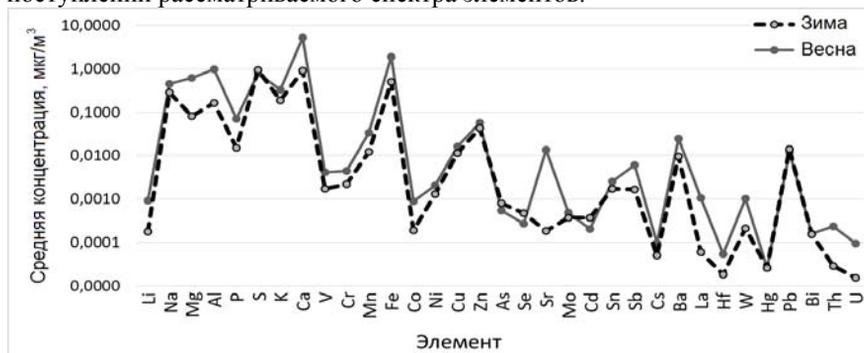


Рисунок 2. Средняя концентрация химических элементов в аэрозолях в разные сезоны 2021 г.

Изучение элементного состава снеготалой воды с помощью теста Колмогорова-Смирнова показало, что она отличается от зимнего аэрозоля достоверно значимо высоким уровнем накопления всех рассматриваемых элементов. Также обнаружена умеренная положительная корреляция содержания W в аэрозоле и в снеготалой воде. Установлено, что Cs в аэрозоле положительно коррелирует с Ca, Sr, Cd, La, Co, Ni, Ba, Mn в снеготалой воде, а W в аэрозоле – с Sb и Bi в снеготалой воде. Выявленные различия в уровнях накопления элементов в снеготалой воде и аэрозоле свидетельствуют о разных факторах и механизмах накопления изучаемого спектра элементов в аэрозоле и в снежном покрове.

Таким образом, применение многомерных статистических методов при анализе элементного состава аэрозолей позволяет выявить схожие кластеры химических элементов, которые могут указывать на их природу и общий источник их поступления в атмосферу. Многомерный анализ способствует повышению надежности получаемых сопоставительных результатов и конкретизации задачи при изучении процессов формирования в атмосферном аэрозоле различных компонентов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-27-00063).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михальчук А.А., Язиков Е.Г. Многомерный статистический анализ эколого-геохимических измерений. Часть I. Математические основы: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 152 с.
2. Виноградова А.А., Губанова Д.П., Иорданский М.А., Скороход А.И. Влияние метеорологических условий и дальнего переноса воздушных масс на состав приземного аэрозоля в Москве в зимние сезоны // Оптика атмосферы и океана. 2022. Т. 35. № 6. С. 436–446.
3. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2021 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mos.ru>
4. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в восточном округе Москвы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2012. № 4. С. 14–24.
5. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

The use of multivariate statistical analysis methods makes it possible to identify different groups of elements due to the conditions of their formation, as well as to identify significant features in the level of accumulation of elements in the surface atmosphere during the transition from winter to spring.

Беспалова А.И., Таловская А.В.

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, e-mail: bespalova.anastasi15@gmail.com)

Элементный состав микрочастиц уличной пыли на промышленно-урбанизированной территории (юг Западной Сибири)

Bespalova A.I., Talovskaya A.V.

(National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk)

Elemental composition of street dust microparticles in industrial-urbanized territories

Ключевые слова: аэрозольное загрязнение, атмосферный воздух, уличная пыль, элементный состав

Представлены результаты изучения элементного состава проб уличной пыли на территории г. Томска. Приведена оценка уровня загрязнения среды по величине суммарного коэффициента обогащения. Обнаружены металлосодержащие микрочастицы антропогенного происхождения.

Аэрозольное загрязнение атмосферного воздуха в промышленных городах является актуальной проблемой современного времени. В ходе движения воздушных потоков аэрозольные частицы могут переноситься на дальние расстояния и оседать в различных компонентах природных сред, а впоследствии и попадать в организм человека [11].

Уличная пыль представляет собой компонент среды со сложным физическим и химическим составом, состоящий, в том числе, и из частиц, ежедневно выпадающих из атмосферного воздуха. В летнее время года уличная пыль служит актуальным объектом исследования для оценки геоэкологического состояния территории.

Целью работы является изучение элементного состава микрочастиц уличной пыли на урбанизированной территории на примере многопрофильного промышленного г. Томска.

Отбор и подготовка 50 проб уличной пыли с территории г. Томска осуществлялась автором согласно методическим подходам, освещенных в опубликованных работах [1, 4, 6]. Для расположения точек отбора проб использовали площадную систему наблюдений (М 1:50 000) на основе ранее выполненных эколого-геохимических исследований снежного и почвенного покровов на территории города [3, 10]. В районах размещения промышленных объектов сеть отбора сгущали и использовали векторную систему отбора проб. Отбор происходил в летний период с помощью пластиковой щетки и совка методом конверта после трехдневного сухого период. Масса каждой пробы составляла от 200 до 600 г. При подготовке

проб пробы высушивали, удаляли посторонние предметы, просеивали (диаметр сита 1 мм) и взвешивали.

Элементный состав проб уличной пыли изучен методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) по аттестованной методике в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на базе исследовательского ядерного реактора ИРТ-Т ТПУ (аналитики Судыко А.Ф., Богутская Л.В.). Определено содержание 28 химических элементов в пробах. Исследование микрочастиц в отдельных пробах выполнялось на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с ЭДС приставкой Bruker XFlash 4010 в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ (консультант старший преподаватель отделения геологии, к.г.-м.н. Ильенок С.С.).

Обработка полученных данных осуществлялась при помощи MS Excel и ПО Statistica. Построение карто-схем выполнялось в ПО «Surfer» методом Kriging.

Для оценки степени обогащения уличной пыли элементами производился расчет коэффициентов обогащения (K_e) относительно кларка земной коры [4]: $K_e = (C_{X_3}/C_{Sc}) \text{ проба} / (C_{X_3}/C_{Sc}) \text{ земн. кора}$, где C_{X_3} и C_{Sc} – содержание химического элемента и скандия как реперного элемента соответственно в пробе или в земной коре (кларк земной коры для Sc – 15 мг/кг по Н.А.Григорьеву [2]). Также производился расчет K_e относительно среднего содержания элементов в почвогрунтах города [3], т.к. в летнее время они формируют состав уличной пыли. Значения K_e более 1 указывают на антропогенные источники поступления химических элементов, а K_e менее 1 – на литогенную природу элементов.

Оценка уровня загрязнения определяется путем подсчета суммарного коэффициента обогащения по формуле: $Z_e = \sum K_e - (n-1)$, где K_e – коэффициент обогащения; n – количество элементов, учитываемых при $K_e > 1.5$. Степень загрязнения определяется согласно следующей градации суммарного коэффициента обогащения: <32 – неопасный, 32–64 – умеренно опасный, 64–128 – опасный, 128–256 – очень опасный, >256 – чрезвычайно опасный [1, 4].

Содержания химических элементов в уличной пыли г. Томска варьируются в широких пределах (рис. 1).

По определенным K_e , рассчитанным относительно кларка земной коры, уличная пыль существенно обогащена Sm, Ce, Ca, Cr, Yb, Hf, As, Fe, Zn, Co, Eu, Sb (K_e от 1.5 до 61.6).

Коэффициенты обогащения, рассчитанные относительно почвогрунтов, показали, что уличная пыль обогащена Ca, Cr, Hf, Sr, As, Fe, Co, Na (K_e от 1.5 до 45.3). Полученные результаты указывают на антропогенную природу элементов.

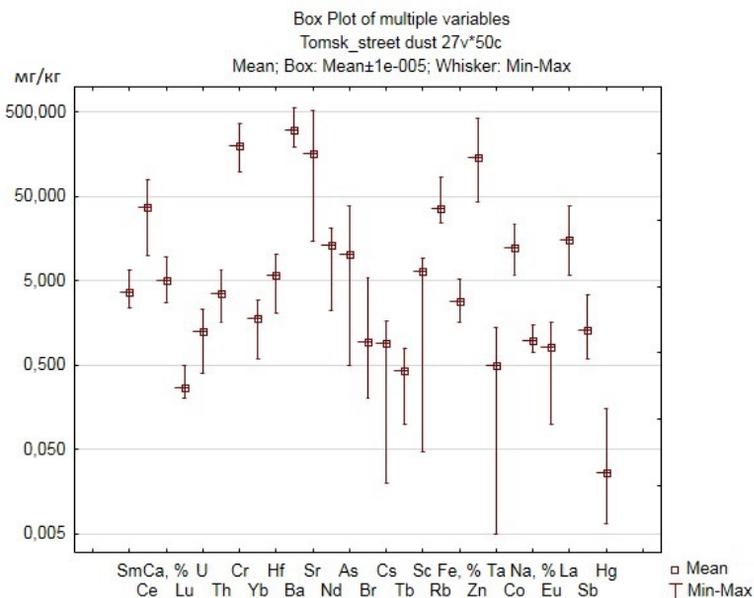


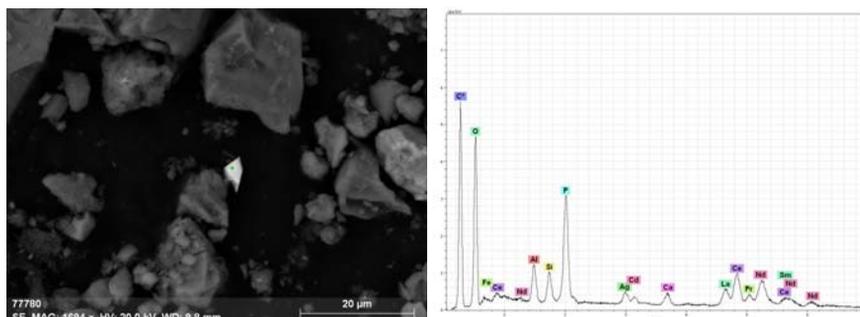
Рисунок 1. Разброс содержаний элементов в пробах уличной пыли г. Томска

Главным антропогенным источником поступления химических элементов является сжигание ископаемого топлива. Возможными антропогенными источниками поступления в уличную пыль редкоземельных элементов могут являться выбросы предприятий топливно-энергетического комплекса, строительной индустрии, что соотносится с результатами, полученные по почвогрунтам и снежного покрова г. Томска [3, 9].

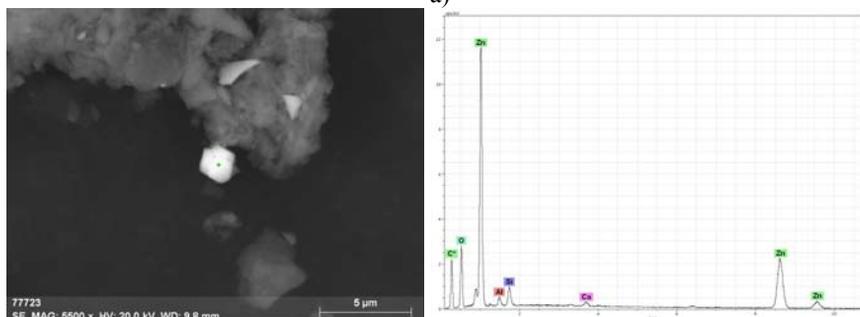
Суммарный коэффициент обогащения относительно кларка земной коры соответствует опасному уровню загрязнения ($Z_c = 83$ ед.), а относительно почвогрунтов – умеренно опасному ($Z_c = 58$ ед.).

Исследование методом электронной сканирующей микроскопии позволило обнаружить в уличной пыли металлосодержащие микрочастицы размерами от 1.5 до 45 мкм, включая оксиды свинца, цинка, железа, вольфрама, La-Ce частицы и др. (рис. 2).

Таким образом, изучен элементный состав микрочастиц в уличной пыли на территории г. Томска.



а)



б)

Рисунок 2. Фотографии частиц с энергодисперсионным спектром под электронным сканирующим микроскопом в уличной пыли: а) La-Ce частица (4 мкм); б) оксид цинка (2.5 мкм)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ г. Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 2015. № 1. С. 23–33.
2. Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
3. Жорняк Л.В., Язиков Е.Г. Редкие, редкоземельные и радиоактивные элементы в почвенном покрове урбанизированных территорий (на примере г. Томска) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2008. № 4. С. 82–84.
4. Касимов Н. С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е. М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
5. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
6. Московченко Д. В., Пожитков Р. Ю., Укарханова Д. Т. Геохимия дорожной пыли Г.Тобольск // Природопользование и устойчивое развитие

регионов России: Сб. статей III Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 15–16 июня 2021 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. С. 135–139.

7. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

8. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова). Дисс. ... докт. г.-м.н. Томск, 2022.

9. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Шахова Т.С., Филимоненко Е.А. Оценка аэротехногенного загрязнения в окрестностях угольных и нефтяных котельных по состоянию снегового покрова (на примере Томской области) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 10. С. 116–130.

10. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 264 с.

11. Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. Copenhagen: WHO, 2007. 130 p.

The results of studying the elemental composition of street dust samples in the city of Tomsk are presented. An assessment of the level of environmental pollution based on the value of the total enrichment coefficient is given. Metal-containing microparticles of anthropogenic origin were discovered.

Будаева Ю.С., Таловская А.В.

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, e-mail: Julia.Empler@yandex.ru)

Минерально-вещественный состав микрочастиц уличной пыли на территории монопрофильного промышленного города

Budaeva Y.S., Talovskaya A.V.

(National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk)

Mineral and material composition of street dust's microparticles collected on the territory of monopile industrial town

Уличная пыль, микрочастицы, минеральные включения, техногенные частицы

В работе приводятся результаты анализа минерально-вещественного состава уличной пыли, отобранной с территории монопрофильного промышленного города. В составе уличной пыли обнаружены минеральные и техногенные микрочастицы различного генезиса.

Мониторинг состояния окружающей среды представляет собой комплексные наблюдения за ее компонентами: природной средой, а также природными, антропогенными и природно-антропогенными объектами [1].

Уличная пыль является природно-антропогенным объектом, который формируется под влиянием естественных факторов (выветривание почвенного покрова), а также при участии хозяйственной деятельности человека. В настоящее время в нашей стране развивается направление по геохимии уличной (дорожной) пыли для индикации состояния окружающей среды на урбанизированных территориях [2].

В данной работе основное внимание уделено изучению минерально-вещественного состава уличной пыли на территории монопрофильного промышленного г. Юрга (юг Западной Сибири).

С 1940-х гг. на территории города функционировал машиностроительный завод, специализирующийся на производстве горношахтного оборудования и сельскохозяйственной техники. В 2020 году завод был ликвидирован. Завод представлял собой производство полного цикла: имелись металлургический и кузнечный цеха; обрабатывающее, механосборочное и сварочное производства. В настоящее время в качестве действующего объекта на территории завода выделяется собственная ТЭЦ, использующая уголь Кузнецкого бассейна. Также в промышленной зоне на территории г. Юрга располагаются завод строительной продукции (производство теплоизоляционной продукции) и ферросплавное производство.

Отбор проб уличной пыли проводился по площадной системе (М 1:

50000) методом конверта с твердого асфальтного или бетонного покрытия. Точки отбора проб при этом были совмещены в пространстве с пунктами отбора снегового покрова, выполненного ранее на территории города [8]. Пробоподготовка включала просушивание при комнатной температуре и просеивание проб через набор стандартных сит.

Минерально-вещественный анализ уличной пыли и ее гранулометрических фракций (<20 мкм, 20–50 мкм, 50–100 мкм, 100–1000 мкм) проводили методом оптической микроскопии на бинокулярном микроскопе Leica EZ4D с видео-приставкой в соответствии с запатентованной методикой (патент № 2229737), а также методом рентгеновской дифрактометрии на порошковом дифрактометре Bruker D2 PHASER (при консультации к.г.-м.н., доцента Соктоева Б.Р.) в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ.

Обработка результатов минерально-вещественного состава уличной пыли осуществлялась в программе MS Excel. Карта-схемы пространственного распределения содержаний частиц в уличной пыли строились в программе SurfEr методом Kriging.

В результате исследований установлено, что в составе уличной пыли с территории г. Юрга в среднем преобладают минеральные частицы (65%) над техногенными образованиями (35%). Минеральные частицы представлены кварцем, полевыми шпатами, карбонатами, слюдами и глинистыми частицами (таблица).

На территории промышленной зоны, где располагаются промышленные предприятия города, среднее содержание минеральных частиц составляет 62%, что близко к среднегородскому показателю. По мере удаления от промышленной зоны к жилым районам города их содержание в уличной пыли растет до 69% в среднем в пробах уличной пыли, отобранных в кварталах жилых мало- и высокоэтажных домов (рисунок). Детальные исследования отдельных проб из промышленной зоны методом рентгеновской дифрактометрии показали, что минеральные фазы (%) доминируют над аморфными (%). При этом на долю кварца приходится 47 %, полевых шпатов (альбит, анортит, анортоклаз, ортоклаз) – 9.5, 12.8, 7.5 и 9.1% соответственно, кальцита – 5%, железосодержащих минералов (магнетит, гематит) – до 1%, мусковита – 20%.

Содержания минеральных частиц в уличной пыли на территории города связано с процессами выветривания почвогрунтов.

Закономерное изменение содержания минеральных частиц в пробах уличной пыли связано с функционированием промышленных объектов в северной части города и ветровым переносом частиц техногенного происхождения.

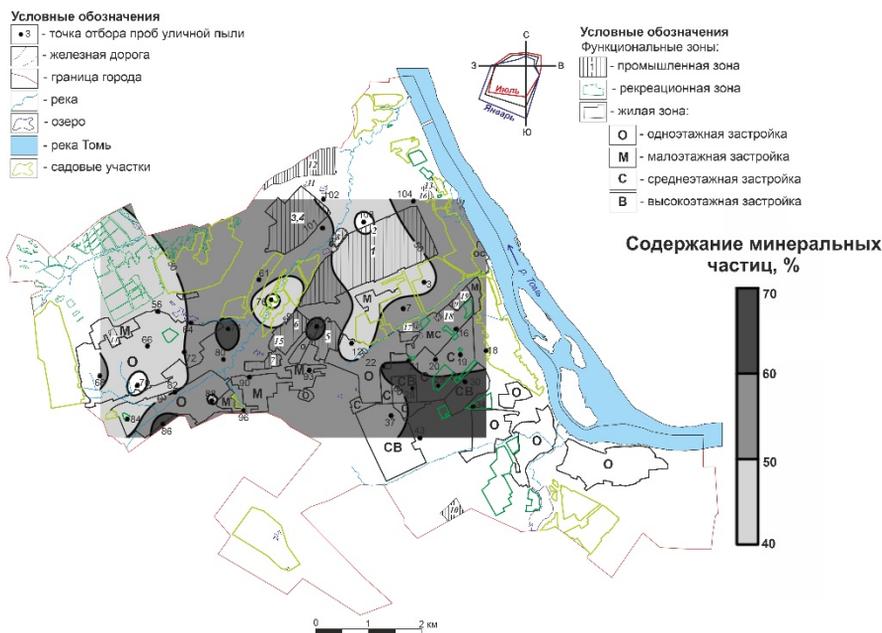


Рисунок. Карта-схема распределения минеральных частиц в уличной пыли на территории г. Юрга

Функционирование ТЭЦ машиностроительного завода, предназначенной для централизованного снабжения теплом на кузнецком угле, а также печное отопление в частном секторе – факторы, обуславливающие поступление и накопление частиц угольной пыли и недожженного угольного шлака сначала в снеговой и почвенный покров, а затем распространение в уличную пыль. Между тем, в летний период не снижается эксплуатация литейных цехов на ферросплавном производстве, для печей которых применяются коксующиеся угли.

Угольные частицы и шлаки в уличной пыли составляют в среднем 14% (таблица), причем наибольший привнос данного типа частиц приходится на окрестности ТЭЦ машзавода и частный сектор.

При сжигании углей происходит термическое превращение соединений железа в оксидные формы, с чем связано образование полых металлических микросферул [3, 4]. Поступление металлосодержащих сферических образований также связано с металлургическими процессами [5]. В пробах уличной пыли, отобранных с территории г. Юрга, распределение металлических микросферул показывает формирование ореола наиболее высоких содержаний данного типа частиц (17–18%) в окрестностях ТЭЦ машиностроительного завода и территории ферросплавного производства (таблица).

Техногенное происхождение в уличной пыли имеет муллит, выявленный на уровне 3% в пробах из окрестностей промзоны. Показано, что его поступление в атмосферный воздух связано с высокотемпературным сжиганием угля [6, 7]. В компонентах природной среды и углях муллит находится в составе алюмосиликатных микросферул [3, 4, 6]. В среднем в пробах уличной пыли их содержание составляет 4%, причем большая доля приходится на пробы, отобранные в окрестностях машиностроительного и ферросплавного заводов, оборудованных собственными котельными (таблица).

Таблица. Среднее содержание (%) техногенных частиц различного типа в уличной пыли с территории монопрофильного промышленного города

Территория	Кол-во проб	Алюмосиликат. микросферулы	Угольные частицы	Металлические микросферулы	Шлаковые частицы	Микропластик
г. Юрга (среднее)	35	4	14	6	8	1
Окрестности промышленной зоны	12	6	13	8	8	1
Рекреационная зона	3	3	13	3	10	1
Жилая зона						
- одноэтажная	11	3	16	5	8	1
- малоэтажная	11	3	14	5	8	1
- среднеэтажная	9	3	12	5	7	1
- высокоэтажная	3	3	11	5	7	1

Сравнение результатов анализа с ранее проведенными исследованиями вещественного состава твердого осадка снегового покрова на данной территории [8] показало, что в летний период времени отмечается снижение техногенной нагрузки на более чем 12%. Техногенная нагрузка формируется за счет поступления техногенных частиц, поэтому процесс ее снижения закономерный в виду повышения температуры воздуха и остановки отопительного сезона в летний сезон.

Основной вклад в техногенную нагрузку в период проведения отбора уличной пыли приходится на металлические микросферулы и шлаковые частицы, которые имеют разную морфологию, химический состав и происхождение. Поступление угольных частиц снижается в среднем на 3%, алюмосиликатных микросферул – на 10%.

Минерально-вещественный состав уличной пыли на территории монопрофильного промышленного города сильно зависит от промышленной специализации, а также сезонных особенностей

функционирования промышленных объектов. В дальнейшем в работе планируется изучение особенностей химического состава уличной пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 26.03.22) «Об охране окружающей среды» (10 января 2002 г.).
2. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ Москвы) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2014. № 3. С. 23–33.
3. Язиков Е.Г. и др. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 264 с.
4. Кизильштейн Л.Я. Следы угольной энергетики // Российский научно-популярный журнал. 2008. № 5. С. 42–46.
5. Петров М.А. Современные методы получения полых металлических микросфер / М.А. Петров, Ю.Л. Баст, П.А. Петров, А.А. Шейпак // Известия МГТУ «МАМИ». Раздел 2. Технология машиностроения и материалы. 2012. № 2. С. 144–150.
6. Кизильштейн Л.Я. Полезная зола // Химия и жизнь. 2011. № 3. С. 26–27.
7. Филимонокенко Е.А., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Особенности вещественного состава пылевых атмосферных выпадений в зоне воздействия предприятия топливно-энергетического комплекса (на примере Томской ГРЭС-2) // Оптика атмосферы и океана. 2012. № 10. С. 896–901.
8. Будаева Ю.С., Таловская А.В. Экологическая оценка городской территории на основе изучения техногенных частиц в снеговом покрове (на примере г. Юрга, Кемеровская область) // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 22–23 октября 2020. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2020. С. 76–81.

Presented results of analysis of mineral and material composition of street dust collected on the territory of monoprofile industrial town. Street dust include minerals and technogenic particles of various morphology and genesis. These particles release into the environment is due to operation of industrial facilities.

Глазырин Е.А., Прокопцев Г.Н.

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

**Подводная метановая разгрузка над Темрюкским
грязевулканическим полем (Азовское море)**

Glazyrin E.A., Prokoptsev G.N.

(Joint-Stock Company «Southern Scientific & Production Association for Marine
Geological Explorations», Gelendzhik)

**Underwater methane discharge over the Temryuk mud volcanic
field (Sea of Azov)**

Ключевые слова: грязевулканическое поле, грязевой вулкан, метановая разгрузка, гидрогазогеохимическое поле, Азовское море

Методом гидрогазогеохимического профилирования выполнены многолетние наблюдения за содержанием метана над подводной частью Темрюкского грязевулканического поля. Приведены сведения о концентрации метана в морской воде и ее изменениях в связи с активностью подводного Темрюкского грязевого вулкана и структурными особенностями грязевулканического поля.

Одним из основных продуктов грязевулканической активности и движущей силой извержений является метан [1–4]. В рамках государственного мониторинга состояния недр в пределах Керченско-Таманского региона выполняются наблюдения за разгрузкой метана над подводными грязевыми вулканами с периодичностью раз в год методом гидрогазогеохимического профилирования (ГГП) с целью выявления, оценки и прогнозирования активности грязевого вулканизма. Характеристика подводного грязевого вулканизма Керченско-Таманского региона и связанной с ним газо-флюидной разгрузки приведены в [5–8].

ГГП выполняется с применением морской углеводородной станции «ЛАКМУС». Метод характеризуется необходимой чувствительностью, экспрессностью и реализуется путем непрерывной закачки морской воды на борт судна, ее дегазации и анализа концентрации суммы метана и его гомологов с помощью хроматографа. Измерения выполняются на ходу судна, т.е. непрерывно. По опыту работ концентрация гомологов метана ничтожна и можно говорить лишь о метане.

По данным ГГП в пределах грязевулканических полей региона метановая разгрузка имеет широкое развитие. Содержание метана в приповерхностном слое морской воды меняется [9]. Примером служит изменение гидрогазогеохимического поля на Темрюкском грязевулканическом поле, приводимое в данном сообщении.

Темрюкское грязевулканическое поле является наиболее изученным среди других подводных грязевулканических полей региона. Структурно оно соответствует северо-восточному замыканию Фонталовской

антиклинали. Антиклиналь разбита продольными разломами на ступени и кулисы, дополнительно деформирована поперечными разломами и осложнена кальдерными нарушениями. Грязевулканическое поле выражено в рельефе морского дна в виде дугообразно изогнутого и кулисно построенного поднятия длиной 10 км и шириной около 3 км. На суше оно продолжается в рельефе в виде кулисных гряд и горой Тиздар с сухопутным грязевым вулканом Синяя Балка (Тиздар). Геоморфологически все выделяемые в пределах Темрюкского грязевого поля вулканы локализуются на самостоятельных кулисных поднятиях [7]. Наиболее активным на современном этапе развития поля выступает вулкан Темрюкский трещинного типа (рис. 1). Другие вулканы относятся к потухшим или находящимся на заключительной стадии активности (слабая газо-флюидная разгрузка).

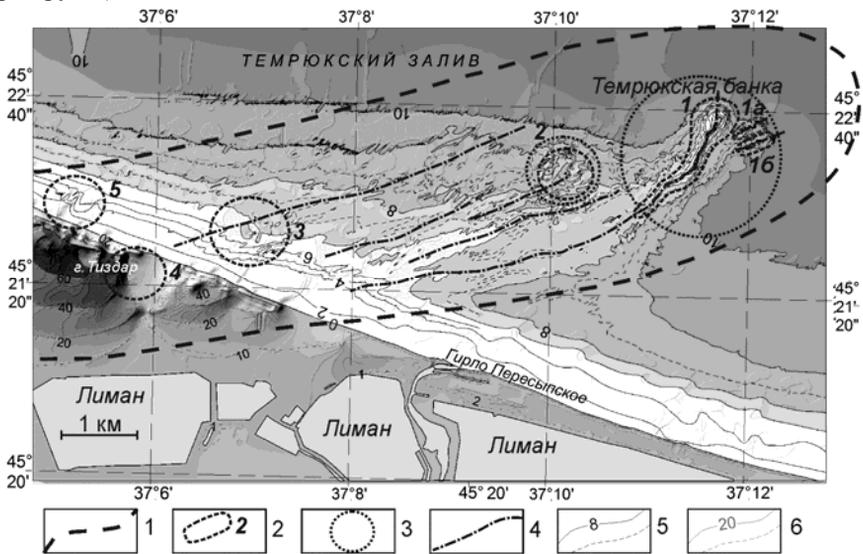


Рисунок 1. Морфология Темрюкского грязевулканического поля в рельефе морского дна [7]. Условные обозначения: 1 – граница грязевулканического поля; 2 – постройки грязевых вулканов (1 – Темрюкский; 1а, 1б – сателлитные; 2 – пассивная кальдерного типа; 3 – морской Тиздар; 4 – сухопутный Синяя Балка (Тиздар); 5 – предполагаемый по геоморфологическим признакам); 3 – кальдерные ограничения вулканов; 4 – оси кулисных поднятий морского дна; 5 – изобаты основные

Наблюдения показывают, что гидрогазогеохимическое поле в пределах грязевулканического поля нестабильно как во времени, так и по площади (таблица, рис. 2). В периоды грязевулканической активности, устанавливаемой опробованием по поставке свежей грязевулканической

брекнии в донные грунты, наблюдаются максимумы метановой разгрузки. В периоды грязевулканической активности разгрузка метана осуществляется преимущественно в центральных частях грязевых вулканов (2018 и 2022 гг. на рис. 2). В периоды покоя (пассивной сользово-грифонной деятельности) метановая разгрузка осуществляется на более низком уровне и преимущественно в краевых частях грязевых вулканов по системе оперяющих разломов и кальдерных ограничений, по периферии грязевулканического поля (рис. 2).

Таблица. Концентрации метана в верхнем слое воды на Темрюкском грязевулканическом поле, в нл/л

Показатели	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Среднее	279.6	235.7	355.6	283.1	237.6	367.1	581.4	303.7
Минимальное	256.2	194.8	229.2	234.5	165.5	236.4	498.7	256.4
Максимальное	361.8	366.3	715.7	606.6	386.8	580.2	669.3	371.8

В периоды покоя активность метановой разгрузки над грязевулканическими аппаратами (грязевой вулкан Темрюкский) минимальная. Это свидетельствует о закупорке основных подводных каналов. Закупорка основных подводных каналов с невысокой разгрузкой метана в краевых частях грязевулканической структуры свидетельствует о накоплении газа в грязевулканическом очаге, которое приводит к возрастанию внутрикамерного давления с последующим извержением.

Необходимо подчеркнуть, что приведенные концентрации метана зафиксированы на момент обследования и, преимущественно, вне краткосрочного периода активной фазы подводных извержений. В активную фазу извержений концентрации метана в морской воде могут значительно превышать зафиксированные. По результатам оперативных наблюдений в период активизации грязевулканической деятельности на поверхности воды наблюдаются обильные пузырьковые выделения газа, вплоть до бурления и газовых выбросов.

Ежегодные наблюдения за разгрузкой метана показали хорошую корреляцию с содержаниями геохимических индикаторов грязевого вулканизма и газо-флюидной разгрузки в донных отложениях, в первую очередь с содержаниями нефти, полиароматических углеводородов, фенолов, Hg, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb. Содержание в грунтах Mn и Fe обнаруживает отрицательную корреляцию с разгрузкой метана.

Приведенные данные подтверждаются результатами, полученными на других участках наблюдений за подводной грязевулканической деятельностью региона (Голубицкое, Тузлинское, Железнодорожное грязевулканические поля).

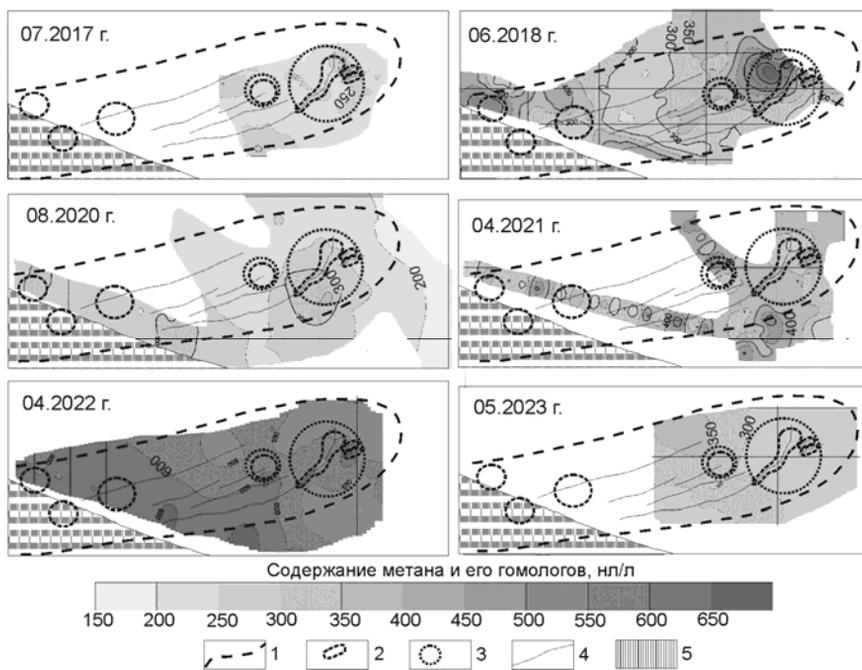


Рисунок 2. Гидрогазогеохимическое поле в приповерхностном слое воды на Тямрюкском грязевулканическом поле. Условные обозначения: 1 – граница грязевулканического поля; 2 – постройки грязевых вулканов; 3 – кальдерные ограничения вулканов; 4 – оси кулисных поднятий морского дна; 5 – Таманский полуостров.

Использованы материалы, полученные при выполнении работ по государственной программе мониторинга состояния недр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dimitrov L.I. Mud volcanoes — the most important pathway for degassing deeply buried sediments // *Earth-Science Reviews*. 2002. V. 59. P. 49–76.
2. Kopf A.J. Significance of mud volcanism // *Rev. Geophys.* 2002. V. 40(2). P. 1–52.
3. Алиев А.И. Грязевые вулканы – очаги периодической газогидродинамической разгрузки быстропогружающихся осадочных бассейнов и важные критерии прогноза газоносности больших глубин // *Геология нефти и газа*. 2006. № 5. С. 26–32.
4. Istadi B.P., Wibowo H.T., Sunardi E. et al. Mud volcano and its evolution // *Earth Sciences / Dr. Imran Ahmad Dar (Ed.)*. 2012. P. 375–434.
5. Круглякова Р.П., Курилов П.И., Глазырин Е.А. и др. Геолого-

геохимическая характеристика грязевых вулканов Темрюкского залива // Защита окружающей среды в нефтегазодобывающем комплексе. 2012. № 11. С. 13–19.

6. Глазырин Е.А. Основные результаты изучения подводного грязевого вулканизма Керченско-Таманского региона // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. VII. Ч. 2 / Под ред. Керимова И.А. М.: ИИЕТ РАН, 2017. С. 39–48.

7. Глазырин Е.А. Морфология грязевулканических структур Таманского шельфа // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Т. IX / Под ред. И.А. Керимова, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2019. С. 13–20.

8. Глазырин Е.А. Геохимическая пульсация грязевых вулканов Темрюкского залива (Азовское море) // Геология морей и океанов: Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. I. М.: ИО РАН, 2021. С. 236–239.

9. Глазырин Е.А. Геоэкологические аспекты функционирования подводного грязевого вулканизма Керченско-Таманского региона // Химия, экология и рациональное природопользование. Материалы Международной научно-практической конференции (г. Магас, 21–23 октября 2021 г.). Махачкала: АЛЕФ, 2021. С. 264–271.

Long-term observations of the methane content over the underwater part of the Temryuk mud volcanic field were carried out by the method of hydro-gas-geochemical profiling. The data on the methane concentration in seawater and its changes in connection with the activity of the underwater Temryuk mud volcano and the structural features of the mud volcanic field are presented.

Губанова Д.П., Виноградова А.А.

(Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, e-mail: gubanova@ifaran.ru)

Брохосомы: проблемы идентификации необычных аэрозольных частиц в атмосфере города

Gubanova D.P., Vinogradova A.A.

(A.M. Obukhov Institute of Atmospheric physics RAS, Moscow)

Brochosomes: problems of identification of unusual aerosol particles in the city atmosphere

Ключевые слова: биоаэрозоль, брохосома, морфология, растровая электронная микроскопия, атмосфера, Москва

Морфология частиц приземного аэрозоля в центре Москвы изучалась методом растровой электронной микроскопии. В летних аэрозольных пробах 2021 г. обнаружены сложные кластеры геометрически правильных частиц, ранее не регистрировавшихся в России в подобных экспериментах. В докладе обсуждаются проблемы идентификации и происхождения этих необычных аэрозольных частиц в приземной атмосфере мегаполиса.

Несмотря на то, что морфология твердых взвешенных в воздухе частиц к настоящему времени достаточно хорошо изучена, опубликованные литературные данные разрознены и получены в ходе эпизодических наблюдений в разных регионах мира (обзор работ см. в [1]). Однако форма, размер и структура аэрозольных частиц оказывают влияние на оптические свойства аэрозолей, на их реакционную способность в атмосферных гетерогенных процессах, поэтому сведения об этих параметрах очень важны при моделировании климатических эффектов аэрозолей. Кроме того, именно размер и форма аэрозольной частицы определяют время ее пребывания в атмосфере и способность осаждаться в дыхательных путях и легких животных и человека.

В Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова (ИФА) РАН (Пыжевский пер., д.3, ЦАО г. Москвы) в ходе комплексного аэрозольного эксперимента (2019 г. – настоящее время [1, 2]) изучается морфологическая структура отдельных частиц приземного атмосферного аэрозоля методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) [3–5] с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения с автоэмиссионным катодом JSM 7500F фирмы JEOL (Япония). В ходе наблюдений в разные сезоны 2019–2022 гг. было проанализировано более 1900 частиц атмосферного аэрозоля, идентифицированных в 189 аэрозольных пробах. Полученные данные позволили выявить основные типы аэрозольных частиц антропогенного и природного происхождения: фрактальные кластеры сажи, летучая зола, серосодержащие, солевые, обогащенные тяжелыми металлами частицы, агломераты глинистых частиц, силикаты и алюмосиликаты, биоаэрозоли [1].

Летом 2021 г. в Москве был получен уникальный результат: в 4-х пробах

идентифицированы агломераты необычных частиц (рис. 1) – квазисферических полых пористых образований, по геометрической структуре представляющих собой усеченный икосаэдр и напоминающих футбольный мяч (рис. 2). По своим математическим свойствам – это одна из форм полуправильных многогранников, так называемых тел Архимеда [6]. Элементный анализ выявленных частиц показал, что последние состоят из углерода. Ранее в натуральных наблюдениях такие частицы нами не идентифицировались, а информация о подобных результатах отечественных исследователей отсутствует.

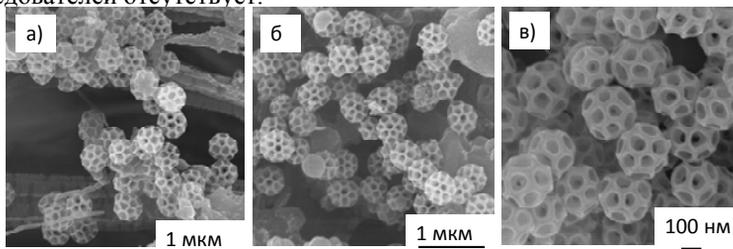


Рисунок 1. Электронные микрофотографии агломератов необычных частиц, обнаруженных в аэрозольных пробах летом 2021 г.: а) 29.06.; б) 14.07.; в) 31.07.

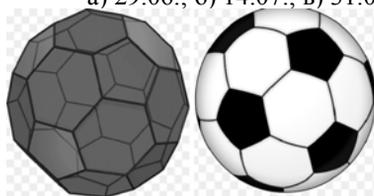


Рисунок 2. Геометрическая структура усеченного икосаэдра. Иллюстрации заимствованы с сайта <https://www.pngwing.com/ru>.

Процесс определения типа обнаруженных частиц включал несколько этапов и был основан, прежде всего, на визуальном сравнении с подобными по форме известными объектами. Первое предположение было связано с фуллереном C_{60} . Фуллерен C_{60} – это третья (после алмаза и графита) аллотропная форма углерода, уникальная симметричная молекула сферической формы с диаметром около 0.7 нм, состоящая из 60 атомов углерода, расположенных так же, как вершины футбольного мяча (рис. 3).

В пользу такого предположения говорил и тот факт, что в момент отбора аэрозольных проб летом 2021 г. вблизи ИФА РАН функционировал интенсивный локальный антропогенный источник аэрозолей, образовавшийся в результате демонтажа и сноса зданий научно-производственного назначения [8]. Но оказалось, что размеры геометрически подобных структур неизвестных частиц и фуллерена C_{60} отличаются на несколько порядков [7], как видно на рис. 3.

Последующие поиски известных объектов, схожих по геометрической форме с выявленными частицами, привели к микрокапсулам

спорополлена пыльцевых зерен одуванчика [9] (рис. 4). Однако отличие внешнего вида и более крупные размеры последнего, по сравнению с обнаруженными нами частицами, стимулировали дальнейшие шаги в наших поисках.

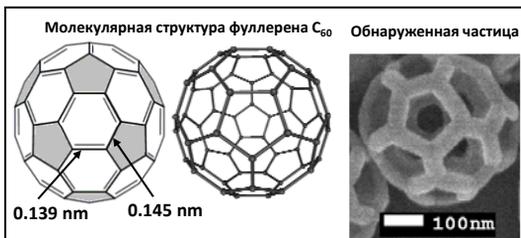


Рисунок 3. Сравнение формы неизвестной частицы с молекулярной структурой фуллерена C_{60} [7].

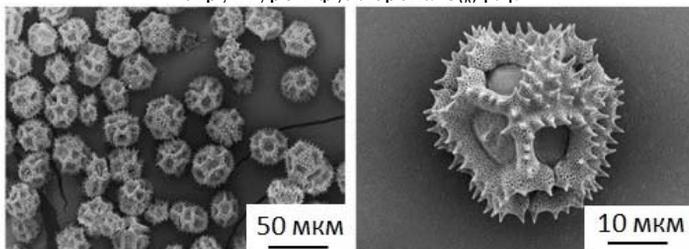


Рисунок 4. Эхиновые капсулы спорополлена после длительного ацидолиза методом РЭМ при различных увеличениях [9].

Результаты длительного исследования открытых научных публикаций позволили, наконец, идентифицировать этот редко встречающийся в исследованиях приземного аэрозоля, но широко распространенный вид первичных биоаэрозолей (ПБА) как *брохосомы* (см. рис. 1). Они представляют собой квазисферические полые пористые образования размером 200–400 нм, выделяемые полужесткокрылыми насекомыми семейства цикадок Hemiptera: Cicadellidae (рис. 5) из белков и жиров [10, 11].

Брохосомы являются супергидрофобными и служат для защиты от воды и загрязнений поверхностей крыльев, тела и отложенных яиц насекомых, а также препятствием для отражения света при маскировке их от хищников. Специфическая особенность выявленных в приземном слое атмосферы брохосом состоит в том, что они были обнаружены в виде больших агломератов (замысловатых цепочек и рыхлых агрегатов подобно фрактальным кластерам частиц сажи), которые находятся на поверхности или при непосредственном соприкосновении с более крупными минеральными частицами или их кластерами [1, 2]. Кроме того, по своим размерам брохосомы в 10 и более раз меньше других частиц ПБА, найденных в аэрозольных пробах в Москве (рис. 6).

Необходимо отметить, что брохосомы в аэрозольных пробах в

приземном воздухе московского мегаполиса – редкий результат полевых исследований свойств приземного аэрозоля. Благодаря широкому распространению и обитанию различных видов цикадок на кустарниках и деревьях (сирень, роза, липа, береза, тополь и др.), в теплое время года в приземном слое атмосферы в составе аэрозольных частиц находится огромное количество выделяемых насекомыми брохосом и их агломератов, в том числе в городских условиях. Однако в публикациях зарубежных ученых, экспериментально изучающих морфологию приземных аэрозолей, сведения о брохосомах немногочисленны, например, [3, 12], а подобные результаты наблюдений в России авторам не известны.

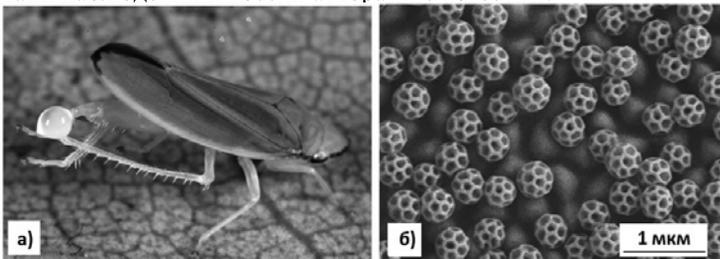


Рисунок 5. Биология брохосом: а) цикадка, выделившая каплю секрета и захватившая ее задними лапками; б) брохосомы на поверхности переднего крыла цикадки [11].

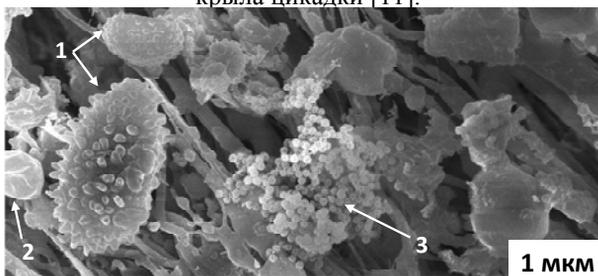


Рисунок 6. Сравнение форм и размеров разных видов ПБА: (1) – конидии грибов, (2) – пыльцевые зерна, (3) – агломерат брохосом.

В целом, частицы ПБА охватывают чрезвычайно широкий диапазон размеров, очень сложны и разнообразны по морфологической структуре, но информации об этих особенностях в литературных источниках все еще недостаточно. Результаты, полученные в данной работе, могут частично восполнить этот пробел и будут полезны при изучении и моделировании роли ПБА в развитии, эволюции и динамике экосистем.

Авторы выражают признательность к.ф.-м.н. Н.В. Садовской (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН) за организацию и проведение лабораторного анализа аэрозольных проб методом РЭМ и безмерно благодарны д.ф.-м.н. В.И. Корепанову (Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН) и к.б.н. Р.А. Ракиотову

(Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН) за ценные консультации в поисковых исследованиях и интерпретации данных морфологического анализа биоаэрозолей, способствовавших завершению процесса идентификации брохосом. Работа выполнена в рамках Государственного задания ИФА им. А.М. Обухова РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губанова Д.П., Садовская Н.В., Иорданский М.А. и др. Морфология частиц приземного аэрозоля в Москве по результатам анализа методом растровой электронной микроскопии // Известия РАН. Сер. Физическая. 2023. Т. 87. № 10. С. 1374–1380.
 2. Gubanova D.P., Vinogradova A.A., Sadovskaya N.V. Brochosomes and other bioaerosols in the surface layer of the atmosphere of Moscow Metropolis // Atmosphere. 2023. V. 14. № 3. 504.
 3. Kang E., Park I., Lee Y.J. et al. Characterization of Atmospheric Particles in Seoul, Korea Using SEM-EDX // J. Nanosci. Nanotechnol. 2012. V. 7. P. 6016–6021.
 4. Pachauri T., Singla V., Satsangi A. et al. SEM-EDX Characterization of Individual Coarse Particles in Agra, India. Aerosol Air // Qual. Res. 2013. V. 13. 523.
 5. Genga A., Siciliano T., Siciliano M. et al. Individual particle SEM-EDS analysis of atmospheric aerosols in rural, urban, and industrial sites of Central Italy // Environ. Monit. Assess. 2018. V. 190. № 8. 456.
 6. Савченко В. Полуправильные многогранники // Квант. 1976. № 1. С. 2.
 7. Трошин П.А., Любовская Р.Н. Органическая химия фуллеренов: основные реакции, типы соединений фуллеренов и перспективы их практического применения // Успехи химии. 2008. Т. 77. № 4. С. 323.
 8. Губанова Д.П., Виноградова А.А., Скороход А.И., Иорданский М.А. Аномальное аэрозольное загрязнение воздуха в Москве вблизи локального антропогенного источника в июле 2021 года // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 4. С. 133–147.
 9. Fan T., Park J.H., Pham Q.A. et al. Extraction of cage-like sporopollenin exine capsules from dandelion pollen grains // Scientific Reports. 2018. № 8. 6565.
 10. Wittmaack K. Brochosomes produced by leafhoppers—a widely unknown, yet highly abundant species of bioaerosols in ambient air // Atm. Environ. 2005. V. 39. № 6. P. 1173–1180.
 11. Rakitov R., Moysa A.A., Kopylov A.T. et al. Brochosomins and other novel proteins from brochosomes of leafhoppers (Insecta, Hemiptera, Cicadellidae) // Insect Biochemistry and Molecular Biology. 2018. V. 94. P. 10–17.
 12. Coz E., Artiñano B., Clark L.M.; et al. Characterization of fine primary biogenic organic aerosol in an urban area in the northeastern United States // Atmos. Environ. 2010. V. 44. № 32. P. 3952–3962.
- The morphology of near-surface aerosol particles in the center of Moscow was studied by scanning electron microscopy. In the summer aerosol samples of 2021, complex clusters of geometrically regular particles, which had not previously been registered in Russia in such experiments, were found. The report discusses the problems of identification and the origin of these unusual aerosol particles in the near-surface atmosphere of the metropolis.

**Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н.,
Политова Н.В., Дара О.М., Булохов А.В.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail:

klyuvitkin@ocean.ru)

**Вертикальные потоки осадочного вещества в Баренцевом
море в августе 2021 г.**

Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N.,

Politova N.V., Dara O.M., Bulokhov A.V.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Vertical particle fluxes in the Barents Sea on August, 2021

Ключевые слова: Арктика, седиментационные ловушки, осадочное вещество, поток частиц, метан, метанотрофные бактерии.

Представлены первые результаты исследования вертикальных потоков осадочного вещества в Медвежинском желобе Баренцева моря по материалам краткосрочной постановки седиментационных ловушек в составе автоматической глубоководной седиментационной обсерватории, установленной в пределах провала округлой формы («кратера») около 1 км диаметром, образовавшегося в результате масштабного выброса метана из осадочной толщи при отступлении ледникового щита. Величины потоков в подповерхностном слое (254.4 и 297.3 мг/м²/сут), в целом, характерны для летнего сезона исследуемого региона. Высокие потоки (до 1691.4 мг/м²/сут) в придонном горизонте могут быть обусловлены взмучиванием верхнего слоя донных осадков придонными течениями. Диффузное высачивание метана, происходящее в настоящее время в пределах провала, может являться основой для развития особого биоценоза, ассоциированного с аэробными метанотрофными бактериями.

Исследование рассеянного осадочного вещества необходимо для понимания процессов современного осадконакопления и расшифровки показаний такого природного палеоклиматического самописца, как донные осадки, которые формируются в процессе осаднения и дальнейшего преобразования водной взвеси в осадочную толщу [1]. Потоки осадочного вещества в океане – это основная количественная характеристика при изучении осадкообразования, которая позволяет в динамике изучать процессы седиментации осадочного вещества, преобразовании его при прохождении водной толщи, оценивать количество и состав вещества, поступающего на дно.

Краткосрочная постановка автоматической глубоководной обсерватории (АГОС) с седиментационными ловушками была выполнена на ст. 7044 (рис. 1) в ходе 84-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» [2] с целью изучить сезонные потоки и состав оседающего вещества в Медвежинском желобе Баренцева моря, а также оценить возможную поставку эндогенного материала в пределах одного из «кратеров» с диффузными потоками

метана. Время работы АГОС составила 24.1 сут с 28.07 по 21.08.2021 г.

Для сбора осаждающегося вещества использовались интегральные малые цилиндрические седиментационные ловушки МСЛ-110, производства ИО РАН, площадью сбора 0.0095 м² [3]. Пробосборники заполняли раствором HgCl₂ на основе фильтрата морской воды из района постановки с соленостью, доведенной до 45 епс. Дальнейшая обработка собранного материала выполнялась по стандартной методике [4].

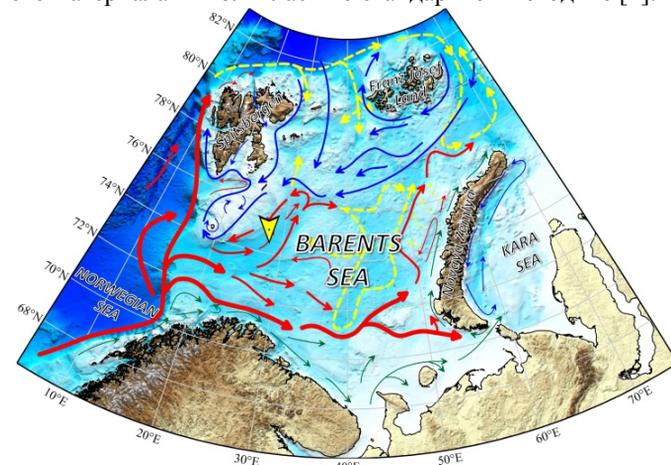


Рисунок 1. Карта-схема района исследований с указанием места работы АГОС. Стрелками показана крупномасштабная циркуляция Баренцева моря [5, 6].

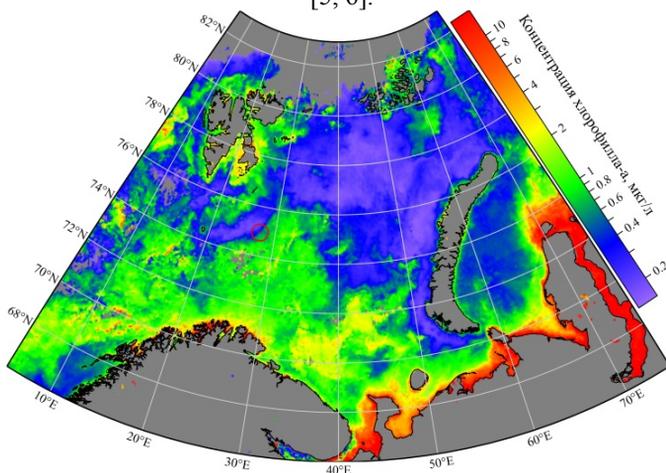


Рисунок 2. Поверхностное распределение хлорофилла-а (Хл-а) по данным спутникового сканера цвета моря Aqua-MODIS, 32-дневное осреднение 20.07–20.08.2021 г. (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

Поверхностные воды в районе исследования характеризовались относительно высокими концентрациями взвеси и Хл-а (рис. 2, 3), что обусловлено поступлением теплой и соленой атлантической воды из Норвежского моря. Концентрации взвеси достигали 0.96 мг/л на поверхности моря, а максимум Хл-а 2.0 мкг/л фиксировался в слое 15–20 м (рис. 3).

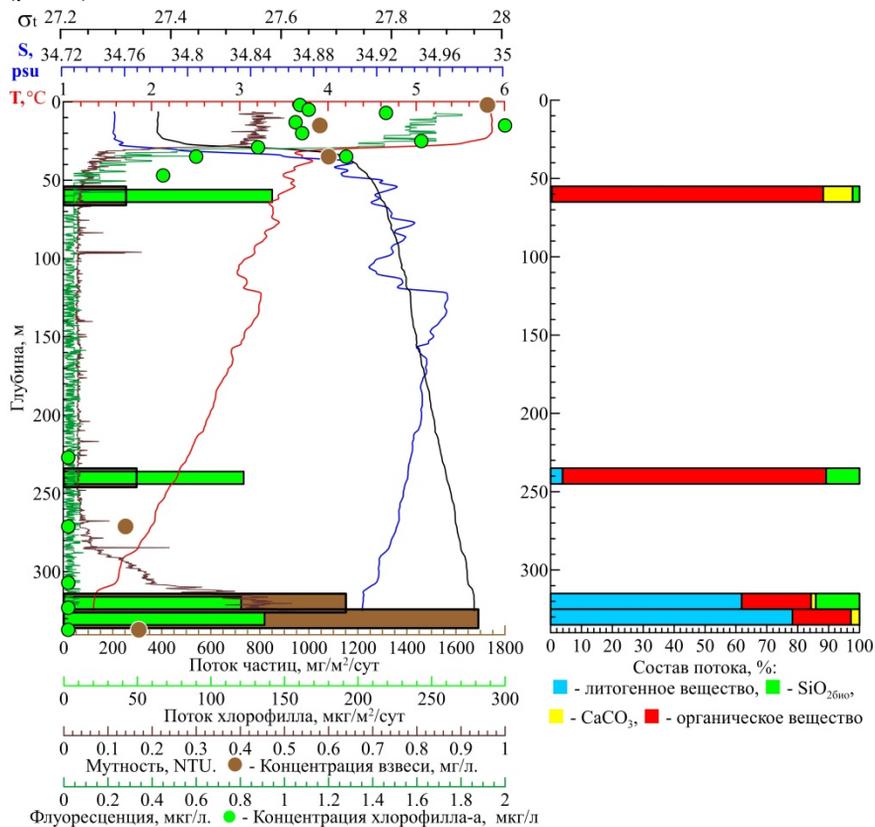


Рисунок 3. Вертикальные потоки осадочного вещества и их состав, а также распределение сопутствующих параметров среды по данным зондирования и пробоотбора при постановке и подъеме АГОС.

Полученные значения потоков в подповерхностном слое были, в целом, характерны для летнего сезона исследуемого региона и составили на горизонтах 60 и 240 м 254.4 и 297.3 мг/м²/сут соответственно. Для сравнения, годом ранее в северной части Баренцева моря по материалам 80-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» потоки варьировали в пределах 175–327 мг/м²/сут [7], а в среднем для открытой части моря

характерны потоки 200–400 мг/м²/сут [8].

Обращают на себя внимание высокие значения потоков Хл-а (120–142 мкг/м²/сут). Для сравнения, годом ранее в северной части Баренцева моря потоки Хл-а не превышали 116 мкг/м²/сут при среднем значении 97 мкг/м²/сут [7]. При этом распределение потоков Хл-а по вертикали довольно ровное, небольшое увеличение фиксируется только в подповерхностном слое, а также у дна. Вероятно, это обусловлено равномерностью развития фитопланктона на поверхности моря, откуда идет основное поступление Хл-а, до постановки и во время работы АГОС.

В придонном слое на горизонтах 320 и 330 м (20 и 10 м от дна) значения валовых потоков вещества резко возрастают. Максимум потока приходится на придонный (10 м от дна) горизонт 330 м (1691.4 мг/м²/сут), несколько ниже поток в 20 м от дна – 1151.1 мг/м²/сут. При этом годом ранее потоки вещества в придонном слое Баренцева моря на горизонте 275 м (25 м от дна) не превышали 327 мг/м²/сут [7].

Высокие потоки в придонном слое могут быть обусловлены взмучиванием верхнего слоя донных осадков течениями, а также поставкой материала с газовыми высачиваниями из «кратера» с диффузными потоками метана. Наличие ярко выраженного придонного нефелоидного слоя мощностью около 50 м со значениями мутности выше, чем в поверхностном слое, подтверждается также данными нефелометра в составе зондирующего судового комплекса SBE911p (рис. 3) и лазерного счетчика частиц LISST-Deer. При этом, если в составе осаждающегося вещества подповерхностного слоя преобладал (>99%) биогенный материал (в основном, за счет органического вещества – 88%), то в придонном слое резко возрастало содержание минеральной части (до 78%).

В составе оседающих частиц в придонных слоях преобладали обломочные минералы (кварц, полевые шпаты, в сумме до 62%) и глинистые минералы (иллит, хлорит, каолинит, в сумме до 37%). Карбонаты представлены слабо (кальцит и доломит, всего 2–4%). При этом в подповерхностном слое преобладают карбонатные минералы: кальцит (до 55%) и арагонит (до 32%).

Повышенное содержание минеральной части потока в дополнение к очень высоким для открытой части Баренцева моря значениям общего потока вещества в придонном слое позволяет предположить развитие особого карбонатконцентрирующего биоценоза, ассоциированного с аэробными метанотрофными бактериями в пределах округлого провала, помимо обычного потока осадочного вещества из фотической зоны и взмучивания, переноса и переотложения вещества в нефелоидном слое.

Авторы признательны капитану НИС «Академик Мстислав Келдыш» Ю.Н. Горбачу, команде и всему научному составу за помощь в экспедиции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 20-17-

00157. Экспедиционные исследования выполнены в рамках госзадания, тема № FMWE-2021-0016.

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. Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Володин В.Д. и др. Системные исследования осадкообразования в Европейской Арктике в 84-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология. 2022. Т. 62. № 4. С. 660–663.*
3. Лукашин В.Н., Клювиткин А.А., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. Малая седиментационная ловушка МСЛ-110 // *Океанология. 2011. Т. 51. № 4. С. 746–750.*
4. Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Колтовская Е.В. Исследования потоков осадочного вещества на многолетнем транскеаническом разрезе в зоне взаимодействия Северной Атлантики и Арктики // *Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 454–465.*
5. Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // *Polar research. 1991. V. 10. № 1. P. 5–18.*
6. Писарев С.В. Обзор гидрологических условий Баренцева моря // *Система Баренцева моря / под ред. академика А.П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. С. 153–166.*
7. Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Politova N.V. et al. Vertical particle fluxes in the Barents Sea on materials of short-time operation of automatic deep-water sedimentary observatory // *Proc. SPIE 12341, 28th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 123414Y (7 December 2022); doi: 10.1117/12.2645108*
8. Новигатский А.Н., Лисицын А.П., Шевченко В.П. и др. Вертикальные потоки вещества в Северном Ледовитом океане // *Система Баренцева моря / под ред. академика А.П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. С. 278–286.*

The first results of the study of vertical particle fluxes in the Bear Island Trough in the Barents Sea based on the materials of short-term sediment trap deployment are presented. Fluxes in the subsurface (254.4–297.3 mg/m²/day) are generally characteristic of the summer season of the study region. High fluxes (up to 1691.4 mg/m²/day) in the near-bottom layers can be caused by turbulence of the upper layer of bottom sediments by near-bottom currents, as well as delivery of material with gas seeping from the "crater" with diffuse methane fluxes and due to development of a specific carbonate-concentrating biocenosis associated with aerobic methanotrophic bacteria.

**Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н.,
Политова Н.В., Булохов А.В.**

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

**Результаты двухлетней работы автоматической
глубоководной седиментационной обсерватории на
северном сегменте хребта Мона (Норвежское море)
Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N.,
Politova N.V., Bulokhov A.V.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Results of a two-year operation of an automatic deep-water
sedimentary observatory at northern part of the Mohns Ridge
(Norwegian Sea)**

Ключевые слова: Арктика, седиментационные ловушки, осадочное вещество, поток частиц, течения, температурный тренд.

Впервые выполнены непрерывные двухгодичные исследования потоков вещества и сопутствующих параметров среды в осевой зоне арктического сегмента Срединно-Атлантического хребта в месте сочленения хребтов Мона и Книповича. Осаждение частиц происходило под воздействием глобального переноса водных масс в северо-восточном направлении, причем в подповерхностном слое это атлантические воды, а глубже рециркулируют воды арктического происхождения. Выявлен слабый положительный температурный тренд на глубине более 2500 м (0.02°C).

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 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. Эти исследования проводятся в океане в рамках Ведущей научной школы академика А.П. Лисицына уже на протяжении полувека.

Материал для исследования собирался более двух лет (779 суток) с июня 2019 г. по июль 2021 г. на северном сегменте хр. Мона (рис. 1а). Для сбора осаждающегося вещества использованы дифференциальные 12-стаканные седиментационные ловушки «Лотос-3» (ОКБ ОТ РАН) с площадью сбора 0.5 м² (интервал смены пробосборников – 30 суток) и интегральные малые цилиндрические седиментационные ловушки МСЛ-110 (ИО РАН) площадью сбора 0.0095 м². «Лотос-3» устанавливались под верхним деятельным слоем (500 м) и в 330 м от дна для минимизации влияния придонного нефелоидного слоя и дополнительно комплектовались

интегральными ловушками. МСЛ-110 устанавливались в промежуточных горизонтах. Итого сбор материала проводился на 6 горизонтах. Пробосборники заполняли раствором $HgCl_2$ на основе фильтрата морской воды из района постановки с соленостью, доведенной до 45 епс. На горизонтах установки 12-стаканных ловушек устанавливали акустические измерители течений Nortek Aquadopp, а горизонты установки МСЛ-110 дополнительно комплектовали измерителями температуры и давления RBRduet. Обработка собранного материала выполнялась по стандартной методике [2].

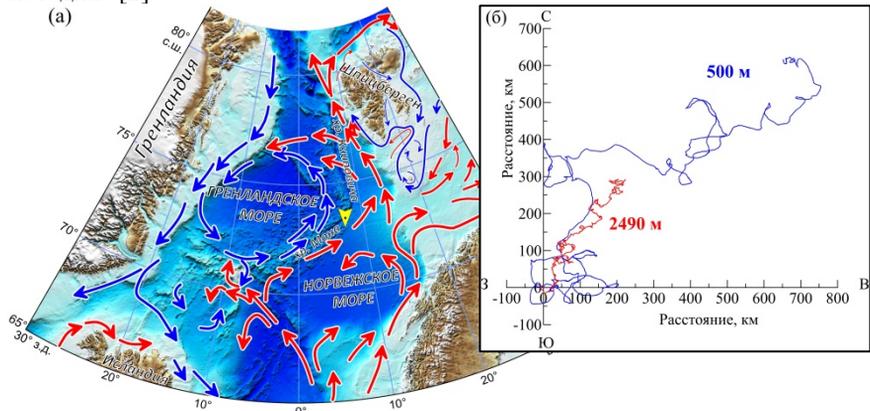


Рисунок 1. Карта-схема района расположения АГОС (а) и прогрессивные векторные диаграммы течений на горизонтах 500 м и 2490 м (б).

Водная толща. STD-зондирования водной толщи при постановке, ревизии и подъеме АГОС показали, что верхние 400 м водной толщи (за исключением сезонно прогреваемого квазиоднородного поверхностного слоя толщиной менее 20 м) занимает АВ, относительно теплая ($3-5^{\circ}C$) и соленая (35.0–35.05 епс). Ярко выраженных межгодовых колебаний температуры слоя АВ не выявлено. Глубже залегают арктические промежуточные воды Норвежского моря ($T=-0.5+0.5^{\circ}C$, $S=34.9$ епс), ядро которых маркируется слабо повышенным содержанием растворенного кислорода в слое 500–700 м. Далее до дна залегают глубинные воды Норвежского моря с характерной $T<-0.7^{\circ}C$ и $S=34.91$ епс.

Концентрации взвеси в водной толще варьировали от относительно высоких 0.18–0.54 мг/л в верхнем деятельном слое (0–50 м) до минимальных 0.04–0.08 мг/л в глубинных слоях. При этом поверхностные воды (0–25 м) отличались сравнительно высокими значениями концентрации хлорофилла (Хл-а) (0.46–1.65 мкг/л). Для вертикального распределения Хл-а характерно наличие подповерхностного максимума (15–35 м). При увеличении глубины до 50 м концентрации Хл-а постепенно уменьшались до 0.1–0.2 мкг/л, а глубже 100 м были минимальны (≤ 0.01

мкг/л). Значимой межгодовой изменчивости за двухлетний период наблюдений в распределении взвеси и Хл-а не выявлено. Максимум Хл-а определен в июне 2019 г. и соответствует началу весеннего цветения фитопланктона.

Перенос водных масс во всей толще происходил в северо-восточном направлении (рис. 1б). При этом в 2019–2020 гг. течение в целом было направлено на северо-северо-восток, а в 2020–2021 гг. повернуло на восток-северо-восток. В придонном слое таких изменений не наблюдалось. Суммарное накопленное перемещение водных масс в подповерхностном слое составило 897 км, а в глубинном слое 367 км. Скорость течения в подповерхностном слое варьировала в пределах 0–32.3 см/с при среднем значении 7.3 см/с. В глубинном слое скорости течения не превышали 13.7 см/с при среднем значении 2.7 см/с. Отмечено увеличение скорости течения практически синхронно в обоих слоях в марте–апреле и 2020 г., и 2021 г., при этом преобладали течения северных направлений. В подповерхностном слое также выделяются похожие сезонные всплески скорости течения в декабре 2019 г. и 2020 г.

Двухлетние измерения температуры выявили синхронный слабый рост температуры около 0.02°C на горизонтах работы наддонной (2665 м) и придонной (2770 м) интегральных МСЛ-110 (рис. 2е). Выше, на горизонтах 500 м и 2490 м подобные тренды не выявлены.

Валовые потоки вещества. Для вертикального распределения интегральных годовых потоков вещества характерна бимодальность: максимум в подповерхностном слое, минимум в промежуточных водах в слое растворения [1] и резкое увеличение потока в придонном нефелоидном слое. Увеличение мутности в придонном слое фиксировалось лазерным анализатором частиц LISST-Deer и нефелометром при постановке, ревизии и подъеме АГОС. Нефелоидный слой распространялся от дна (2820 м) до ~2000 м, а его мощность превышала 800 м. Выявлено почти двукратное уменьшение потоков при второй экспозиции АГОС, однако, общее бимодальное распределение повторяется в оба периода наблюдения.

По данным дифференциальных ловушек в подповерхностном (500 м) слое выражен годовой ход потоков. Наибольшие потоки зафиксированы летом (июнь–сентябрь) с абсолютным максимумом в июле 2019 г. – 274 мг/м²/сут. Схожий годовой ход Хл-а в поверхностном слое выявлен также благодаря анализу данных спутникового сканера цвета MODIS-Aqua. С ноября по май на глубине 500 м потоки минимальны. В глубинном слое первый период работы АГОС характеризуется бимодальной схемой распределения потоков во времени с максимумами в июне–июле 2019 г. и апреле–мае 2020 г., когда потоки резко возросли до 256 мг/м²/сут. Второй год работы АГОС на глубинном горизонте отличался более ровным годовым ходом величин потоков, среди которых наблюдался локальный минимум потоков в ноябре–декабре 2020 г.

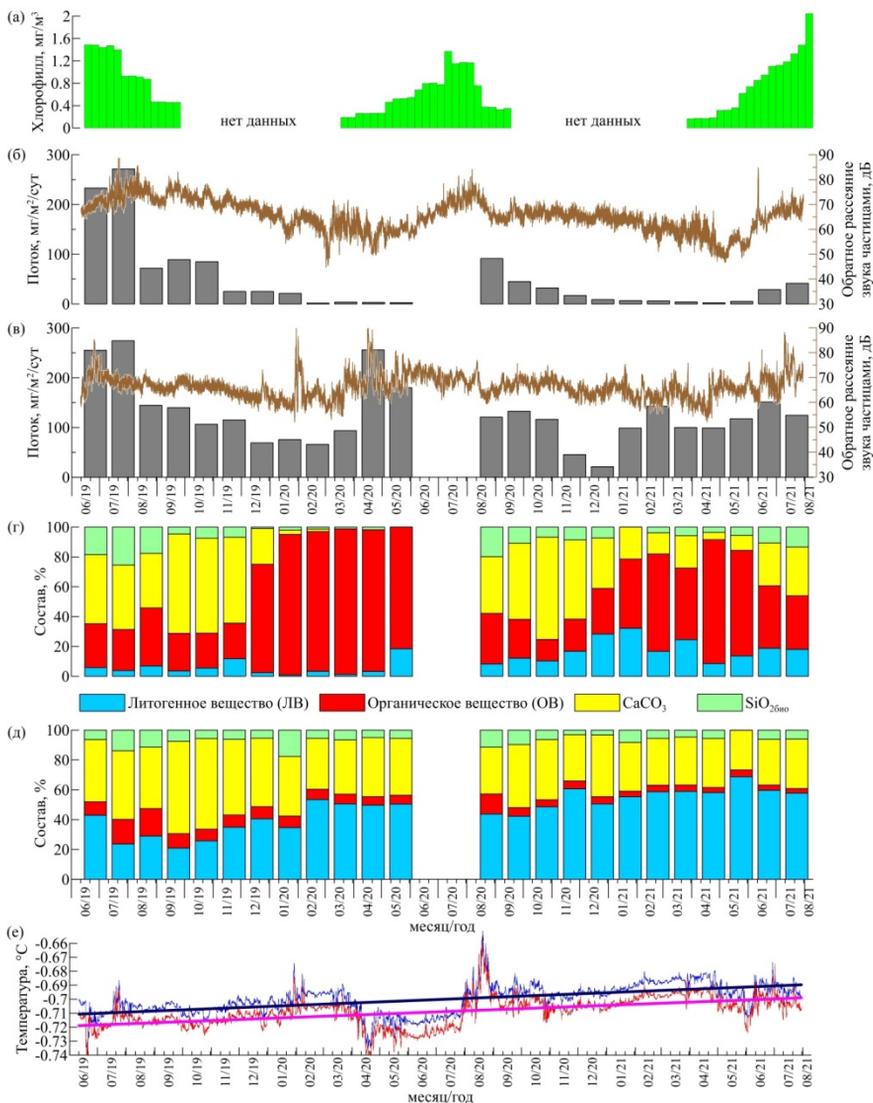


Рисунок 2. Хлорофилл в поверхностном слое по спутниковым данным (а); потоки частиц и обратное рассеяние звука на 500 м (б) и 2490 м (в); состав вещества на 500 м (г) и 2490 м (д); температура на 2665 м (красная линия) и 2770 м (синяя линия) и соответствующие тренды (е).

Отмечается значительное уменьшение потоков из поверхностного слоя океана в июне–июле 2021 г. по сравнению с этим же периодом 2019 г.

Годовой ход потоков соответствует изменению коэффициента обратного рассеяния звука взвесью по данным акустических измерителей течений на тех же горизонтах (рис. 2б, в). В июне–июле 2020 г. наблюдается увеличение акустического рассеяния, что говорит о значительном возрастании потоков. Однако данный период остался неохваченным для сбора вещества дифференциальными ловушками.

В составе вещества верхних слоев (500 м и 1630 м) преобладает биогенное вещество (БВ) с большим количеством планктонных организмов (зоопланктон, рачки и др.). В глубинных слоях, начиная с 2060 м и до дна, наблюдается только плотный осадок коричневого цвета практически без включений разнородных биогенных остатков. Это подтверждается данными исследования основных компонент осаждающегося вещества. В поверхностном и промежуточном слоях преобладает БВ (как сумма ОВ, CaCO_3 и $\text{SiO}_{2\text{био}}$) – 89%, а с 2000 м возрастает доля ЛВ, содержание которого достигает своего максимума в придонном слое – 60–64%.

В подповерхностном слое выражен годовой ход изменчивости состава биогенного материала. С июня по декабрь и 2019, и 2020 гг. преобладал CaCO_3 (37–69%), ОВ варьировало в пределах 14–39%, а доля $\text{SiO}_{2\text{био}}$ составляла 7–25%. Максимум $\text{SiO}_{2\text{био}}$ (18–25%) приходится на июнь–август. В зимние месяцы (декабрь–май), когда минимальны величины валового потока, наблюдается трехкратное увеличение содержания ЛВ (до 33%).

В глубоководном слое годовые флуктуации состава потока были незначительны и соответствовали среднему составу по данным интегральных МСЛ-110. Наблюдается незначительное снижение доли ЛВ с июля по октябрь, более заметно выраженное в 2019 г.

Авторы признательны капитану НИС «Академик Мстислав Келдыш» Ю.Н. Горбачу, команде и всему научному составу за помощь в экспедициях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 20-17-00157. Обработка профилографов среды выполнена в рамках ВИПГЗ, соглашение № 169-15-2023-002. Экспедиционные исследования выполнены в рамках госзадания, тема № FMWE-2021-0016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. // Мировой океан. Т. II. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
2. Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В. и др. // Океанология. 2019. Т. 59. № 3. С. 454–465.

Continuous two-year studies of particle fluxes and associated environmental parameters in the axial zone of the Arctic segment of the Mid-Atlantic Ridge at the juncture of the Mohn and Knipovich Ridges were conducted for the first time. Particle deposition occurred under the influence of global transport of water masses in a northeast direction, with Atlantic waters dominating in the subsurface layer, while deeper water recirculated of Arctic origin. A weak positive temperature trend was detected at depths exceeding 2500 m (0.02°C).

Ковалев В.В.

(Южный Федеральный Университет, Институт наук о Земле, г. Ростов-на-Дону, e-mail: dek_geo@sfedu.ru; Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Ростов-на-Дону, e-mail: kovalev-45@mail.ru)

Закономерности распределения взвешенных форм микроэлементов в водной толще Каспийского моря Kovalev V.V.

(Southern Federal University, Institute of Earth Sciences, Rostov-on-Don; Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, Rostov-on-Don)

Regularities distribution of suspended forms of trace elements in the water column of the Caspian Sea

Ключевые слова: Каспийское море, взвешенное вещество, микроэлементы, концентрации, закономерности.

В докладе представлены данные по распределению микроэлементов во взвешенном веществе водной толщи Каспийского моря, собранные в результате экспедиций Ростовского государственного университета.

В материалах XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии был опубликован доклад о закономерностях распределения взвешенного вещества в водной толще Каспийского моря. Предлагаемые результаты распределения взвешенных форм микроэлементов в водной толще Каспийского моря являются логическим продолжением этих исследований.

Наиболее известны ранние работы Д.Е. Гершановича, З.С. Грундульса, Т.А. Хачатуровой, А.Б. Зинковского. Из последних работ следует отметить публикации А.П. Лисицына, А.К. Амбросимова, В.Н. Лукашина, В.И. Буренкова, М.Д. Кравчишиной и др. Интересные данные были получены в 2011 г. при выполнении комплексных исследований в 32 рейсе научно-исследовательского судна «Рифт» Института океанологии РАН [1]. Однако, определения микроэлементного состава взвеси проводилось на отдельных станциях и не могли дать полной пространственной характеристики распределения. В настоящей работе, на основании многолетних исследований, проводимых Ростовским государственным университетом (рисунок), приведены данные по распределению микроэлементного состава взвеси на всей акватории Каспийского моря (исключая районы, прилегающие к иранскому побережью). Полученные данные позволили с достаточной полнотой изучить пространственное распределение взвешенных микроэлементов в Каспийском море.

Анализ изменчивости средних показателей взвешенных микроэлементов по вертикали и горизонтали водной толщи Каспия позволяет выявить для некоторых из них общие черты распределения. Концентрация металлов в

воде, прежде всего, определяется наличием источников поступления взвешенного материала, развитием планктонных организмов и скоростью химических реакций. На путях миграции микроэлементов действуют различные геохимические (абиотические и биотические) факторы, способные изменять соотношения форм металлов между взвесью и раствором.

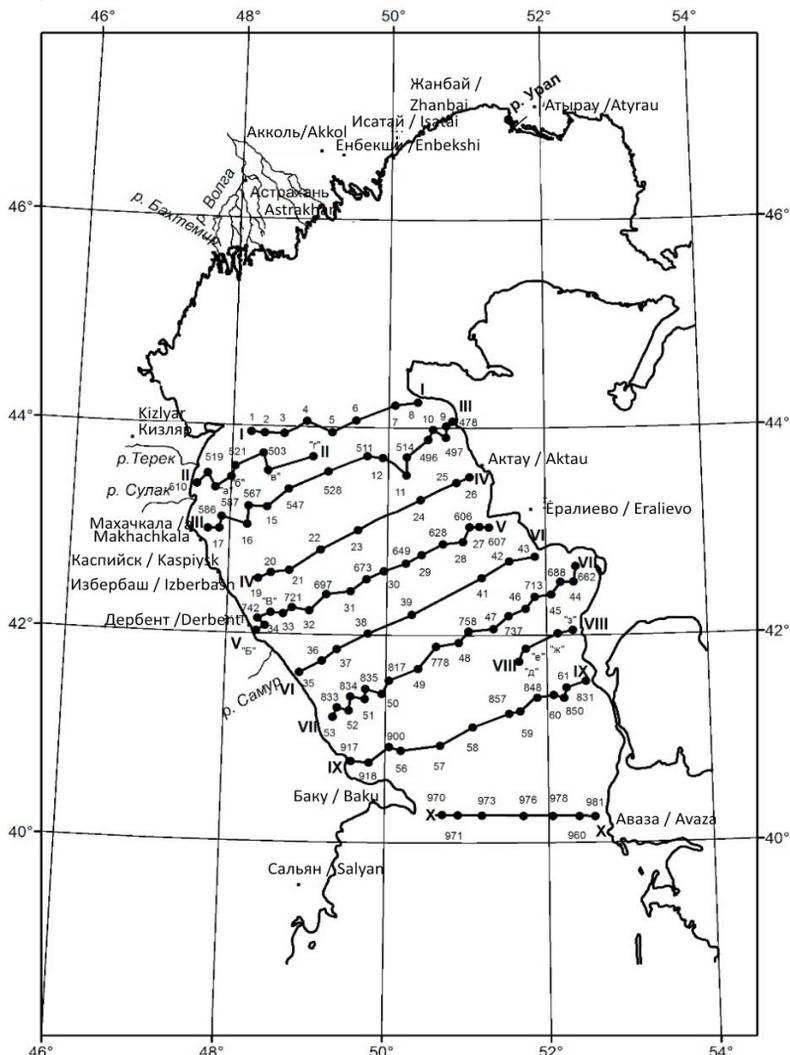


Рисунок. Положение станций отбора проб в Среднем Каспии. Линии соответствуют траекториям рейсов, римские цифры – номера разрезов по

рейсам, точки – станции отбора проб, числа у точек – номера станций, буквы у точек – станции дополнительного отбора проб

В прибрежных и открытых частях моря соотношение триады (силикатной, биогенной, гидрогенной) форм элементов взвеси обуславливается удаленностью от источников поступления минеральных частиц, неравномерностью распространения планктона и направленностью химических процессов. Не всегда наблюдается прямо пропорциональная зависимость, когда с увеличением содержания взвеси растет концентрация взвешенных форм металлов. Обогащение взвеси карбонатом кальция и аморфным кремнеземом приводит к разбавляющему эффекту, который определяет понижение значений взвешенных форм металлов. Обогащение взвеси карбонатом кальция и аморфным кремнеземом приводит к разбавляющему эффекту, который определяет понижение значений взвешенных форм металлов. Процесс адсорбции является контролирующим фактором для Cu, Zn, Pb, Cd, а образование гидроокислов свойственны Fe, Mn и, возможно, Cr.

В результате проведения рентгеноспектрального анализа проб взвеси, отобранных с различных горизонтов водной толщи Каспия, были определены концентрации следующих микроэлементов: Fe, Ti, Cr, V, Pb, Zn, Mn, Ni, Sr, Hg. Железо обнаружено в 94.4% проб от всего количества, переданных для исследования, титан – в 42.9%, хром – в 21.5%, ванадий – в 14.1%, свинец – в 13.0%, цинк – в 11.3%, марганец – в 3.4%, никель, стронций и ртуть найдены всего в одной пробе.

В прибрежной зоне моря, находящейся в непосредственной близости от берега, наблюдается общее повышение концентрации взвешенного железа, ванадия, хрома, и особенно – свинца и цинка. С удалением от берега на внутреннем шельфе для одних металлов (Ti, V), не имеющих тесной связи с органическим веществом, намечается рост концентраций во взвеси, для других (Fe, Cr, Pb и Zn), наоборот, уменьшение. В центральной халистатической части моря, где доминируют гидроокисные формы микроэлементов, увеличенные содержания свойственны для железа, титана и хрома. Особенно сильно в этой части моря уменьшается концентрация у халькофильных элементов - свинца и цинка.

От поверхностного к наддонному горизонту увеличивается содержание железа, титана и цинка. Равномерно во всей водной толще распределен свинец. Концентрации ванадия и хрома понижаются от поверхности ко дну. Более детальное рассмотрение поведения взвешенных форм железа и титана по вертикали водной толщи Среднего Каспия позволяет сделать несколько предварительных выводов. В каждой из выделенных зон моря содержания железа и титана увеличиваются от поверхности к наддонному горизонту за счет обогащения последнего гидроокислами этих металлов. В зоне на глубине 50 м вследствие интенсивного разложения планктонных

организмов, удерживающихся в слое скачка плотности более продолжительное время, чем в других слоях вод, происходит рост значений, растворенных и пониженных взвешенных форм названных элементов. По-видимому, эта тенденция сохраняется и для других исследуемых металлов, но недостаточное количество данных не позволило ее проследить. В батипелагиали менее четко выражен минимум содержания железа и титана, обусловленный растворением оксигидратов металлов на глубинах 500-600 м при возникновении благоприятных для течения этого процесса условий [2-5].

Общую схему уменьшения концентрации взвешенных металлов, которая выражена через средние величины, можно представить в виде следующего ряда $Fe > Ti > V > Cr, Pb > Zn$. Для поверхностного горизонта Среднего Каспия она не изменяется, однако в наддонном приобретает следующий вид: $Fe > Ti > Pb > V > Zn > Cr$. Перемещение свинца в левую часть ряда свидетельствует о его большем тяготении к придонным слоям вод и накоплении в пелагических осадках Среднего Каспия.

Поступление больших масс взвешенного материала с твердым стоком рек и золовыми наносами, определили повышенные концентрации взвешенных форм элементов как в поверхностном, так и придонном слоях в прибрежной области Северного Каспия, в предельтовых пространствах, а также в центральной, открытой частях.

Таблица. Среднее содержание микроэлементов во взвеси Каспийского моря, %

Элементы	Pb	Fe	Cr	V	Ti	Zn	Mn
Зоны исследований							
Поверхность	0.036	0.37	0.008	0.041	0.11	0.008	0.002
Водная толща	0.027	0.62	0.027	0.030	0.13	0.014	0.003
Придонный слой	0.031	0.91	0.013	0.024	0.19	0.021	0.005

Менее всего изучено поведение взвешенных форм микроэлементов в глубоководных частях Южного и Среднего Каспия из-за трудности отбора проб. В результате проведения рентгеноспектрального анализа проб взвеси, отобранной с различных горизонтов водной толщи Среднего и Южного Каспия, были определены концентрации следующих элементов: железа, титана, хрома, ванадия, свинца, цинка, марганца, никеля, стронция, ртути. Последние три были обнаружены в единичных пробах и поэтому не анализировались. Результаты таблицы показывают, что концентрации большинства элементов возрастают с глубиной, хотя есть и исключения.

Основными закономерностями распределения взвеси в поверхностном и наддонном горизонтах Северного Каспия являются: увеличение абсолютных

концентраций на участках, приуроченных к главным источникам поступления осадочного материала, и, уменьшения их содержания по направлению от прибрежных районов к центральным открытым пространствам моря [3]. Анализ пространственной изменчивости средних показателей взвешенных микроэлементов показал, что в прибрежной зоне моря наблюдается общее повышение концентраций взвешенного железа, ванадия, хрома и особенно – свинца и цинка. С удалением от берега на внутреннем шельфе для одних металлов (титан, ванадий), не имеющих тесной связи с органическим веществом, намечается рост концентраций во взвеси, для других (железо, хром, свинец и цинк) – уменьшение. От поверхностного к наддонному горизонту увеличивается содержание железа, титана и цинка. Равномернее во всей водной толще распределен свинец. Концентрации ванадия и хрома понижаются от поверхности ко дну.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимов А.К., Лукашин В.Н., Буренков В.И. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 32-м рейсе научно-исследовательского судна «Рифт» // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 751–757.
2. Ковалев В.В., Парада С.Г. Распределение растворенных форм титана и ванадия в водной толще Каспийского моря // *Геология и геофизика Юга России*. 2017. № 4.
3. Ковалев В.В., Парада С.Г. Закономерности распределения концентраций взвешенных форм микроэлементов в водной толще Каспийского моря // *Наука Юга России*. 2020. Т. 15. № 1. С. 60–70.
4. Ковалев В.В., Фелиции С.И. Распределение растворенных форм железа и марганца в водной толще Каспийского моря // *Геология и геофизика Юга России*. 2016. № 3. С. 85–97.
5. Ковалев В.В., Гамбург К.Ю. Особенности распределения взвешенной формы железа в водной толще Каспийского моря // *Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения*. 2021. Т. 11. № 4. С. 109–120.
6. Кравчишина М.Д., Ключиткин А.А., Лукашин В.Н., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Лисицын А.П. Распределение взвешенного вещества в Каспийском море // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 10. С. 96–107.

The report presents data on the distribution of trace elements in suspended matter in the water column of the Caspian Sea, collected as a result of expeditions of Rostov State University.

Котова Е.И., Лохов А.С., Топчая В.Ю., Чибисова В.Г.

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

Атмосферный перенос свинца и кадмия на территорию Арктической зоны РФ по данным модельных расчетов

Kotova E.I., Lokhov A.S., Topchaya V.Yu., Chibisova V.G.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Atmospheric deposition of lead and cadmium on the territory of the Arctic zone of the Russian Federation (model calculations)

Ключевые слова: атмосферный перенос, кадмий, свинец, Арктика, обратные траектории

С помощью статистической обработки массивов обратных траекториях движения воздушных масс рассчитаны значения атмосферных потоков свинца и кадмия на территорию западного сектора Российской Арктики. Максимальные значения получены для территорий Архангельской области. В отдаленных районах в зимний период увеличивается роль дальнего переноса в поступлении примесей.

Арктические территории играют важную роль в процессе формирования глобального климата Земли, поэтому в последние годы все больше исследований направлено на изучение состояния окружающей среды этого региона. Несмотря на удаленность арктических территорий от мощных источников загрязнения, они подвержены антропогенному воздействию путем трансграничного атмосферного переноса – воздушные массы способны переносить загрязняющие вещества на расстояния в тысячи километров. Впоследствии эти примеси оседают на подстилающей поверхности и накапливаются в природных объектах (снеге, почве, воде, растениях и т.д.) [1]. Мониторинг за поступлением в окружающую среду Арктического региона таких элементов, как свинец и кадмий, необходим ввиду их высокой токсичности (относятся к первому классу опасности), а также вследствие превышения антропогенной эмиссии этих металлов над их терригенным поступлением. Свинец и кадмий попадают в атмосферу в результате сжигания топлива, хозяйственных отходов, а также при производстве черных и цветных металлов. В рамках европейской международной программы ЕМЕР, направленной на оценку антропогенного воздействия стран Европы на окружающую среду, ежегодно рассчитываются концентрации свинца и кадмия в воздухе с учетом выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с территорий стран-участниц программы [2].

Для изучения распространения кадмия и свинца на Арктические территории России путем дальнего атмосферного переноса в работе использован метод статистики обратных траекторий. Метод основан на получении массива данных о многолетних закономерностях переноса

воздушных масс, а с ними и примесей, к географическому пункту от конкретного источника загрязнения [3]. Обратные траектории движения воздушных масс рассчитывались с помощью модели HYSPLIT4 и данных реанализа полей метеорологических характеристик (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files) на сервере Национального управления океанических и атмосферных исследований США – NOAA [4]. Расчеты проводили для 30 дней 4 репрезентативных месяцев каждого сезона года (января, апреля, июля и октября) за период с 2015 по 2020 гг. В качестве объектов исследования были выбраны 11 точек в пределах Арктической зоны России: побережье Кольского и Кандалакшского заливов Белого моря, устья рек Онега, Северная Двина, Мезень, заповедник «Пинежский», архипелаги Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, а также устья рек Индига, Пеша и Печора (заповедник «Ненецкий») (рисунок). Данные об эмиссиях кадмия и свинца в атмосферу получены из базы данных EMEP Centre on Emission Inventories and Projections [5].

По данным модельных расчетов наибольшие средние годовые потоки свинца за период с 2015 по 2020 гг. наблюдаются для территорий вблизи устья рек Северная Двина и Онега, побережий Кандалакшского и Кольского заливов, а также заповедника «Пинежский». При этом максимальный поток свинца на поверхность отмечен вблизи г. Архангельск – он составляет 13.8 мг/м^2 . Это более, чем в 3 раза выше, по сравнению с результатами, полученными для устья реки Онеги, где расчетные значения потока свинца равны 4.3 мг/м^2 . Для Кандалакшского и Кольского заливов Белого моря результаты практически не отличаются между собой – потоки свинца варьируются от 0.96 мг/м^2 до 0.98 мг/м^2 . Для территории Пинежского заповедника расчетные значения потоков свинца равны 0.60 мг/м^2 .

Аналогичные результаты прослеживаются и для кадмия. Так, наибольший поток этого элемента отмечен для устья реки Северная Двина вблизи г. Архангельск – 2.9 мг/м^2 , а для устья реки Онега он составляет 0.91 мг/м^2 . Для территорий Кандалакшского, Кольского заливов, а также Пинежского заповедника расчетные значения потока кадмия не превышают 0.21 мг/м^2 . Потоки элементов на поверхность остальных проанализированных территорий значительно меньше, либо отсутствуют полностью.

Анализ сезонных вариаций распределения потоков элементов показал, что для территории вблизи устья рек Северная Двина и Онега наибольшие потоки свинца и кадмия наблюдаются в весенний и летний периоды, а для территорий вблизи устья реки Мезень и Пинежского заповедника – в зимний и осенний. Потоки металлов на поверхность вблизи Кандалакшского залива наиболее интенсивны в зимние и летние месяцы, в то время как для Кольского залива максимальные потоки характерны только в летнее время. Наибольшие потоки металлов отмечены в летний сезон для территории вблизи г. Архангельск, они составляют $4,2 \text{ мг/м}^2$

свинца и $0,88 \text{ мг/м}^2$ кадмия.



Рисунок. Объекты исследования: 1 – побережье Кольского залива; 2 – побережье Канда拉克шского залива; 3 – устье р. Онега; 4 – устье р. Северная Двина; 5 – заповедник «Пинежский»; 6 – устье р. Мезень; 7 – устье р. Пеша; 8 – устье р. Индига; 9 – заповедник «Ненецкий»; 10 – арх. Новая Земля; 11 – арх. Земля Франца-Иосифа

Увеличение потоков в зимние месяцы связано с метеорологическими факторами, которые определяют расширение ареала территорий, с которых происходит перенос примесей в северные широты. Атмосферные потоки примесей в летние месяцы находятся под влиянием как минимум двух факторов. Во-первых, дожди наиболее интенсивно вымывают вещества из атмосферы. Во-вторых, метеорологическая ситуация складывается таким образом, что площадь территорий, с которых поступают воздушные массы

уменьшается: влияние дальнего атмосферного переноса снижается. В то же время происходит накопление примесей вблизи их источников, как это имеет место быть на территории Кольского полуострова и Архангельской области.

Таким образом, территории вблизи устьев рек Северная Двина и Онега, Кандалакшского и Кольского заливов Белого моря, а также Пинежского заповедника наиболее подвержены загрязнению свинцом и кадмием. В первую очередь, это может быть связано с местными источниками загрязнения – котельными, ТЭЦ и т.д., работающими на мазуте, угле и другом ископаемом топливе.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда «Атмосферный перенос как источник загрязнения экосистем западного сектора Российской Арктики» № 22-77-10074.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова А.А., Котова Е.И., Топчая В.Ю. Атмосферный перенос тяжелых металлов в районы севера европейской территории России // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 108–116.
2. Виноградова А.А. Потоки свинца и кадмия из атмосферы на поверхность на европейской территории России – по данным международной программы ЕМЕП // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 2. С. 111–115.
3. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 4. С. 5–20.
4. Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D., Stunder B.J.B., Cohen M.D., Ngan F. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System // Bulletin of the American Meteorological Society. 2015. V. 96. P. 2059–2077. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1
5. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ceip.at/> (дата обращения: 12.05.2021).

The values of atmospheric fluxes of lead and cadmium on the territory of the western sector of the Russian Arctic have been calculated. Statistical method of trajectories for the air mass transport was used. Maximum values were obtained for the Arkhangelsk region. The role of long-range transport in the input of impurities on remote areas increases in winter.

Котова Е.И., Стародымова Д.П., Нецветаева О.П.

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

Состав нерастворимого вещества снежного покрова западного сектора Российской Арктики: результаты экспедиции 2023 года

Kotova E.I., Starodymova D.P., Netsvetayeva O.P.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Composition of insoluble matter in the snow cover of the western sector of the Russian Arctic: results of the expedition in 2023

Ключевые слова: снежный покров, взвесь, металлы, Арктика

В работе представлены результаты исследований элементного состава снежного покрова западного сектора российской Арктики в феврале–марте 2023 г. Показано, что концентрация взвешенных частиц минимальна на территории Сийского заказника и Пинежского заповедника: 0.2–0.3 мг/л. Повышенные концентрации взвеси получены на побережье Онежского залива вблизи выхода скальных пород – 7.0 мг/л. В большинстве изученных точек рН изменялся в диапазоне 5.0–9.2. Более щелочные свойства снежный покров имел в прибрежных районах Ненецкого автономного округа. Элементный состав взвешенного вещества снега распределяется относительно равномерно по изученным районам, однако отмечены повышенные содержания V, Co, Ni и Cu в пробах, отобранных в Мурманской области.

Надежной естественной ловушкой олового материала является снежный покров. Благодаря некоторым свойствам, которыми он обладает, снежный покров становится удобным индикатором состояния экосистемы в целом [1, 2]. Осаждающиеся снежинки способны очищать атмосферу от взвешенных частиц даже более качественно, чем дожди [3]. Вследствие этого, за зимние месяцы в снежном покрове накапливается значительное количество атмосферных выпадений. Из-за низкой температуры они сохраняются практически без изменений, что делает снежный покров особенно ценным объектом изучения. Принимая во внимание особенности арктических территорий, можно считать актуальным исследование химического состава атмосферы, используя снежный покров, т.к. он сохраняется здесь большую часть года.

Сбор и изучение олового материала, накапливающегося в снеговом покрове, проводился по методикам, принятым в практике изучения аэрозолей Арктики [4, 5], а также в соответствии с методическими указаниями для снегомерной съемки РД 52.04.186-89 «Временные методические указания по работе на сети контроля загрязнения природной

среды на основе снегомерной съемки». Точки отбора проб выбирались на ключевых участках, с учетом характерных ландшафтов (рис. 1).

Пробы талого снежного покрова были профильтрованы через предварительно взвешенные мембранные фильтры диаметром 47 мм (диаметр пор 0.45 мкм). После фильтрации фильтры высушены и взвешены для получения количественных характеристик. Определение элементного состава нерастворимой фракции снега, проводилось с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) Agilent 7500. Образцы твердого вещества перед анализом были разложены с применением концентрированных кислот.

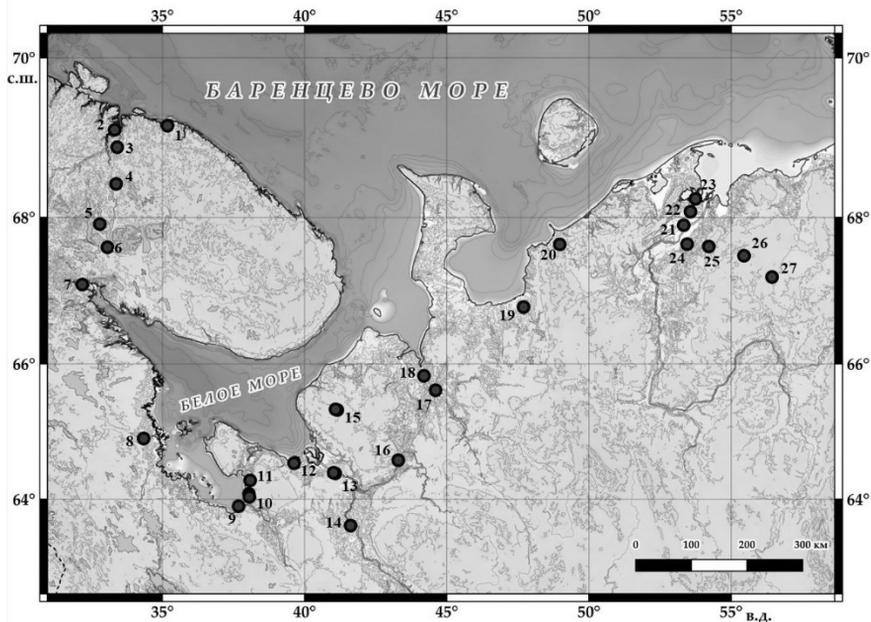


Рисунок 1. Районы отбора проб: 1 – побережье Баренцева моря (район с. Териберка), 2– Ретингора, 3 – Лисья гора, 4 – Мончегорск, 5 – Апатиты, 6 – Тайбола, 7 – Кандалакшский залив, 8 – Кемь, 9 – Ворзогоры, 10 – Онежский залив, 11 – Кянда, 12 – Ягры, 13 – Лявля, 14 – Сийский государственный природный биологический заказник регионального значения, 15 – Беломорско-Кулойского плато (бассейн р. Золотица), 16 – Пинежский государственный природный заповедник, 17 – устье р. Пеза, 18 – устье р. Мезень, 19 – устье р. Пеша, 20 – устье р. Индига, 21-23 – устье р. Печора, 24–27 – большеземельская тундра по маршруту г. Нарьян-Мар – пос. Харьягинский

Высота снежного покрова на рассматриваемой территории в 2023 г. изменялась в диапазоне от 11–52 см на открытых участках, до 78–98 см в лесных массивах. Значения плотности снега на большей части территории находились в диапазоне от 0.14 г/см³ до 0.3 г/см³.

Наибольшую плотность (0.37–0.46 г/см³) снежный покров имел на открытых прибрежных участках (Териберка, устье р. Печора), за счет ветрового уплотнения.

Уровень рН талой фазы снежного покрова изменялся в диапазоне 5.0–9.2. Более щелочные свойства снежный покров имел в прибрежных районах Ненецкого автономного округа: устье р. Индига (8.7–9.2), устье р. Пеша (до 7.0), устье р. Печора (7.0).

Содержание нерастворимого вещества в снеге минимально было на территории Сийского заказника и Пинежского заповедника: 0.2–0.3 мг/л. Повышенные значения концентрации взвеси были получены на побережье Онежского залива вблизи выхода скальных пород: 7.0 мг/л.

Элементный состав взвешенного вещества характеризуется относительной однородностью в отношении большинства элементов. Содержание алюминия

Наибольший разброс в содержаниях выявлен для следующих элементов. Высокие содержания V и Ni получены в пробах, отобранных на Кольском полуострове (рис. 2), особенно в районе г. Мончегорска: 1307 мкг/кг и 100 мг/кг соответственно. Повышенные содержания элементов приурочены к мощным источникам антропогенных выбросов, в частности к Мончегорскому ГОКу, взвешенное вещество вокруг которого характеризуется повышенными содержаниями V, Co, Cu, Ni, Pb.

Наибольшие содержания Mn (на уровне 6 мг/кг) получены в пробах снежного покрова, отобранных на территории Архангельской области вблизи Архангельской агломерации (станция Лявля – т. 10 на рис. 1.), а также вблизи г. Апатиты.

Наибольшие содержания Sb (40 мкг/кг) обнаружены в Архангельской области на станции Ягры (станция 12 на рис. 1), предположительным источником загрязнения здесь могут быть предприятия судоремонта и судостроительства г. Северодвинск.

На территории Ненецкого автономного округа на фоне пониженного среднего содержания ванадия (43 мкг/ кг), марганца (414 мкг/кг), кобальта (9 мкг/кг), никеля (32 мкг/кг) и меди (39 мкг/ кг) в нерастворимом веществе снега повышено содержание мышьяка (18 мкг/кг) и свинца (78 мкг/кг).

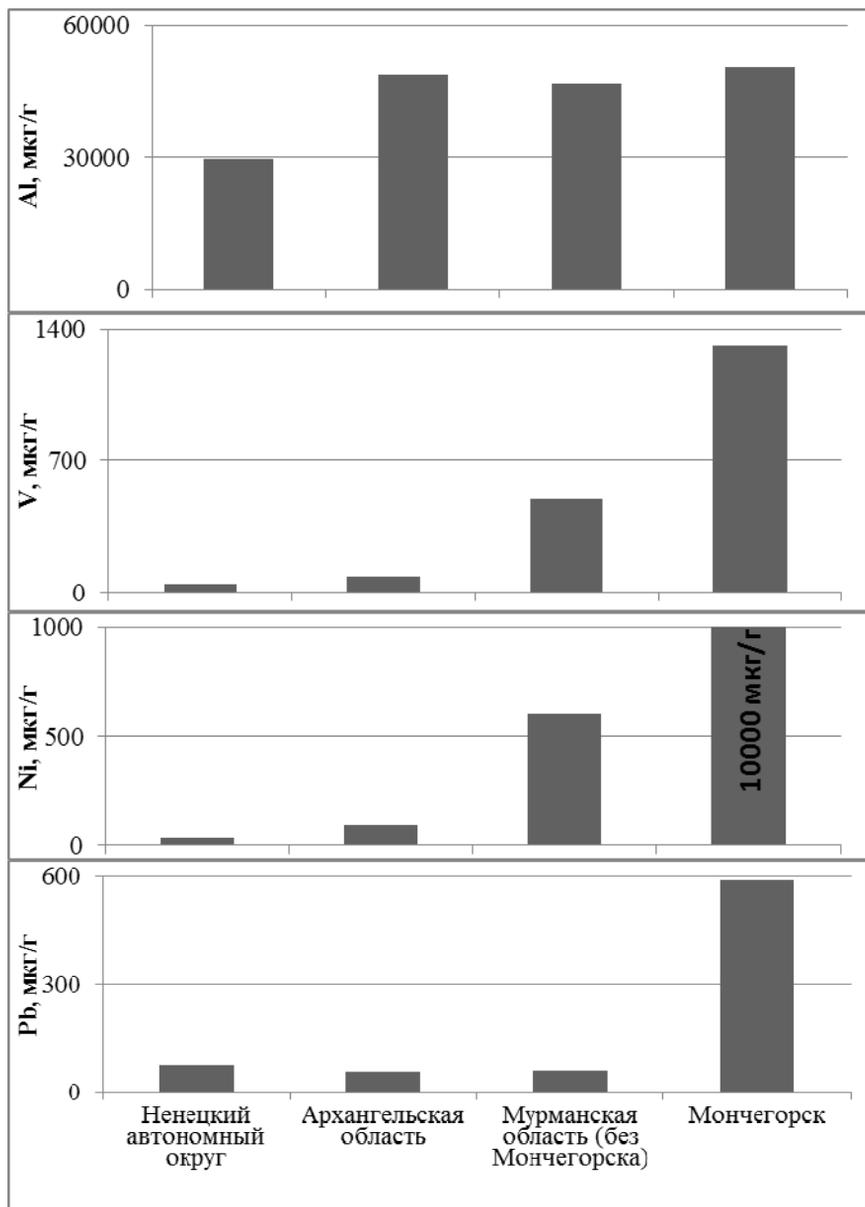


Рисунок 2. Содержание алюминия, ванадия, никеля и свинца во взвешенном веществе снега Ненецкого АО, Архангельской области, Мурманской области и отдельно Мончегорска.

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда «Атмосферный перенос как источник загрязнения экосистем западного сектора Российской Арктики» № 22-77-10074.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В. и др. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 157 с.
2. Lisitzin A.P. Sea-ice and iceberg Sedimentation in the ocean: Recent and past. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. 563 p.
3. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Тяжелые металлы в снежном и ледовом покрове Баренцева моря // Океанология. 2005. Т. 45. № 5. С. 777–784.
4. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
5. 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. 551–575.

The paper presents the results of studies of the elemental composition of the snow cover of the western sector of the Russian Arctic in February-March 2023. The concentration of suspended particles is minimal on the territory of the Siisky Reserve and the Pinezhsky Reserve (0.2–0.3 mg/l). Elevated suspended sediment concentrations were obtained on the coast of Onega Bay near rock outcrops (7.0 mg/l). In most samples pH varied in the range of 5.0–9.2. The snow cover had more alkaline properties in the coastal areas of the Nenets Autonomous District. The elemental composition of suspended matter of snow is distributed relatively evenly over the studied areas. Elevated contents of V, Co, Ni and Cu were noted in the samples taken in the Murmansk Region.

Левицкий В.И., Левицкий И.В.

(Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, e-mail: vlevit@igc.irk.ru)

Самородные, интерметаллические, прочие минеральные виды, аморфные фазы в породах Бобруйского выступа Белорусского массива Восточно-Европейского кратона **Levitskiy V.I., Levitskiy I.V.**

(Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk)

Native, intermetallic, other mineral species, amorphous phases in the rocks of the Bobruisk ledge of the Belarusian massif of the East European Craton

Ключевые слова: самородные, интерметаллические, карбиды, нитриды, силициды, аморфные металлы, Бобруйский выступ

В Бобруйском выступе Восточно-Европейского кратона обнаружена минерализация с самородными видами (Fe, Cu, Pb, Sn, Zn, Al, W, Mo, Zr, Nb, графит), карбидами, нитридами, силицидами, неизвестными в природе аморфными металлами. Вероятно, минерализация имеет импактную природу. Подобные соединения могут присутствовать в древних и современных осадках морей и океанов.

В Бобруйском погребенном выступе (БПВ) Белорусского кристаллического массива Восточно-Европейского кратона (ВЕК) встречено большое количество соединений разных классов содержащих K, Na, Fe, Mn, Ca, Ba, Sr, Cu, Pb, Co, Ni, Sn, Zn, Al, Ce, Nd, La, Pr, Sm, Y, Yb, Hf, W, Mo, Zr, Cr, V, Ag, Ti, Si, As, P, Bi, O, H, F, Cl, S, Se. C, B, N [1–2]. Часть из них идентифицирована методом отраженной дифракции электронов (EBSD). Среди самородных соединений присутствуют: Fe, Cu, Pb, Sn, Zn, Al, W, Mo, Zr, Nb, графит. Интерметаллические виды представлены: аваруитом, латуной и бронзой; прочие – карбидами (Nb, Mo, Ti, FeMn, MoFe, Si, W), нитридами (Ti), силицидами (Fe), оксисилицидами ($\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$); окислами (кититом, эсколаитом, железистым эсколаитом). Отмечается широкий круг аморфных веществ – обычных и впервые обнаруженных в природе аморфных металлов – металлических стекол (рис., фото 1). Среди них преобладают составы $\text{Fe}_{73-90}\text{Mn}_{11-21}\text{Cr}_{0,4-3,5}$, $\text{Fe}_{42-91}\text{Cr}_{5-22,4}\text{Mn}_{0,6-1,4}$, $\text{Fe}_{45-68}\text{Cr}_{28-44}\text{Mo}_{2,6-5,0}$, которые имеют серые и темно–серые тона на фотографиях в обратно рассеянных электронах (рис., фото 1). Их тона отражают соотношения в аморфных металлах Fe, Mn, Cr, Mo и характеризуют их соотношения в исходных расплавах.

По составам, морфологическим формам, размерности фаз выделяются:

– Отдельные обособления аморфных металлов и их сростаний с самородным железом, оксидами, сульфидами, силикатными и алюмосиликатными видами (рис., фото 2). Они могут иметь округлые или

зазубренные края зерен размером от 0.1 до 0.8 мм, а также присутствуют в виде ультра- и тонкодисперсной «сыпи, пыли» (0.1–0.01 мм).

– Одиночные мономинеральные обособления размером до 2 мм – муассанит, гранаты, оливин, железистый фассаит, жадеит, омфациит, циркон, рутил, ильменит, бадделеит, кварц, санидин, другие (рис., фото 3).

– Проволочковидные выделения красноватого цвета, представленные самородной медью до 3–8 мм (рис., фото 4) с каемками природной латуни и бронзы. Последние, приурочены к краевым частям выделений самородных Cu, Pb, Zn. Состав бронзы PbCuZnSn крайне неоднороден.

– Самородные Fe, Al встречены в виде пластинчатых линзовидных и неправильной формы выделений серебристого цвета, размером 0.03–1.5 мм.

– Ультрадисперсные выделения слагают обособления с ровными гладкими или зазубренными краями зерен. Их размер от 1–2 до 50 мкм (рис., фото 5: синоит (зерно 2) вместе с аварунитом (точка 3) и ццифенгитом (точка 4) в муассаните (точка 1). Встречены: зерна самородных W, Mo, Zr, Nb в аморфных металлах; округлые включения аморфного углерода (черного цвета) в тонгбаите и ццифенгите (рис., фото 6).

– Монофазные «шарики» (иногда полые), сложенные: или самородным железом (рис., фото 7), или вюститом, или округлой формы кальцитом.

– В аморфных металлах (или) в самородном железе встречаются каемки осборнита и самородного Nb вокруг зерен корунда (рис., фото 8).

– Глобули – наиболее крупные среди наложенных образований выделения. Они имеют округлую, реже, неправильную форму, размером от 0.5 до 1.0 см (рис., фото 9). В них проявлена хлоритизация, с полным замещением алюмосиликатов, самородного железа и аморфных металлов

– Новообразованные фазы с варьирующей окраской от светло-коричневого до темно-коричневого цветов (рис., фото 11). Их составы варьируют от маложелезистых калиевых полевых шпатов и плагиоклазов до новообразований, содержащих SiO₂, Al₂O₃, FeO, MgO, K₂O, Na₂O.

– Вторичные наложенные образования с тальком, хлоритом, окислами и гидроокислами железа, алюминия, магния. В них всегда присутствуют реликты силикатных и алюмосиликатных минералов, вместе с ранними самородным железом, аморфными металлами, вюститом, эсколаитом. Выделения могут иметь гребенчатое, микрочешуйчатое или микроколлоидное (рис., фото 10) строение с корродированными реликтами самородного Fe, аморфных металлов, окислов (эсколаит).

Обособления с самородными, интерметаллическими, аморфными фазами по отношению к породам кристаллического фундамента, габбро-долеритовой и риодацит-риолитовой формации БПВ являются наложенными (рис., фото шлифа 11) [2]. По морфологическим формам они имеют явное сходство с выделениями, наблюдаемыми в проколочках валовых проб (рис., фото 2). Это отражает их природное происхождение под воздействием внешнего источника, а не техногенное загрязнение проб.

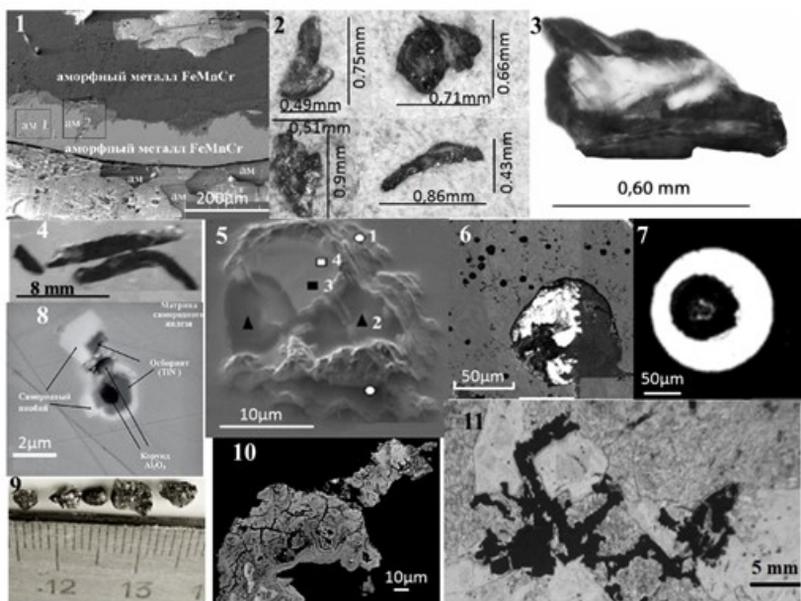


Рисунок. Морфология аморфных (фото 1, 10), кристаллических и аморфных (фото 2, 6, 9–11) фаз, минералов (фото 3–4, 5, 7–8): 1 – аморфные металлы разных составов, ксенокристаллы минералов (обратно-рассеянные электроны); 2 – морфология зерен с обособлениями кристаллических и аморфных фаз; 3 – муассанит; 4 – самородная медь; 5 – сростания синоита (2), цзифенгита (3), аваруита (4) в муассаните (1); 6 – аморфный графит в цзифенгите и тонгбаите; 7 – самородное железо; 8 – реакционные каемки осборнита и самородного ниобия вокруг корунда в матрице самородного железа; 9 – глобули; 10 – колломорфные агрегаты хлорита, талька с реликтовыми фазами; 11 – ильменит с армколлитом, цирконом, бадделейтом в шлифе габбро.

Восстановительные условия минералообразования подтверждаются присутствием самородных и интерметаллических соединений, а также синоита (с аваруитом, цзифенгитом), карбидов, нитридов. Высокобарический и высокотемпературный характер минерализации определяется присутствием аморфных металлов, муассанита, синоита. Последний устойчив при давлениях 28–64 гПа, температуре 1400–1600° К [3]. Карбиды и нитриды железа, ниобия, молибдена, титана кристаллизуются в интервале температур 1600–3900° С [4]. Аморфные металлы синтезируют из расплавов, при мгновенном охлаждении со скоростью кристаллизации 3000°/сек. Метастабильные условия процессов

отражаются в присутствии в аморфных металлах фаз аморфного и кристаллического железа, карбидов ниобия, самородного ниобия [2].

С момента обнаружения минерализации допускалась и ее возможная техногенная природа. Но широкий круг наблюдаемых редчайших фаз, среди которых много метеоритных [5], отражает ее именно природное происхождение. Оно подтверждается распространением самородных и других наночастиц в матрице аморфных металлов. Широко распространенные в БПВ составы $\text{Fe}_{73-90}\text{Mn}_{11-21}\text{Cr}_{0,4-3,5}$, $\text{Fe}_{42-91}\text{Cr}_{5-22,4}\text{Mn}_{0,6-1,4}$, $\text{Fe}_{45-68}\text{Cr}_{28-44}\text{Mo}_{2,6-5,0}$ в технике не синтезируют. Природное происхождение минерализации фиксируется и при изучении на электронном микроскопе в полированных шлифах разнообразных агрегатов высокотемпературных фаз (рис., фото 11). В них новообразования присутствуют в виде: а – удлиненных и ветвистых прожилок, зерен разнообразной неправильной формы, сульфидов, ильменита; б – ксеноморфных выделений (5–10 мм) разных оттенков красновато-коричневого цвета. В шлифах по составу и формам индивидов они идентичны ранее изученным соединениям из протолок проб и глобул. Среди них ильменит, пирротин, циркон, бадделит, армоколлит, многие другие. Новообразованные соединения с оттенками светло- и темно-коричневых цветов представлены варьирующими составами $\text{KAlSiO} - \text{FeMgSiO} - \text{MgFeSiAlO}$. Их можно отнести к породообразующим. По химизму они соответствуют железистым полевым шпатам, хлоритам, смешанослойным силикатам, неидентифицированным (новым) минералам.

Формирование минерализации могло происходить, при проявлении импактного события в палеопротерозое – неопротерозое. Площадь ее распространения в трех структурно-вещественных комплексах БПВ ВЕК составляет минимум 8750 км². Импактный механизм позволяет объяснить появление в них редчайших уникальных соединений с крайне неравномерным их распределением в породах. Характерно обилие близких по составу и морфологии зерен метеоритных и новообразованных фаз, присутствие кристаллического и аморфного графита и железа с самородным Nb, обычных аморфных веществ и металлических стекол. Их широкое распространение отражает неравновесность условий кристаллизации. Возможно, часть соединений была сформирована при проявлении взрывных процессов. Это крупнейшее на Земле по площади сосредоточение самородных, интерметаллических, прочих минеральных видов.

Часть самородных и редких соединений, обнаруженных в БПВ, с подобными составами и морфологическими формами выделений описаны на месторождении нефти Белый Тигр в Восточно-Китайском море [6]. Их генезис связывается с потоками глубинных флюидов. Самородное железо, с предполагаемой метеоритной природой отмечено в морских осадках [7,8, многие другие].

Минерализация подобная с выявленной в БПВ, может присутствовать в древних и современных отложениях морей и океанов. Ее источниками

могут быть как потоки метеоритного вещества, так и более древние, сформированные за счет кристаллических комплексов с импактитами разного возраста. В обоих случаях они характеризуется крайне низкими содержаниями и неравномерным распределением фаз и поэтому для их выявления необходим отбор проб значительных объемов. Индикатором ее проявления является присутствие аморфных металлов.

Авторы благодарны В.В. Солодиловой и Н.С. Завадич за сотрудничество. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Изоотно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН, при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00351а и, частично, в рамках выполнения Государственного задания по Проекту IX.129.1.3. (№ 0350–2016–0029).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левицкий В.И., Солодилова В.В., Завадич Н.С., Павлова Л.А., Левицкий И.В. Генетическая природа минерализации с самородными и интерметаллическими соединениями в Бобруйской кольцевой структуре (Республика Беларусь) // Доклады АН. 2018. Т. 481. № 2. С. 174–178.
2. Левицкий В.И., Левицкий И.В., Павлова Л.А., Лукашова М.В. Муассанит в породах Бобруйского выступа Белорусского кристаллического массива Восточно-Европейского кратона // Петрология. 2023. Т. 31. № 4. С. 436–460.
3. Sekine T., He N., Kobayashi T., Shibata K. Sinoite (Si₂N₂O) shocked at pressures of 28 to 64 GPa// Amer. Mineral. 2006. V. 91. P. 463–466.
4. Лидин Р. А., Молочко В. А., Андреева Л. Л. Справочник по общей и неорганической химии: справочное издание. Химические свойства неорганических веществ // М.: КолосС, 2008. 690 с.
5. Иванов А.В., Ярошевский А.А., Иванова М.А. Минералы метеоритов – новый каталог // Геохимия. Т. 64. № 8. 2019. С. 869–932.
6. Лукин А. Е., Савиных Ю., Донцов В. О самородных металлах в нефтегазоносных кристаллических породах месторождения Белый Тигр (Вьетнам) // Геолог Украины. 2007. № 2. С. 30–42
7. Печерский Д.М., Нурғалиев Д.К., Фомин В.А., Шаронова З.В., Гильманова Д.М. Космическое железо в осадках мела-даниа // Физика Земли. 2011. № 5. С. 12–34.
8. Цельмович В.А. Самородные металлы в метеоритах и осадочных породах // Материалы Всероссийского семинара по палеомагнетизму и магнетизму горных пород. Борок, 27–30 октября 2011. Ярославль, 2011. С. 247–253.

Impact mineralization with native (Fe, Cu, Pb, Sn, Zn, Al, W, Mo, Zr, Nb, graphite), carbides, nitrides, silicides was found in the Bobruisk salient of the East European Craton. Amorphous metals were discovered here for the first time in nature. Similar compounds may be present in ancient and modern sediments of the seas and oceans.

**Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Политова Н.В.,
Артемьев В.А., Глуховец Д.И.**

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

**Характеристики взвешенных веществ южной части
Карского моря в сентябре 2022 г. по данным различных
методов.**

**Lokhov A.S., Kravchishina M.D., Politova N.V., Artemiev V.A.,
Glukhovets D.I.**

(Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

**Suspended particulate matter characteristics in the Kara Sea
south part in September 2022 according to multiple methods**

Ключевые слова: взвешенные вещества, Карское море, LISST-Deer, счетчик
Коултера, ПУМ-А, метод вакуумной фильтрации.

В статье рассмотрены данные о характеристиках взвешенных веществ в морской воде, полученные в ходе 1-го этапа 89-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре 2022 г. в южной части Карского моря. Взвешенные вещества изучались двумя оптическими, кондуктометрическим и методом вакуумной фильтрации. Построена таблица парных корреляций для этих характеристик, а также для данных о грансоставе взвешенных частиц по фракциям, полученных некоторыми из рассмотренных методов.

Введение. Взвешенные вещества являются как источником материала для процесса седиментогенеза, так и его индикатором. Также это геохимический и геоэкологический показатель вод. Можно выделить две основные составляющие взвеси: терригенную, преимущественно состоящую из тонкодисперсных минеральных частиц размерами до 5–10 мкм, и более крупную – биогенную, представленную как правило фитопланктоном и его детритом. Основными источниками поступления взвеси в Карском море являются речной сток, таяние ледников, абразия берегов и эрозия дна.

В рамках 1 этапа 89 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» [1] проведены исследования характеристик взвеси в южной части Карского моря. Было выполнено три разреза: от Байдарацкой губы вдоль мелководной части Приямальского шельфа, два зональных разреза от Приямальского шельфа до архипелага Новой Земли – южный и северный.

Материалы и методы. Лазерно-дифрактометрический метод [2] изучения взвеси реализован при помощи погружного дифрактометра LISST-Deer, работающего на красном диодном лазере с длиной волны 670 нм, производства Sequoia Scientific, Inc, США. Он позволяет производить измерения объемной концентрации и гранулометрического состава частиц

in situ на глубине до 3000 м с частотой 1 Гц, размерами от 1.25 до 250 мкм с дискретностью в 32 размерных интервала по логарифмической шкале.

Другой оптический метод представлен прозрачномером ПУМ-200, разработанном в ИО РАН [3], измеряющим показатель ослабления света в зеленой области спектра (530 нм) и флуоресценцию хлорофилла «а» (длина волны возбуждения 430 нм, регистрации – 685 нм). Прибор работает на глубине до 200 м с дискретностью до 15 Гц.

Кондуктометрический метод заключается в измерении электрического сопротивления при прохождении частиц через апертуру, в данной работе – трубку с отверстием диаметром 100 мкм. Измерения батометрических проб воды проводились в лабораторных условиях, на счетчике Коултера Multisizer 3, производства Beckman Coulter, США. Измеряемый размерный диапазон частиц в данном случае составлял 2–60 мкм, с дискретностью 300 размерных интервалов.

Еще одной характеристикой взвешенных веществ является ее массовая концентрация в сухом остатке, она определялась стандартным методом фильтрации под вакуумом 400 мбар через предварительно взвешенные (точность 0.01 мг) мембранные ядерные фильтры (0.45 мкм размер пор, 47 мм диаметр фильтра). Объем профильтрованной морской воды варьировался от 5 до 10 л. Подробнее о методике см. [4].

Необходимо отметить порядок применения методов для каждой станции. LISST-Deer был установлен на зондирующий комплекс Rosette и проводил измерения при проходе от поверхности ко дну, батометрические пробы для анализа на счетчике Коултера и методом вакуумной фильтрации отбирались при обратном проходе от дна к поверхности. Измерения ПУМ-200 проводились отдельно, перед зондированием комплексом Rosette с временным промежутком между ними порядка нескольких минут.

Результаты.

В ходе 1-го этапа 89-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре 2022 года в южной части Карского моря были собраны данные о характеристиках взвеси рассмотренными методами. В работе рассматриваются выборки следующих размеров: массовая концентрация взвеси – 85 проб, объемная концентрация взвеси грансостав по фракциям, счетчик Коултера – 141 проба, то же по данным LISST-Deer – 137 записей, показатель ослабления света и флуоресценция по данным ПУМ-200 – 125 записей.

Данные с зондирующих приборов были проанализированы по их выборкам на соответствующих горизонтах. Распределения всех показателей, кроме температуры имеют логнормальный характер, данные ПУМ-200 LISST-Deer предварительно обработаны для исключения выбросов.

В таблице представлены результаты расчета парных коэффициентов корреляций для выборок различных характеристик взвеси, полученных

рассматриваемыми в работе методами.

Таблица. Расчет парных корреляций характеристик взвешенных веществ. (Обозначения: C_K – объемная концентрация взвеси по фракциям по данным счетчика Коултера; C_Φ – массовая концентрация взвеси по методу вакуумной фильтрации (МФ); C_L – объемная концентрация взвеси по фракциям, c_L – расчетный показатель ослабления света, по данным LISST-Deer; $C(530)$ – показатель ослабления света, T – температура, FLU – флуоресценция, по данным ПУМ-200)

	Счетчик Коултера				МФ	LISST-Deer							
	C_K				C_Φ	C_L					c_L		
Ед измерения	мкл/ л	мкл/ л	мкл/ л	мкл/ л	мг/л	мкл/ л	мкл/ л	мкл/ л	мкл/ л	мкл/ л	мкл/ л	M^{-1}	
Размерный диапазон частиц	2-60 мкм	2-5 мкм	5-10 мкм	10-60 мкм	от 0.45 мкм	1.25 - 250 мкм	1.25 - 10.8 мкм	10.8 - 47.7 мкм	47.7 - 92.6 мкм	92.6 - 250 мкм	2.05 - 66.5 мкм	-	
Размер выборки	141				85	137							
C_Φ , мг/л	0.76	0.47	0.46	-0.5	1								
C_L , мкл/л	1.25–250 мкм	0.61	0.38	0.43	-0.4	0.64	1						
	1.25–10.8 мкм	0.77	0.54	0.52	-0.6	0.88	0.69	1					
	10.8–47.7 мкм	0.74	0.41	0.52	-0.5	0.85	0.69	0.90	1				
	47.7–92.6 мкм	0.67	0.38	0.49	-0.5	0.63	0.82	0.77	0.84	1			
	92.6–250 мкм	0.34	0.22	0.23	-0.2	0.34	0.89	0.32	0.31	0.54	1		
2.05–66.5 мкм	0.77	0.46	0.54	-0.5	0.87	0.73	0.95	0.99	0.86	0.35	1		
c_L , M^{-1}	0.7	0.56	0.51	-0.6	0.78	0.75	0.89	0.81	0.79	0.47	0.86	1	
ПУМ-200	$c_{П.М^{-1}}$	0.76	0.48	0.52	-0.5	0.87	0.62	0.75	0.67	0.78	0.36	0.73	0.75
	T , °C	0.42	0.08	0.17	-0.1	0.3	0.36	0.35	0.22	0.38	0.29	0.29	0.36
	FLU, о. е.	0.54	-0.2	-0.1	0.15	0.1	0.19	0.21	0.09	0.23	0.15	0.15	0.21

Так, коэффициент корреляции массовой (C_Φ) и объемной (C_L) концентраций взвеси, для фракций 1.25–10.8, 10.8–47.7 и 2.05–66.5 мкм составляет 0.85–0.88, тогда как для более крупных фракций он значительно ниже. Это может быть объяснено тем, что массовая концентрация определяется в сухом остатке, поэтому результаты измерений более мелких терригенных фракций показывают более высокую связь. Тогда как для более крупных биогенных частиц масса менее коррелирует с их объемом, по причине высушивания содержащейся в них внутриклеточной жидкости (воды).

Прозрачномер ПУМ-200 наиболее тесно связан с массовой концентрацией взвеси (коэффициент корреляции 0.87), также для него наблюдается аналогичная картина при сравнении с объемной концентрацией взвеси (LISST-Deer) по фракциям – для более мелких частиц наблюдается более тесная связь. Аналогичная взаимосвязь наблюдалась и при сравнении данных нефелометра и LISST-Deer [2].

Выборки объемных концентраций взвеси, полученные лазерно-дифрактометрическим (LISST-Deer) и кондуктометрическим (счетчик Коултера) методами, при приведении измеряемых размерных диапазонов частиц показывают связь с коэффициентом 0.77.

Программное обеспечение LISST-Deer позволяет из получаемых данных рассчитывать показатель ослабления света (C_L), к сожалению, производитель не раскрывает методику расчета. Его коэффициент корреляции с показателем ослабления ПУМ-200 составляет 0.75, что близко с коэффициентом для объемной концентрации фракций от 1 до 100 мкм.

На рисунке представлена диаграмма Тьюки, для построения которой выборки показателей были предварительно нормированы на их медианы, с целью их сравнения в безразмерном виде. Точками обозначены записи, не укладывающиеся в интервал в полтора интерквартильных размаха. В данном случае больше совпадают как «ящики», так и их «усы», тем более явная связь между их распределениями.

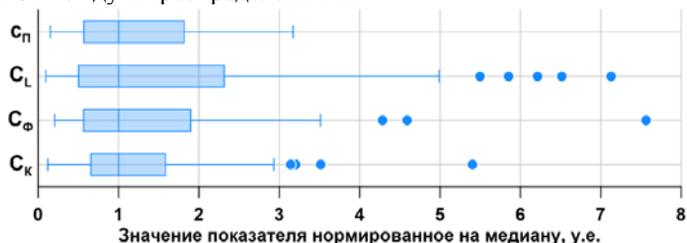


Рисунок. Диаграмма Тьюки для выборок показателей, нормированных на их медианы, точками обозначены значения, превышающие полтора интерквартильных размаха (C_k – объемная концентрация взвеси, счетчик Коултера; C_ϕ – массовая концентрация взвеси, вакуумная фильтрация; C_L – объемная концентрация взвеси, LISST-Deer; $C(530)$ – показатель ослабления света, ПУМ-200)

В данном случае как корреляционный анализ, так и представленная диаграмма Тьюки предназначена для сравнения выборок данных в целом, так как представленные ряды являются временными, а этот метод не учитывает связь значений характеристик с глубинами.

Заключение. Существующие методы изучения характеристик морских вод, связанных со взвесью, имеют множество особенностей ввиду существенной неоднородности взвешенных частиц как по размеру и форме, так и по составу, а также различий в физических принципах на которых основаны методы измерений. Исследования взаимосвязи этих характеристик могут служить для повышения точности при выборе методов для решения конкретных задач, таких как исследование фитопланктона, терригенной взвеси, различных загрязнителей и других.

Финансирование и благодарности. Работа выполнена в рамках темы госзадания № FMWE-2021-0006. Авторы выражают благодарность Махнович Н.М., Мигдисовой И.А. и другим сотрудникам за участие в обработке проб, а также экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Глуховец Д.И., Шевченко В.П., Белан Б.Д. 89-й рейс (1-й этап) научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»: климатический эксперимент во взаимодействии с самолетом-лабораторией Ту-134 «Оптик» в Карском море // *Океанология*. 2023. Т. 66. № 3. С. 492–495.
2. Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Коченкова А.И. Измерение характеристик взвешенных частиц Баренцева моря *in situ* с помощью лазерного дифрактометра LISST-Deer // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 5. С. 747–761.
3. Артемьев В.А., Глухов В.А., Глитко О.В., Павлова М.А., Клювиткин А.А. Методика и результаты интеркалибровки прозрачномеров ПУМ-200 И LISST-TAU // *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2023): материалы XVIII международной научно-технической конференции*. М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2023. С. 88–91.
4. Kravchishina M.D., Lisitsyn A.P., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Politova N.V., Shevchenko V.P. Suspended Particulate Matter as a Main Source and Proxy of the Sedimentation Processes // *Sedimentation Processes in the White Sea: The White Sea Environment Part II* / A.P. Lisitzin, L.L. Demina (eds.). *The Handbook of Environmental Chemistry*. 2018. P. 13–48.

Paper describes particle size distributions collected in 89th cruise of the RV “Akademik Mstislav Keldysh” in September 2022 in the South Kara Sea. The research of suspended particulate matter was carried out using two optical, conductometric and vacuum filtration methods. A correlation analysis of the characteristics obtained by these methods and particle size distributions data by fractions was carried out.

**Малов В.И.^{1,2}, Страховенко В.Д.^{1,2}, Субетто Д.А.³,
Белкина Н.А.⁴, Овдина Е.А.¹.**

(¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, email: malov@igm.nsc.ru; ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск;

³Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург; ⁴Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН” Институт водных проблем Севера, Петрозаводск)

Латеральные различия в минеральном и геохимическом составе донных отложений Онежского озера

**Malov V.I.^{1,2}, Strakhovenko V.D.^{1,2}, Subetto D.A.^{3,4},
Belkina N.A.³, Ovdina E.A.¹**

(¹V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, email: malov@igm.nsc.ru; ²Novosibirsk State University, Novosibirsk; ³Russian State Pedagogical University. A.I. Herzen, St. Petersburg; ⁴Federal Research Center “Karelian Scientific Center of RAS” Institute of Water Problems of the North, Petrozavodsk)

Lateral differences in the mineral and geochemical composition of bottom sediments of Lake Onego

Ключевые слова: Онежское озеро, донные отложения, геохимия, минералогия.

В работе показаны различия в геохимическом и минеральном составе донных отложениях во всех районах Онежского озера. Для северной части характерны более высокие концентрации Na, Mg, Al, K, Ca, Sr, Ba, Cd, Zn, Ni, Mo, для центральной и южной части характерны более высокие концентрации Pb. В минеральном составе различия наблюдаются лишь в акцессорных и темноцветных минералах.

Важной задачей геохимии является изучение закономерностей рассеяния, миграции и концентрации химических элементов в геосферах. Озера играют важнейшую роль в процессах концентрирования химических элементов, так как являются конечными водоемами стока. Изучение минерального и геохимического состава донных отложений позволяет исследовать процессы концентрирования элементов в континентальном седиментогенезе, определять роль тех или иных источников материала в формировании осадочных пород.

Цель работы охарактеризовать латеральное распределение макро- и микроэлементов, описать различия в минеральном составе донных отложений в разных районах Онежского озера.

Объекты и методы. Объектом исследования является Онежское озеро. Отбор кернов донных отложений производился с борта НИС «Эколог» по всей акватории Онежского озера в следующих лимнологических районах: Повенецкий залив; Заонежский залив; Малое Онего; Уницкая губа; Лижемская губа; Кондопожский залив; Петрозаводский залив; Большое Онего; Центральное Онего; Южное Онего. Донные отложения отбирались

при помощи пробоотборников «Limnos», стратометра Алексона, трубки «ГОИН ТГ-1», ударной грунтовой трубки длиной 3 м и бурением со льда с использованием поршневой системы отбора донных отложений производства UWITEC (Австрия).

Аналитические работы выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск. Валовые концентрации макро- (K, Na, Ca, Al, Fe, Mn, Mg) и микроэлементов (Sr, Sb, Ba, Be, Cd, Ni, Co, Pb Cr, Zn, и тд.) в пробах донных отложений определялись методом атомно-абсорбционной спектрометрии «Solaar M6» (Thermo Electron, США). Анализ фазового состава проб донных отложений осуществлялся с помощью метода рентгеновской дифрактометрии (XRD) на дифрактометре "ARLX"TRA" (Thermo Fisher Scientific (Ecublens) SARL, Швейцария) и методом сканирующей электронной микроскопии (MIRA 3 TESCAN, (Tescan, Чехия) оснащенный энергетическим спектрометром "Oxford" (Oxford Instruments, Великобритания).

Результаты. Согласно ранее опубликованным данным [1], в разрезе донных отложений выделяют (снизу вверх) три основные литостратиграфические горизонты: ленточные глины, гомогенные илы, окисленные илы. Если рассматривать донные отложения Онежское озеро в целом, а за фоновые значения концентраций химических элементов брать кларковые значения в континентальной коре (в работе кларковые значения были взяты по PAAS, потому что с точки зрения генетического сходства наиболее подходят для сравнения с осадочными породами) или средние значения пород водосбора, то положительными аномалиями стоит считать аномалии по Mn (0.8 масс.% в донных отложениях Онежского озера, 0.11 в PASS, в 0.07 в осадочных породах Русской плиты, 0.10 в кристаллических породах Балтийского щита) и Cd (0.4 ppm в донных отложениях Онежского озера, 0.03 в PASS, в 0.09 в осадочных породах Русской плиты, 0.11 в кристаллических породах Балтийского щита), а отрицательными Sb (0.4 ppm в донных отложениях Онежского озера, 1.4 в PASS, в 1.1 в осадочных породах Русской плиты, 0.7 в кристаллических породах Балтийского щита). Данные по содержанию элементов в осадочных породах Русской плиты и кристаллических породах Балтийского щита взяты по данным [2]; в PASS по данным [3]. Практически для всех изученных элементов средневзвешенные значения содержаний в однотипном литостратифицированном горизонте донных отложений разных районов Онежского озера близки к усредненному составу горных пород водосборной территории, а вариации содержаний изученных элементов не превышают величину среднего арифметического $\pm 2\sigma$ (два стандартных отклонения), за исключением Mn.

Несмотря на то, что вариации значений большинства элементов не превышают среднее арифметическое $\pm 2\sigma$ для разных районов, для ряда районов наблюдаются характерные более высокие концентрации элементов,

которые прослеживаются во всех литостратиграфических горизонтах. Так, для северной части Онежского озера (заливы и губы) характерны более высокие концентрации Na, Mg, Al, K, Ca, Sr, Ba, Cd, Zn, Ni, Mo. Для центральной части и южной части Онежского озера характерны более высокие концентрации Pb.

Проведя сравнение концентраций элементов в выборках донных отложений разных районов Онежского озера можно утверждать, что для всех горизонтов усредненные содержания либо одинаковы, либо отличаются в пределах одного-двух стандартных отклонений по акватории Онежского озера. Наибольшие отличия в средних концентрациях элементов в ленточных глинах наблюдаются для Mn, Sb, Hg, U, Mo.

Для гомогенных илов и окисленных илов наблюдается больший спектр элементов, для которых вариация значений от района к району озера отличается. Так наибольшие вариации характерны для Na, Mn, Sr, Cd, Hg, Pb для гомогенных илов и для Na, Mg, Mn, Sr, Sb, Cd, Co, Ni, Ba, Hg, Pb для окисленных илов (рисунок). Меньший спектр элементов, чьи концентрации различаются по акватории для ленточных глин объясняется тем, что во время формирования ленточных глин, снос материала для всей территории озера приходился преимущественно с юга, в то время как с севера находился ледник [4].

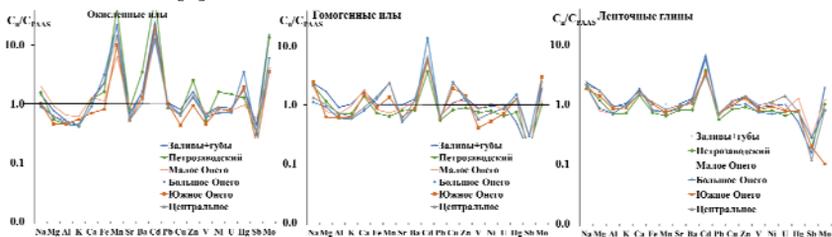


Рисунок. Распределение содержаний элементов в ленточных глинах, гомогенных илах и окисленных илах для разных районов Онежского Озера, нормированные на PAAS [3].

Отличия в средних концентрациях элементов для разных районов Онежского озера объясняется различием в геологическом строении водосборной территории и находит свое отражение в минеральном составе донных отложений.

Сопоставление минерального состава донных отложений из разных районов Онежского озера показал, что кварц, полевые шпаты и мусковит преобладают среди терригенных минералов во всех образцах донных отложений (альбит-олигоклаз, а в меньшей степени – калиевый полевой шпат) вне зависимости от части Онежского озера. Это связано с широким распространением от северо-западной через северную до северо-восточной части водосбора озера гранитоидов тоналит-трондьемит-гранодиоритовой

(ТТГ) ассоциации, в составе которых превалирует кварц, полевые шпаты и серицит.

Набор темноцветных и акцессорных минералов в донных отложениях, также отвечает составу ТТГ и множественных интрузий основного, среднего и кислого состава (габбро, диориты, гранодиориты, граниты и т.д.). Темноцветными минералами являются эпидот, биотит, пироксены (в основном диопсид) и амфиболы (чаще всего роговая обманка иногда, актинолит), в меньших количествах встречаются акцессорные минералы – рутил, ильменит, магнетит, титанит, циркон, монацит и гематит. Доля темноцветных и акцессорных минералов не превышает 5%.

Некоторые темноцветные и акцессорные минералы встречаются только в определенных заливах и районах Онежского озера (таблица).

Таблица. Встречаемость темноцветных и акцессорных минералов в донных отложениях разных лимнологических районов Онежского озера.

	Bt*	Chl*	Aeg- Aug*	Di*	Hbl*	Grt*	Ep*
Повенецкий залив		+			+		
Заонежский залив		+					
Малое Онего	+	+		+	+		+
Уницкая губа					+		
Лижемская губа		+		+	+		+
Кондопожский залив	+	+		+	+		
Петрозаводская губа	+	+	+	+	+		+
Большое Онего			+	+	+	+	
Центральное Онего	+					+	+
Южное Онего		+		+			
	Rt*	Ilm*	Mag*	Ttn*	Zrn*	Mnz*	Hem*
Повенецкий залив	+	+		+			
Заонежский залив							
Малое Онего				+			
Уницкая губа			+				
Лижемская губа	+	+	+	+			
Кондопожский залив							
Петрозаводская губа	+	+	+			+	+
Большое Онего	+	+	+		+		

*-символьные обозначение минералов [5]

Например, эгирин-авгит встречаются только в Петрозаводской губе и Большом Онего. Эпидот встречается почти везде, но наибольшее его количество наблюдается Центральном и Южном Онего, Петрозаводской губе, что может быть связано с выходами эффузивных пород в районе Петрозаводской губы и выходами среднепротерозойских ультраосновных и основных пород в районе водосбора р. Водла, впадающей в Онежское озеро в районе Центрального Онего. Гематит встречается только вблизи

западного берега, и связан с выходами кварцитов Шокшинского месторождения.

Таким образом, можно утверждать, что неравномерное распределение аксессуарных и темноцветных минералов по акватории Онежского озера является отражением различия состава горных пород площади водосбора озера в целом и каждого залива в частности.

Выводы. Для донных отложений Онежского озера характерны повышенные концентрации Mn и Cd, пониженные концентрации Sb относительно РААС.

Для северной части Онежского озера (заливы и губы) характерны более высокие концентрации Na, Mg, Al, K, Ca, Sr, Ba, Cd, Zn, Ni, Mo. Для центральной части и южной части Онежского озера характерны более высокие концентрации Pb. Однако вариации значений не превышают среднее арифметическое $\pm 2\sigma$ (два стандартных отклонения).

Различие в минеральном составе донных отложений разных районов Онежского озера наблюдаются в темноцветных и аксессуарных минералах, доля которых не превышает 5%.

Наблюдаемые результаты являются отражением различий в локальном геологическом строении водосборной территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФН в рамках научного проекта № 18-17-00176-п и при финансовой поддержке РФФИ проекта № 19-05-50014

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Subetto D. Rybalko A., Strakhovenko V. et al. Structure of late pleistocene and holocene sediments in the Petrozavodsk Bay, Lake Onego (NW Russia) // Minerals. 2020. V. 10. № 11. P. 964.
2. Ронов А.Б., Мигдисов А.А. Количественные закономерности строения и состава осадочных толщ Восточно Европейской платформы и Русской плиты и их место в ряду древних платформ мира // Литология и полез. Ископаемые. 1996. № 5. С. 451–475.
3. Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., Мир, 1988. 384 с.
4. Strakhovenko V. et al. Distribution of rare earth elements and yttrium in water, suspended matter and bottom sediments in Lake Onego: Evidence of the watershed transformation in the Late Pleistocene // Quaternary International. 2023. V. 644. P. 120–133.
5. Warr L. N. IMA–CNMNC approved mineral symbols // Mineralogical Magazine. 2021. V. 85. № 3. P. 291–320.

The work shows differences in the geochemical and mineral composition of bottom sediments in all areas of Lake Onega. The northern part is characterized by higher concentrations of Na, Mg, Al, K, Ca, Sr, Ba, Cd, Zn, Ni, Mo; the central and southern parts are characterized by higher concentrations of Pb. In mineral composition, differences are observed only in accessory and dark-colored minerals.

Малов Г.И., Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И.
(Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,
e-mail: malovgi@igm.nsc.ru)

Скорости осадконакопления донных отложений малых озер Улаганской долины и Укокского плоскогорья (Горный Алтай)

Malov G.I., Strakhovenko V.D., Ovdina E.A., Malov V.I.
(V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences, Novosibirsk)

Sedimentation rates of bottom sediments in small lakes of the Ulagan Valley and the Ukok Plateau (Gorny Altai)

Ключевые слова: сапропель, донные отложения, свинец, геохронология, Горный Алтай.

Исследованы скорости осадконакопления в малых озерах в условиях нивального литогенеза среднегорья и высокогорья. Средние скорости осадконакопления в озерах находятся в диапазоне от 1.4 до 3.8 мм/год и соотносятся с данными по скоростям осадконакопления в малых озерах юга Западной Сибири.

Донные отложения малых озер являются уникальными объектами исследования, которые благодаря своей многокомпонентности в вещественном составе позволяют «задокументировать» любые изменения, происходящие как в геологических процессах на территории водосбора, так и в антропогенной нагрузке, связанной с деятельностью человека. Одним из важнейших направлений исследований донных отложений является изучение скоростей осадконакопления.

Объектами исследования являются 5 озер Чибитской системы (долина р. Чибитка, Улаганская долина) и 8 озер, расположенных на плоскогорье Укок в Бертекской и Тархатинской котловинах (рис.1).

Озерные котловины располагаются в пределах четвертичных ледниковых отложений и связаны с термокарстовыми и неотектоническими процессами. Территории района относятся к горностепному (высокогорье) и горно-лесостепному (среднегорье) ландшафту с резко континентальным климатом [1]. По трофическим условиям все исследуемые озера относятся к олиготрофным, но с преобладанием процессов продукции над процессами деструкции органического вещества. [2]. Вследствие сурового климата, процессы гипергенеза, седиментогенеза и диагенеза, для рассматриваемой территории контролируются процессом криолитогенеза (нивальный литогенез).



Рисунок 1. Схема расположения озер.

Методы исследования.

Экспедиционные работы проводились в летнее время. Рельеф дна озерной котловины и строение донных отложений озер проводилось эхолотом (ECHOMAP plus 62CV) с последующим опробованием в наиболее репрезентативных местах (наибольший разрез донных отложений, удаленность от антропогенных объектов). Отбор проб донных отложений производился цилиндрическим пробоотборником с вакуумным затвором конструкции НПО "Тайфун" ($d = 82$ мм и $L = 120$ см). Опробование керна производилось на месте с шагом 3–5 см. Пробоотбор почв производился на склонах водосборных площадей металлическим кольцом ($d = 82$ мм и $L = 50$ мм). Опробование производилось непрерывно до глубины 30 см, далее отбор проб проходил по генетическим горизонтам. Отбор проб воды производился в местах опробования проб донных отложений, в основном с центра озера. Переменные физико-химические показатели в воде (рН, Eh, взвешенное вещество (ВВ), удельная электропроводность (УЭП), содержание O_2) измерялись на месте прибором АНИОН-7000 (Биомер, Россия). Отбор и анализ растительных проб проводился коллегами из ИВЭП СО РАН Ермолаевой Н.И., Зарубиной Е.Ю., Феттером Г.В.

Аналитические исследования проводились в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск. Общетехнические показатели (влажность, зольность, рН) донных отложений производились по ГОСТу [3–5]. Макро- и микроэлементный состав проб определялся атомно-абсорбционным методом «Solaar M6» (Thermo Electron, США)

методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT (Finnigan MAT). Изучение морфологии, минерального, фазового и химического состава донных отложений проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «MIRA 3 TESCAN» и методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) (дифрактометр «ARLX'TRA»). Скорости осадконакопления оценивались методом радиометрического датирования с использованием неравновесного ^{210}Pb по модели CRS с допущениями, что атмосферное поступление ^{210}Pb в донные отложения постоянно; скорость осадконакопления в пределах рассматриваемого промежутка времени (одной пробы) не меняется; нет постседиментационной миграция ^{210}Pb . [6, 7]. Оценка концентраций ^{210}Pb проводилась на гамма-спектрометре колодезного типа на коаксиальном детекторе из сверхчистого германия (HPGe) с преусилителем и низкофоновым криостатом EGPC 192-P21/SHF 00-30A-CLF-FA («EURYSIS MESURES», Франция).

Результаты

Донные отложения изученных озер характеризуются разными соотношениями органического вещества, минерального обломочного материала и аутигенных минералов. Они представлены разностями от органоминеральных сапропелей до минеральных илов (зольность от 41% до 99%) [8, 9].

Обломочный материал по своему составу соответствует материалу почв и почвообразующих пород (коренных выходов) водосборных площадей и представлен неокатанными или слабоокатанными зёрнами кварца, полевых шпатов (альбит, олигоклаз, микроклин), слюды (мусковит, биотит) и хлорита пелитовой размерности. Среди акцессорных минералов встречаются: магнетит, рутил, апатит, титанит, ильменит, циркон и др. Аутигенное минералообразование представлено криогенным кальцитом, конкрециями гипса и биохемогенными пиритом и кальцитом.

Для сравнения скоростей осадконакопления в условиях среднегорья и высокогорья выбраны 4 озера (оз. Бирюзовое, оз. Игисту-Коль, оз. Малое Тархатинское, оз. Аргамджи). При помощи данных радиометрического датирования определен возраст верхних частей разрезов донных отложений (рис. 2.) и рассчитаны средние скорости осадконакопления (оз. Бирюзовое – 2.3 мм/г; оз. Малое Тархатинское – 1.5 мм/г; оз. Аргамджи – 3.8 мм/г; оз. Игисту-Коль – 1.4 мм/г). Средние скорости соотносятся с данными по осадконакоплению в малых озерах юга Западной Сибири [10, 11] и не отличаются от озер с другими климатическими условиями. Можно предположить, что в условиях нивального литогенеза решающими факторами, влияющими на объемы захороняющегося материала, будут локальные геолого-геоморфологические особенности озер (площадь водосбора, перепад высот на водосборе, проточность озер и др.). Для всех изученных озер, вне зависимости от высоты, характерно увеличение

скоростей осадконакопления по разрезу. Наиболее показательными являются разрезы озер Аргамджи и Игисту-Коль, в которых на границе в 95–100 лет идет резкое увеличение скоростей осадконакопления в 1.5 раза. Явная взаимосвязь изменений химического и минерального состава со скоростями осадконакопления выявлена только в озере Игисту-Коль, где на исследуемом промежутке керна (20 см) увеличение скорости осадконакопления совпадает с увеличением зольности и связано с изменениями в поступлении количества терригенного материала с территории водосбора

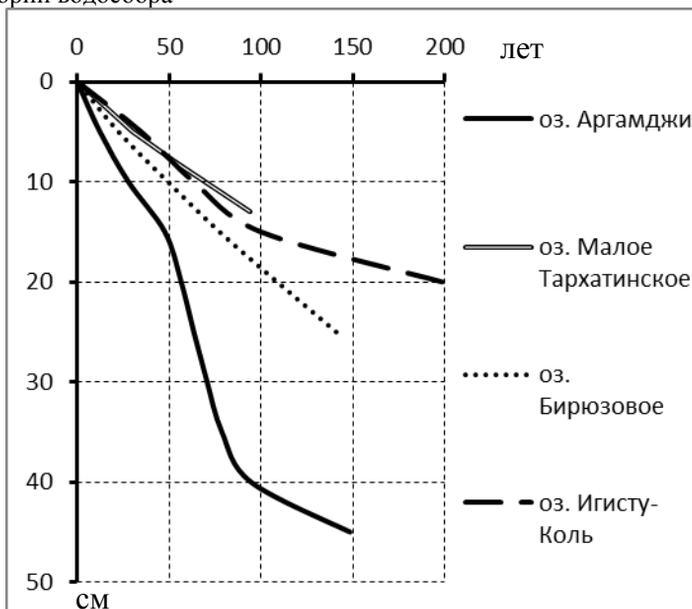


Рисунок 2. График скоростей осадконакопления в озерах

Выводы

Получены новые данные по малоизученным озерам высокогорья и среднегорья Горного Алтая. Средние скорости осадконакопления в озерах находятся в диапазоне от 1.4 до 3.8 мм/г и соотносятся с данными по скоростям осадконакопления в малых озерах юга Западной Сибири. По результатам сравнения, выдвинуто предположение, что в условиях нивального литогенеза, решающими факторами, влияющими на объемы захороняющегося материала, и как следствие скорости осадконакопления, будут локальные геолого-геоморфологические особенности озер.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00111, <https://rscf.ru/project/23-27-00111/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федак С.И., Туркин Ю.А., Гусев А.И., Шокальский С.П. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) (Алтае-Саянская. Лист М-45- Горно-Алтайск, (М-45): Объяснительная записка). Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 567 с.
2. Зарубина Е.Ю., Феттер Г.В. Особенности образования первичной продукции и деструкции органического вещества в горных озерах Русского Алтая // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Барнаул: ООО "Пять плюс", 2022. Т. 3. С. 236–241.
3. ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества
4. ГОСТ 27979—88 Удобрения органические. Метод определения рН
5. ГОСТ 26713—85 Удобрения органические. Метод определения влаги и сухого остатка
6. Appleby P.G., Oldfield F. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported 210Pb to the sediment // *Catena*. 1978. V. 5. № 1. P. 1–8.
7. Купцов В.М. Абсолютная геохронология донных осадков океанов и морей. М.: Наука, 1986. 261 с.
8. Страховенко В.Д., Таран О.П., Ермолаева Н.И. Геохимическая оценка сапропелевых отложений малых озер Обь-Иртышского междуречья // *Геология и геофизика*. 2014. Т. 55. № 10. С. 1466–1477.
9. Кордэ Н.В. Биостратиграфия и типология русских сапропелей. М.: Изд-во АН СССР, 1969. 219 с.
10. Страховенко В.Д. Геохимия донных отложений малых континентальных озер Сибири. Автореф. дис. ... на д.г.-м.н. Новосибирск, 2011. 307 с.
11. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н., Восель Ю.С. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер Сибири // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51. № 11. С. 1501–1514.

The rates of sedimentation in small lakes, under the conditions of nival lithogenesis in the middle and high mountains, have been studied. Average sedimentation rates in lakes range from 1.4 to 3.8 mm/y and correlate with data on sedimentation rates in small lakes in southern Western Siberia.

**Митяев М.В., Герасимова М.В., Дружкова Е.И.,
Ишкулова Т.Г.**

(Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск,
mityaev@mmbi.info)

**Твердые атмосферные осадки в г. Мурманске
Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Druzhkova E.I.,
Ishkulova T.G.**

(Murmansk marine biological institute RAS, Murmansk)

Solid atmospheric precipitation in Murmansk

Ключевые слова: твердые атмосферные осадки, аэрозоли, тяжелые металлы, биогенные элементы, органическое вещество, микропластик, г. Мурманск

В период со 2 января 2018 г. по 30 декабря 2022 г в г. Мурманске и его окрестностях были проведены комплексные исследования твердых атмосферных осадков. Получены данные о концентрации в свежевыпавшем снеге твердых нерастворимых частиц и их компонентов: тяжелых металлов, биогенных элементов и органического вещества, а также количестве полимерных частиц. Выявлена связь количества нерастворимых частиц в снеге с направлением поступления воздушных масс.

Введение. В научной литературе приведены данные о снежном покрове Кольского полуострова, в котором накапливаются и перераспределяются различные химические соединения и элементы [1]. Мурманское побережье не является исключением, здесь в свежевыпавшем снеге выявлены значительные концентрации нерастворимых частиц, микропластика, биогенных элементов и тяжелых металлов [2, 3]. Одним из центров загрязнения является г. Мурманск, поэтому целью нашей работы было изучить качественный и количественный состав вещества заключенного в свежевыпавшем снеге, выпадающем в г. Мурманске и его окрестностях, для оценки зимней атмосферы над городом.

Материалы и методы. Начиная со 2 января 2018 г. по 30 декабря 2022 г в г. Мурманске и его окрестностях были отобраны пробы свежевыпавшего снега. Снег отбирался и обрабатывался современными хорошо апробированными методами [4–6]. Всего отобрано и проанализировано 93 пробы свежевыпавшего снега, характеризующие 51 снегопад.

Концентрация нерастворимых частиц в свежевыпавшем снеге. Концентрация нерастворимых частиц в свежевыпавшем снеге в 2018–2022 гг. изменялась от 2.87 до 186 мг/л, в среднем – 9.19 ± 0.51 мг/л ($n=93$). В г. Мурманск – 13.03 ± 1.85 мг/л ($n=48$), в 10 км от города – 5.50 ± 0.45 мг/л ($n=28$), в 20 км – 4.64 ± 0.37 мг/л ($n=17$). Такая концентрация аэрозолей больше чем фоновые показатели снега Арктики и Кольского полуострова [6, 7], но меньше чем в крупных северных индустриальных центрах [8].

Как показали наблюдения, при удалении от города концентрация нерастворимых частиц в свежевыпавшем снеге снижается и в 20 км от

города она сопоставима с концентрацией аэрозолей в снеге фоновых районов северного побережья Кольского полуострова [2].

Концентрация тяжелых металлов в талой снеговой воде. Как известно, в снежном покрове Кольского полуострова концентрации Zn, Pb, Cu, значительно превышают концентрации этих элементов в фоновых районах Арктики [4, 6, 7].

Цинк. Концентрация Zn в свежес выпавшем снеге в период наблюдения изменялась от 7.94 до 118.4 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$. Среднеголетняя концентрация Zn – 60.1 \pm 9.8 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в г. Мурманске – 48.5 \pm 14.5 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в 10 км от города – 72.6 \pm 9.2 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в 20 км от города – 102.7 \pm 16.1 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$. Высокие концентрации Zn наблюдались в апрельские и мартовские снегопады 2021 г. Начиная с 2019 г., среднегодовые концентрации Zn постоянно увеличивались.

Медь. Концентрация Cu в свежес выпавшем снеге изменялась от 2.46 до 32.2 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$. Среднеголетняя концентрация Cu составила 11.0 \pm 2.6 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в г. Мурманске – 11.5 \pm 3.7 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в 10 км от города – 8.9 \pm 1.2 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в 20 км от города – 5.2 \pm 0.9 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$. Наиболее высокие концентрации Cu наблюдались в февральские снегопады 2019 г. В 2020–2021 гг. среднегодовые концентрации Cu снизились более чем в два раза по сравнению с 2018–2019 гг.

Свинец. Концентрация Pb в свежес выпавшем снеге изменялась от 0.05 до 332 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$. Среднеголетняя концентрация Pb – 3.28 \pm 0.18 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в г. Мурманске – 7.22 \pm 2.7 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в 10 км от города – 1.44 \pm 0.61 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в 20 км от города – 0.20 \pm 0.04 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$. В г. Мурманске концентрации в 1.5 раза превышают аналогичные значения Pb в крупных северных промышленных центрах, но уже в 10 км от города концентрации Pb снижаются до средних значений этого показателя по Кольскому полуострову [1, 4, 8, 9], а в 20 км от города концентрация Pb ниже, чем в фоновых районах Арктики [2, 4, 7]. В 2020–2021 гг. среднегодовые концентрации Pb значительно снизились по сравнению с 2018–2019 гг.

Кадмий. Концентрация Cd в свежес выпавшем снеге изменялась от 0.010 до 20.68 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$. Среднеголетняя концентрация Cd в г. Мурманске и его окрестностях – 0.859 \pm 0.096 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в г. Мурманске – 1.293 \pm 0.595 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в 10 км от города – 0.423 \pm 0.110 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$, в 20 км от города – 0.436 \pm 0.193 $\text{нг}\cdot\text{г}^{-1}$. Средняя концентрация Cd в г. Мурманске почти в два раза выше, чем концентрации Cd в крупных северных промышленных центрах. Хотя в 10 км от города концентрации Cd снижаются в три раза, они все равно остаются высокими. В целом в 2018–2021 гг. наблюдалось снижение концентраций Cd в свежес выпавшем снеге.

В 2018–2021 гг. в свежес выпавшем снеге в г. Мурманске и его окрестностях наблюдался рост концентраций Zn и снижение концентраций Cu, Pb и Cd. При этом концентрации Zn, Pb и Cd значительно превышали средние значения этих элементов в снежном покрове Кольского полуострова. Необходимо отметить, что при удалении от города

концентрации Cu, Pb и Cd уменьшаются, а Zn увеличиваются. В целом в г. Мурманске и его окрестностях в атмосфере содержится повышенное количество тяжелых металлов.

Концентрация биогенных элементов в свежевыпавшем снеге.

Концентрация биогенных элементов в талой снеговой воде в г. Мурманске и его окрестностях изменялась от 4.7 до 348 мкг-ат/л (в среднем – 90.7 ± 11.4 мкг-ат/л, $n=92$). В течение четырех лет наблюдалась стабильная суммарная концентрация биогенных элементов в талой снеговой воде, только в 2020 г. она значительно снизилась.

В г. Мурманске концентрация биогенных элементов в среднем составляла 85 ± 14 мкг-ат/л ($n=54$). В 10 км от города – 104 ± 23 мкг-ат/л ($n=26$), в 20 км от города – 89 ± 9 мкг-ат/л ($n=12$). В составе биогенных элементов преобладали нитраты, доля которых в среднем составляла $82 \pm 3\%$.

Концентрация нитратов в талой снеговой воде изменялась в среднем составляя 79 ± 11 мкгN/л ($n=92$). Максимальные концентрации наблюдались в 20 км от города в среднем – 102 ± 2 мкгN/л ($n=12$), а минимальные в г. Мурманске – 72 ± 10 мкгN/л ($n=54$). В 2019-2021 гг. среднегодовые концентрации нитратов постепенно увеличивались.

Концентрация нитритов в талой снеговой воде изменялась в среднем составляя 1.02 ± 0.14 мкгN/л ($n=92$). Максимальные концентрации нитритов наблюдалось в 20 км от города в среднем – 2.06 ± 0.02 мкгN/л ($n=12$), а минимальные в 10 км от города – 0.66 ± 0.12 мкгN/л ($n=24$). В целом наблюдалось постепенное увеличение среднегодовых концентраций нитритов, а в 2019 г. их концентрация была аномально высокая.

Концентрация фосфатов в талой снеговой воде в среднем составляла 4.64 ± 0.67 мкгP/л ($n=92$). Максимальные концентрации наблюдались в г. Мурманске в среднем – 5.37 ± 0.90 мкгP/л ($n=54$), а минимальные в 20 км от города – 1.74 ± 0.73 мкгP/л ($n=12$). В целом наблюдалось постепенное снижение среднегодовых концентраций фосфатов в свежевыпавшем снеге.

Концентрация минерального кремния изменялась в среднем составляя 25 ± 5 мкгSi/л ($n=92$). Максимальные концентрации наблюдались в г. Мурманске, в среднем – 28 ± 2 мкгSi/л ($n=54$), а минимальные в 20 км от города – 10 ± 1 мкгSi/л ($n=27$). В целом наблюдалось постепенное снижение среднегодовых концентраций силикатов.

Таким образом, в составе свежевыпавшего снега присутствуют биогенные элементы, по концентрации сопоставимые с содержанием этих элементов в прибрежных баренцевоморских водах в период предшествующий активной вегетации [10]. В составе биогенных элементов резко преобладают минеральные формы азота и лишь в отдельных снегопадах содержание минеральных форм кремния и фосфора больше, чем суммарное содержание соединений азота в твердых атмосферных осадках.

Следует отметить, что в г. Мурманске и его окрестностях в твердых

атмосферных осадках концентрация биогенных элементов слабо изменяется во времени, коэффициент вариации <5%. При этом начиная с 2018 г. концентрация минеральных форм N увеличивается, а P и Si уменьшается.

Концентрация органического вещества в свежеснеговом снеге. Концентрация ОВ в талой снеговой воде изменялась от 0.75 до 64.8 мг/л (в среднем 21.2 ± 2.2 мг/л, $n=92$). В г. Мурманске концентрация ОВ в среднем – 22.2 ± 3.2 мг/л ($n=54$), в 10 км от города – 21.4 ± 3.4 мг/л ($n=26$). В 20 км от города – 15.6 ± 6 мг/л ($n=12$). Следует отметить, что концентрация ОВ имеет сильную отрицательную связь с концентрацией биогенных элементов (коэффициент ранговой корреляции -0.958).

Таким образом, в составе свежеснегового снега присутствует ОВ, по концентрации превышающее летне-осеннее содержание растворенного $C_{орг}$ в водах, льду и снежном покрове Баренцева моря [11], но сопоставимое с содержанием растворенного ОВ в Белом море [12, 13].

Концентрация полимерных частиц в свежеснеговом снеге. В свежеснеговом снеге постоянно присутствовали частицы различных полимеров. Среднее количество макроволокон составляло 29 ± 4 ($n=48$) нити в литре (N/л), микроволокон – 638 ± 134 N/л ($n=48$). При удалении от города количество полимерных волокон уменьшается. Количество полимерных фрагментов в среднем – 7766 ± 1401 фрагментов в литре. При удалении от г. Мурманска количество всех полимерных частиц в свежеснеговом снеге уменьшается. При этом в 10 км от города эти различия незначительные и не достоверные, в 20 км от города они достоверны, а их среднее значение не отличается от среднего количества полимерных частиц в свежеснеговом снеге на севере Кольского полуострова [3].

Заключение. Подводя итог, отметим главное, в зимней атмосфере над г. Мурманском и его окрестностями находится повышенное количество твердых нерастворимых частиц, включая тяжелые металлы и микропластик. При удалении от города концентрация большинства элементов снижается. Важную роль в повышенных концентрациях аэрозолей играют ветры южных румбов.

Работа выполнена в рамках госзадания ММБИ РАН (№ 121091600105-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болтенко Е.Л., Евсеев А.В., Корзун А.В. и др. Химический состав снежного покрова, как показатель загрязнения на Кольском полуострове // Вестник МГУ. Серия 5. География. 1991. № 5. С. 60–64.
2. Митяев М.В., Герасимова М.В., Рыжик И.В., Ишкулова Т.Г. Нерастворимые фракции аэрозолей и тяжелых металлов в свежеснеговом снеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018 г. // Лед и снег. 2019. Т. 59. № 3. С. 307–318. doi: 10.15356/2076-6734-2019-3-386
3. Митяев М.В., Дружкова Е.И., Герасимова М.В. Частицы синтетических полимеров в свежеснеговом снеге на северо-западе Кольского полуострова

в 2020–2021 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 68. № 3. С. 308–323. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-3-308-323>

4. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.

5. 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.

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. Виноградова А.А., Полиссар А.В. Элементный состав аэрозоля в атмосфере центральной части Российской Арктики // Известия РАН. Серия «Физика атмосферы и океана». 1995. Т. 32. С. 264–274.

8. Игамбердиев В.М., Терешенков О.М., Кутыев Х.А. и др. Оценка современного состояния природной среды: Норильский промышленный район // Народное хозяйство Республики Коми. 1994. № 1. С. 54–61.

9. 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.

10. Контроль экологической ситуации в районе опытно-промышленной плантации водорослей в губе Дальнезеленецкой. Апатиты: Изд. АН СССР, 1988. 48 с.

11. Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И. Органическое вещество Баренцева моря // Арктика и Антарктика. 2007. Вып. 5(39). С. 156–174

12. 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. 313–314.

13. Система Белого моря. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. Т. 2. 784 с.

In the period from January 2, 2018 to December 30, 2022, a comprehensive study of solid atmospheric precipitation was carried out in Murmansk and its environs. Data were obtained on the concentration of solid insoluble particles and their components in freshly fallen snow: heavy metals, biogenic elements and organic.

**Митяев М.В., Герасимова М.В., Ишкулова Т.Г.,
Дружкова Е.И.**

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

Концентрация биогенных элементов в свежеснеге на севере Кольского полуострова в 2018–2021 гг.

**Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Ishkulova T.G.,
Drushkova E.I.**

(Murmansk marine biological institute RAS, Murmansk)

Concentration of biogenic elements in freshly fallen snow in the north of the Kola Peninsula in 2018–2021

Ключевые слова: биогенные элементы, нитраты, нитриты, фосфаты, минеральный кремний, свежеснег, Кольский полуостров.

С января 2018 г. по декабрь 2021 г. на севере Кольского полуострова проведено исследование концентраций биогенных элементов в свежеснеге. Средняя концентрация биогенных элементов в талой снеговой воде составляла 118 ± 6 мкг/л ($n=197$), что соответствует фоновым значениям данного показателя в снежном покрове севера Европейской территории России.

Введение. В последние десятилетия особое внимание ученых и широкой общественности приковано к атмосфере, как к источнику переноса различного рода загрязняющих веществ. Вследствие этого, исследования атмосферы Арктики активно проводятся как российскими [1–4 и др.], так и иностранными исследователями [5 и др.]. Справедливо считается, что твердые атмосферные осадки очищают атмосферу от различных аэрозолей [6]. При исследовании свежеснега можно определить содержание твердых и растворенных веществ, абсорбированных из атмосферы кристаллами снега. Особенно это актуально в высокоширотных районах Кольского полуострова, где выпадение твердых атмосферных осадков происходит 180–200 дней в году [7].

Цель: определить концентрацию биогенных элементов, заключенных в твердые атмосферные осадки, выпадавших на севере Кольского п-ова.

Материалы и методы. С января 2018 г. по декабрь 2021 г. в ходе полевых работ были отобраны пробы свежеснега на 21 станции вдоль четырех автомобильных магистралей: Мурманск–Серебрянская ГЭС (до пос. Туманный на востоке), Мурманск–Никель (до г. Полярный на северо-западе), Мурманск–Лотта (до устья р. Лотта на западе) и Мурманск–Санкт-Петербург (до истоков р. Валма – 1315 км трассы «Кола» на юге). Снег отбирался и обрабатывался современными хорошо апробированными методами [3, 8–10].

Концентрация биогенных элементов в свежеснеге.

Суммарная концентрация биогенных элементов в талой снеговой воде изменялась от 5 до 366 мкг-ат/л (в среднем 118 ± 6 мкг-ат/л, $n=197$). Фоновый диапазон концентраций биогенных элементов составлял 30-160 мкг-ат/л. В целом в течение четырех лет наблюдалось увеличение суммарной концентрации биогенных элементов в талой снеговой воде, но если в 2019 г., 2020 г. и 2021 г. достоверных отличий в концентрации биогенных элементов не было, то в 2018 г. концентрации биогенных элементов достоверно, ниже, чем в последующие годы. Суммарная концентрация биогенных элементов увеличивалась от октябрьских снегопадов к декабрьским, с последующим снижением этого показателя вплоть до апрельских (майских) снегопадов. Суммарная концентрация биогенных элементов имеет двухмодальное распределение. Первая мода 47 мкг-ат/л, отражает фоновое содержание этих элементов в снежном покрове Арктики, вторая – 263 мкг-ат/л, характеризует региональный фон, где загрязнение атмосферы происходит от местных источников. Суммарная концентрация биогенных элементов в фоновых районах севера Кольского п-ова в среднем 124 ± 10 мкг-ат/л ($n=142$): в *северо-западном* – 87 ± 9 мкг-ат/л ($n=6$), в *восточном* – 112 ± 13 мкг-ат/л ($n=64$), в *западном* – 93 ± 10 мкг-ат/л ($n=48$) в *южном* – 123 ± 17 мкг-ат/л ($n=24$). В г. Мурманск и его окрестностях концентрация биогенных элементов в среднем 107 ± 11 мкг-ат/л ($n=55$). Везде в составе биогенных элементов преобладают нитраты, доля которых не опускается ниже 30%, в фоновых районах – $90 \pm 2\%$ ($n=74$), в г Мурманске и его окрестностях – $82 \pm 3\%$.

Таблица 1. Суммарная концентрация биогенных элементов (мкг-ат/л)

Районы	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Север Кольского полуострова	106 ± 4 ($n=18$)	127 ± 8 ($n=85$)	113 ± 3 ($n=47$)	121 ± 9 ($n=47$)
Восточный район	42 ± 2 ($n=6$)	112 ± 12 ($n=33$)	142 ± 15 ($n=12$)	102 ± 16 ($n=13$)
Западный район	121 ± 17 ($n=5$)	118 ± 14 ($n=18$)	71 ± 13 ($n=14$)	94 ± 12 ($n=11$)
Южный район	105 ± 17 ($n=2$)	126 ± 27 ($n=5$)	81 ± 14 ($n=9$)	171 ± 7 ($n=8$)
г. Мурманск и его окрестности	121 ± 16 ($n=5$)	134 ± 19 ($n=29$)	103 ± 14 ($n=12$)	110 ± 18 ($n=15$)

Здесь и далее, \pm – доверительный интервал, n – количество проб

Максимальные концентрации биогенных элементов отмечались в 2019 г. и 2021 г. В восточном районе изменение средних концентраций биогенных элементов асинхронно изменению этого показателя в сопредельных районах (табл. 1). Максимальные концентрации биогенных элементов в свежеснеговом снеге в восточном районе наблюдались в 2020 г., когда в южной и западной частях территории этот показатель был низким (табл. 1).

Выявлено, что в ноябрьские, декабрьские и февральские снегопады в

свежевыпавшем снеге концентрация биогенных элементов превышает 100 мкг-ат/л, а в октябрьские, январские и майские – менее 75 мкг-ат/л (табл. 2). Концентрация нитратов изменялась от 3 до 362 мкгN/л в среднем 88 ± 5 мкгN/л ($n=135$). Максимальные концентрации наблюдались в южном районе – 111 ± 19 мкгN/л ($n=24$), а минимальные в г. Мурманске – 79 ± 9 мкгN/л ($n=37$). В целом содержание нитратов увеличивалось от 2018 г. к 2021 г. В составе биогенных элементов доля нитратов в среднем – $86 \pm 1\%$. В течение холодного периода года концентрация нитратов изменяется аналогично изменению суммарной концентрации биогенных элементов (табл. 2).

Таблица 2. Средняя концентрация биогенных элементов (мкг-ат/л)

Месяц	биогенные элементы	нитраты	нитриты	фосфаты	минеральный кремний
октябрь	72 ± 20 ($n=9$)	68 ± 21 ($n=8$)	1.62 ± 0.59 ($n=8$)	4.24 ± 0.33 ($n=8$)	11.2 ± 4.6 ($n=8$)
ноябрь	106 ± 16 ($n=22$)	73 ± 12 ($n=16$)	2.56 ± 0.79 ($n=15$)	4.17 ± 0.44 ($n=12$)	27.5 ± 8.0 ($n=12$)
декабрь	134 ± 21 ($n=19$)	131 ± 21 ($n=15$)	1.61 ± 0.35 ($n=15$)	2.19 ± 0.21 ($n=13$)	2.7 ± 0.2 ($n=13$)
январь	62 ± 10 ($n=41$)	54 ± 11 ($n=29$)	0.81 ± 0.12 ($n=27$)	4.19 ± 0.29 ($n=22$)	10.6 ± 1.4 ($n=22$)
февраль	121 ± 11 ($n=39$)	114 ± 12 ($n=27$)	0.75 ± 0.11 ($n=24$)	4.26 ± 0.39 ($n=18$)	27.7 ± 10.8 ($n=18$)
март	88 ± 12 ($n=39$)	82 ± 12 ($n=22$)	0.77 ± 0.10 ($n=22$)	4.28 ± 0.33 ($n=17$)	7.4 ± 1.3 ($n=17$)
апрель	92 ± 12 ($n=22$)	81 ± 10 ($n=16$)	1.21 ± 0.13 ($n=16$)	4.43 ± 0.22 ($n=12$)	29.5 ± 11.2 ($n=12$)
май	74 ± 10 ($n=2$)	62 ± 11 ($n=2$)	1.15 ± 0.12 ($n=2$)	2.12 ± 0.23 ($n=2$)	8.2 ± 4.2 ($n=2$)

Концентрация нитритов изменялась от 0.05 до 12.8 мкгN/л в среднем – 1.23 ± 0.12 мкгN/л ($n=129$). Максимальные концентрации нитритов наблюдалось в западном районе – 1.76 ± 0.15 мкгN/л ($n=29$), а минимальные в южном районе – 0.75 ± 0.19 мкгN/л ($n=17$). В целом содержание нитритов стабильное и только в 2019 г. наблюдалось их высокое содержание. В составе биогенных элементов доля нитритов в среднем $2.2 \pm 0.2\%$. В течение холодного периода года высокие концентрации нитритов отмечались в начале и конце зимнего периода (табл. 2). Концентрация фосфатов изменялась от 0.30 до 42.4 мкгP/л, в среднем – 4.41 ± 0.32 мкгP/л ($n=104$). Максимальные концентрации фосфатов наблюдались в восточном районе и г. Мурманске в среднем 4.72 ± 0.90 мкгP/л ($n=27$) и 4.64 ± 0.60 мкгP/л ($n=38$) соответственно, а минимальные в западном районе – 3.57 ± 0.21 мкгP/л ($n=17$). В целом содержание фосфатов уменьшалось от 2018 г. до 2021 г. В составе биогенных элементов доля фосфатов в среднем составляла $7 \pm 0.7\%$ (до 60%). В течение холодного периода года концентрация фосфатов в

талой снеговой воде постоянно и только в декабрьские и майские снегопады их содержание в два раза ниже среднего (табл. 2). Концентрация минерального кремния изменялась от 1 до 335 мкгSi/л, в среднем – 17.6 ± 2.7 мкгSi/л ($n=104$). Максимальные концентрации силикатов наблюдались в г. Мурманск – 25.0 ± 8.6 мкгSi/л ($n=38$), а минимальные в восточном районе – 10.2 ± 1.2 мкгSi/л ($n=27$). В целом содержание силикатов уменьшалось с 2018 г. до 2021 г., в составе биогенных элементов доля силикатов в среднем – $24 \pm 2\%$. В течение холодного периода года концентрация силикатов сильно изменчива, высокие концентрации чередуются с низкими (табл. 2). Среднемесячные концентрации силикатов значительно отличаются от математического ожидания среднегодового значения, что, вероятно, свидетельствует о поступлении их из нескольких источников.

Таким образом, в составе свежеснеговывающего снега присутствуют биогенные элементы, по концентрации сопоставимые с содержанием этих элементов в прибрежных баренцевоморских водах в период предшествующий активной вегетации [11]. В составе биогенных элементов резко преобладают минеральные формы N (особенно нитраты) и лишь в отдельные снегопады содержание минеральных форм Si и P больше, чем суммарное содержание соединений N в твердых атмосферных осадках. Следует отметить, что на севере Кольского п-ова в южном и юго-восточном направлении увеличивается количество нитратов и снижается содержание минерального Si. В целом при удалении от берега моря в твердых атмосферных осадках увеличивается количество нитратов, а доля остальных элементов снижается.

Выводы. Подводя итог, отметим главное. Концентрации биогенных элементов в талой снеговой воде на севере Кольского п-ова в большинстве случаев находится в фоновом диапазоне значений (для севера Европейской территории России) [12, 13], что свидетельствует об отсутствии существенного загрязнения снежного покрова минеральными формами N и P. В составе биогенных элементов резко преобладали нитраты, концентрация которых сопоставима с содержанием нитратов в снежном покрове Карелии [12]. Концентрация нитритов почти в 20 раз меньше установленного ПДК для пресноводных водоемов, используемых для аквакультуры [9], но в 2–3 раза больше, чем количество нитритов в снежном покрове Карелии [12]. Концентрация фосфатов в среднем сопоставима с количеством общего фосфора в снежном покрове Карелии и Архангельской области [12, 13], а так же с содержанием растворенного фосфора в водах северных озер [14]. Концентрация минерального кремния сопоставима с количеством силикатов в снежном покрове Карелии [12], но значительно превышает содержание растворенных силикатов в водах северных озер, что связано с высокой скоростью седиментации литофильных элементов в северных водоемах [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В. и др. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск: Изд. ТГУ, 1993. 157 с.
 2. Виноградова А.А., Полиссар А.В. Элементный состав аэрозоля в атмосфере центральной части Российской Арктики // Известия РАН. Серия «Физика атмосферы и океана». 1995. Т. 32. С. 264–274.
 3. 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.
 4. 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.
 5. 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.
 6. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
 7. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.
 8. Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: ИОАН, 1992. 199 с.
 9. Руководство по химическому анализу морских вод. Л.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
 10. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Под ред. В.В. Сапожникова. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
 11. Контроль экологической ситуации в районе опытно-промышленной плантации водорослей в губе Дальнезеленецкой. Апатиты: Изд. АН СССР, 1988. 48 с.
 12. Лозовик П.А., Потапова И.Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 1. С. 111–118.
 13. Шевченко В.П., Белоруков С.К., Булохов А.В. и др. Геохимические особенности снежного покрова водосборов Онежского, Двинского и Мезенского заливов Белого моря в феврале–марте 2020 г. // Материалы 74 Герценовских чтений. География: развитие науки и образования. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена. 2021. Т. I. С. 196–200.
 14. Лозовик П.А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. № 6. С. 583–588.
- From January 2018 to December 2021, a study of the concentrations of biogenic elements in freshly fallen snow was carried out in the north of the Kola Peninsula. The average concentration of biogenic elements in melted snow water was $118 \pm 6 \mu\text{g-at/l}$ ($n=197$), which corresponds to the background values of this indicator in the snow cover of the north of the European territory of Russia.

**Митяев М.В., Герасимова М.В., Ишкулова Т.Г.,
Друшкова Е.И.**

(Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск,
mityaev@mmbi.info)

**Поступление биогенных элементов на север Кольского
полуострова с атмосферными осадками в 2018–2021 гг.**

**Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Ishkulova T.G.,
Drushkova E.I.**

(Murmansk marine biological institute RAS, Murmansk)

**The supply of biogenic elements to the north of the Kola
Peninsula with solid atmospheric precipitation in 2018–2021**

Ключевые слова: поток биогенных элементов, нитраты, нитриты, фосфаты, минеральный кремний, свежевывающий снег, Кольский полуостров.

С января 2018 г. по декабрь 2021 г. на северо-западе Кольского полуострова проведено исследование потоков биогенных элементов на поверхность земли с твердыми атмосферными осадками. Поток биогенных элементов с твердыми атмосферными осадками на поверхность земли в среднем составлял 49 ± 3 мкг-ат/м² ($n=135$) за один снегопад. За холодный период года поступление биогенных элементов на поверхность земли севера Кольского полуострова в среднем составляло 6.8 ± 0.8 кг/км² ($n=192$), что дает основание оценить общее поступление биогенных элементов в исследованный регион в 100–120 тонн.

Введение. В последние десятилетия особое внимание ученых и широкой общественности приковано к атмосфере, как к источнику переноса различного рода загрязняющих веществ. Вследствие этого, исследования атмосферы Арктики активно проводятся как российскими [1–4 и др.], так и иностранными исследователями [5 и др.]. Справедливо считается, что твердые атмосферные осадки очищают атмосферу от различных аэрозолей [6]. При исследовании свежевывающего снега можно определить содержание твердых и растворенных веществ, абсорбированных из атмосферы кристаллами снега. Особенно это актуально в высокоширотных районах Кольского полуострова, где выпадение твердых атмосферных осадков происходит 180–200 дней в году [7].

Цель: определить количество биогенных элементов, заключенных в твердые атмосферные осадки, выпадавших на севере Кольского п-ова.

Материалы и методы. С января 2018 г. по декабрь 2021 г. в ходе полевых работ на севере Кольского п-ова были отобраны пробы свежевывающего снега на 21 станции вдоль четырех автомобильных магистралей: Мурманск–Серебрянская ГЭС (до пос. Туманный на востоке), Мурманск–Никель (до г. Полярный на северо-западе), Мурманск–Лотта (до устья р. Лотта на западе) и Мурманск–Санкт-Петербург (до истоков р.

Валма – 1315 км трассы «Кола» на юге). Снег отбирался и обрабатывался современными хорошо апробированными методами [3, 8–10]. Расчет потока биогенных элементов проводился на один квадратный метр за один снегопад [11].

По результатам исследований снега на севере Кольского п-ова выделено четыре фоновых и два импактных района [11].

Поток биогенных элементов в 2018–2021 гг. изменялся от 2 до 196 мкг-ат/м² за снегопад (в среднем 49±3 мкг-ат/м², n=135). Фоновый диапазон потока 25–75 мкг-ат/м². В фоновых районах значение потока биогенных элементов в среднем – 54±4 мкг-ат/м² (n=97) (в *западном* – 43±5 мкг-ат/м², n=35, в *северо-западном* – 31±3 мкг-ат/м², n=6, в *восточном* – 54±6 мкг-ат/м², n=40, в *южном* – 73±9 мкг-ат/м², n=23). В г. Мурманске и его окрестностях – 45±6 мкг-ат/м² (n=38). В составе биогенных элементов постоянно преобладали нитраты в среднем – 88±2% (фоновые районы) и 82±2% (г. Мурманск и его окрестности).

Таблица 1. Средние значения потоков биогенных элементов (мкг-ат/м²)

Районы	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Север Кольского полуострова	47±10 (n=10)	52±5 (n=33)	57±6 (n=45)	62±6 (n=47)
Восточный район	26±3 (n=3)	52±12 (n=13)	88±16 (n=11)	49±8 (n=13)
Западный район	49±12 (n=2)	44±14 (n=9)	37±6 (n=13)	48±8 (n=11)
Южный район	83±19 (n=2)	76±18 (n=3)	46±11 (n=9)	92±10 (n=8)
г. Мурманск и его окрестности	69±13 (n=3)	26±10 (n=8)	47±8 (n=12)	57±14 (n=15)

В целом от 2018 г. до 2021 г. происходило увеличение значений потока биогенных элементов с твердыми атмосферными осадками (табл. 1). При этом, отмечается мозаичность потока биогенных элементов в регионе без четко выраженных закономерностей. Так наиболее синхронно в 2018–2021 гг. происходили изменения потока биогенных элементов в южном и западном районах, а в восточном районе изменение этого показателя было противоположным относительно этих двух районов (табл. 1).

В течение четырех лет поступление биогенных элементов на поверхность земли менее 50 мкг-ат/м² за один снегопад наблюдалось в октябрьские, январские и майские снегопады, в февральские снегопады выпадало максимальное количество биогенных элементов (табл. 2).

Поток нитратов в среднем составлял 46±3 мкгN/м² (n=135). Максимальные значения потока наблюдались в южном районе (62±8 мкгN/м², n=21), а минимальные на северо-западе территории (37±4 мкгN/м², n=6). В составе биогенных элементов доля нитратов в среднем – 87±1%. Выявлено, что поток нитратов менее 30 мкгN/м² наблюдается в октябрьские, январские и майские снегопады (табл. 2).

Таблица 2. Поток биогенных элементов за один снегопад (мкг/м²)

Месяц	биогенные элементы	нитраты	нитриты	фосфаты	минеральный кремний
октябрь	33±7 (n=9)	28±8 (n=9)	1.07±0.28 (n=9)	3.05±0.71 (n=3)	5.58±0.36 (n=7)
ноябрь	57±11 (n=14)	41±8 (n=14)	1.32±0.20 (n=12)	3.67±0.64 (n=12)	6.72±0.93 (n=16)
декабрь	61±9 (n=20)	60±9 (n=20)	0.92±0.10 (n=14)	1.18±0.31 (n=9)	1.34±0.50 (n=6)
январь	34±8 (n=25)	29±8 (n=24)	0.50±0.08 (n=16)	1.87±0.34 (n=17)	4.36±0.67 (n=18)
февраль	72±7 (n=26)	65±8 (n=26)	0.28±0.04 (n=30)	2.08±0.32 (n=25)	6.83±0.43 (n=14)
март	57±7 (n=25)	49±8 (n=22)	0.50±0.09 (n=23)	2.79±0.58 (n=14)	4.64±0.42 (n=9)
апрель	62±13 (n=14)	48±10 (n=13)	0.71±0.13 (n=14)	3.03±0.47 (n=13)	6.68±0.52 (n=6)
май	30±3 (n=2)	25±4 (n=2)	0.96±0.32 (n=2)	1.62±0.34 (n=2)	6.28±0.50 (n=2)

Поток нитритов в среднем составляя 0.63 ± 0.06 мкгN/м² (n=120). Максимальный поток нитритов отмечен в западном районе (0.84 ± 0.20 мкгN/м², n=29), минимальный в южном (0.40 ± 0.09 мкгN/м², n=17). В целом поток нитритов величина достаточно постоянная и только в 2019 г. наблюдалось резкое увеличение количества нитритов поступающих на поверхность земли. В составе потока биогенных элементов доля нитритов в среднем – $2.6\pm 0.3\%$, в январские и февральские снегопады она менее 0.1%. В целом от начала холодного сезона года до февральских снегопадов наблюдалось снижение значений потока нитритов с последующим увеличением значений этого показателя вплоть до майских снегопадов (табл. 2).

Поток фосфатов в среднем 2.32 ± 0.20 мкгP/м² (n=104). В целом поток фосфатов уменьшался с 2018 г. до 2021 г. Максимальные значения потока фосфатов наблюдались в западном и северо-западном районах (2.85 ± 0.28 мкгP/м², n=18 и 2.58 ± 0.22 мкгP/м², n=6, соответственно), минимальные в восточном районе (2.11 ± 0.13 мкгP/м², n=28). В составе потока биогенных элементов доля фосфатов в среднем – $8\pm 1\%$ (до 90%). В целом с декабря по апрель поступление фосфатов увеличивалось (табл. 2).

Поток минерального кремния в среднем – 7.78 ± 1.12 мкгSi/м² (n=99). Максимальные значения потока наблюдались в г. Мурманске и южном районе (10.45 ± 0.74 мкгSi/м², n=38 и 10.14 ± 0.70 мкгSi/м², n=13, соответственно), минимальные – в восточном районе (4.70 ± 0.61 мкгSi/м², n=31). В целом поток силикатов уменьшался с 2018 г. до 2021 г. В составе потока биогенных элементов доля минерального кремния в среднем – $27\pm 2\%$ (n=99). Низкая доля силикатов менее 20% наблюдалась в восточном районе. В течение холодного периода года поток силикатов достаточно

постоянен, и только в декабрьские снегопады его значения сильно понижены (табл. 2).

Подводя итог, следует отметить, что в составе биогенных элементов преобладают минеральные формы N (особенно нитраты) и лишь в отдельные снегопады поступление минеральных форм P и Si превышает суммарное выпадение соединений N на поверхность земли. В целом можно отметить, что изменение общего количества биогенных элементов поступающих на поверхность земли происходит в двух направлениях: первое – от береговой линии вглубь Кольского п-ова, второе – с северо-запада на юго-восток. В обоих направлениях происходит увеличение количества биогенных элементов поступающих с твердыми атмосферными осадками.

Обсуждение результатов и выводы. Опираясь на полученные данные и известное количество снегопадов в регионе, можно оценить общее количество биогенных элементов поступающих на поверхность земли с твердыми атмосферными осадками. Так на севере Кольского полуострова холодная часть года, в течение которой преимущественно выпадают твердые атмосферные осадки, начинается во второй декаде октября (первый снег) и заканчивается в первой декаде мая, продолжительность снежного сезона в 2018-2021 гг. изменялась от 180 до 200 суток (в среднем 192 ± 6 суток). За один зимний период на севере Кольского полуострова в среднем наблюдалось 113 ± 10 снегопадов ($n=6000$), в фоновых районах – 96 ± 6 ($n=4100$), в г. Мурманске – 143 ± 10 ($n=1900$).

За весь холодный период года на квадратный километр региона поступало от 3 до 11 кг биогенных элементов (6.8 ± 0.8 кг, $n=192$). Следовательно, на изученную часть территории поступление биогенных элементов за зимний сезон можно оценить (районы): восточный 34 ± 8 тонн, западный – 20 ± 3 тонн, южный – 27 ± 6 тонн, г. Мурманск – 21 ± 4 тонн. Из них 75–85% нитраты; 9–18% – силикаты; 3–6% – фосфаты; 1–2% – нитриты.

Следовательно, за холодный период года на север Кольского п-ова с твердыми атмосферными осадками поступает 100-120 тонн биогенных элементов, которые в весеннее снеготаянье будут оказывать влияние на химический состав поверхностных вод [12].

Подводя итог проведенных исследований, отметим главное:

1. поток биогенных элементов со свежеснежившим снегом в среднем составляет 49 ± 3 мкг-ат/м², за один снегопад ($n=135$), нитратов – 46 ± 3 мкгN/м² ($n=135$), нитритов – 0.63 ± 0.06 мкгN/м² ($n=120$), фосфатов – 2.32 ± 0.20 мкгP/м² ($n=104$), силикатов – 7.78 ± 1.12 мкгSi/м² ($n=99$);
2. за холодный период года поступление биогенных элементов на поверхность земли севера Кольского п-ова в среднем – 6.8 ± 0.8 кг/км² ($n=192$), что дает основание оценить общее поступление биогенных элементов в регион в 100–120 тонн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В. и др. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск: Изд. ТГУ, 1993. 157 с.
2. Виноградова А.А., Полиссар А.В. Элементный состав аэрозоля в атмосфере центральной части Российской Арктики // Известия РАН. Серия «Физика атмосферы и океана». 1995. Т. 32. С. 264–274.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
7. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.
8. Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: ИОАН, 1992. 199 с.
9. Руководство по химическому анализу морских вод. Л.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
10. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Под ред. В.В. Сапожникова. М.: Изд-во ВНИРО, 2003, 202 с.
11. Митяев М.В., Герасимова М.В., Рыжик И.В., Ишкулова Т.Г. Нерастворимые фракции аэрозолей и тяжелых металлов в свежевывавшем снеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018 г. // Лед и снег. 2019. Т. 59. № 3. С. 307–318. doi: 10.15356/2076-6734-2019-3-386
12. Лозовик П.А., Потапова И.Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 1. С. 111–118.

From January 2018 to December 2021, in the north-west of the Kola Peninsula, a study was made of the fluxes of biogenic elements to the earth's surface with solid atmospheric precipitation. The flow of biogenic elements with solid atmospheric precipitation to the earth's surface averaged $49 \pm 3 \mu\text{g-at/m}^2$ ($n=135$) per one snowfall. During the cold period of the year, the input of biogenic elements to the surface of the earth in the north of the Kola Peninsula averaged $6.8 \pm 0.8 \text{ kg/km}^2$ ($n=192$), which gives grounds to estimate the total supply of nutrients to the studied region at 100–120 tons.

**Новигатский А.Н.¹, Игнатъев С.Б.², Саввичев А.С.^{2,3},
Стародымова Д.П.¹, Шевченко В.П.¹**

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail:

povigatsky@ocean.ru; ²ГБОУ Школа № 1553 имени В.И. Вернадского, Москва;

³Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва)

**Микроэлементный состав лишайников *Usnea dasopoga* в
Кенозерском национальном парке (водосбор Белого моря) и
в Московской области (сравнительная характеристика)**

**Novigatsky A.N.¹, Ignatiev S.B.², Savvichev A.S.^{2,3},
Starodymova D.P.¹, Shevchenko V.P.¹**

(¹Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow; ²Vernadsky School No. 1553, Moscow; ³Vinogradsky Institute of Microbiology, Research Centre of Biotechnology RAS, Moscow)

**Trace element composition of lichens *Usnea dasopoga* in
Kenezersky National Park (White Sea drainage area) and in the
Moscow region (comparative characteristics)**

Ключевые слова: Тяжелые металлы, лишайники, атмосферный перенос

Проведены исследования микроэлементного состава лишайников *Usnea dasopoga* в Кенозерском национальном парке (водосбор Белого моря) и в Московской области. Повышенные содержания в лишайниках таких токсичных тяжелых металлов как Pb, Sb, Ni, Cr указывают на существующую роль дальнего атмосферного переноса от антропогенных источников. В лишайниках Московской области (г. Ивантеевка) концентрации Pb, Sb, Ni, Cr в два раза превышают концентрации этих металлов в Кенозерском национальном парке, за счет того, что источники антропогенной нагрузки находятся ближе.

Введение. Тяжелые металлы, распространяясь и накапливаясь в окружающей нас среде, ведут к ее загрязнению, кроме того они являются токсичными для живых организмов [1]. Воздушный (эоловый) перенос тяжелых металлов зачастую является самым быстрым и относительно незаметным, и из-за этого наиболее опасным [2]. Лишайники, не обладая корневой системой, получают питание преимущественно из атмосферы, поэтому исследование обогащения лишайников микроэлементами позволяет оценить интенсивность выпадения аэрозольных частиц в течение срока жизни лишайника [1, 3–7]. В лицее ГБОУ Школа № 1553 имени В.И. Вернадского в течение многих лет школьники на биогеохимической специализации проводят исследования накопления тяжелых металлов лишайниками [8].

Материалы и методы. Отбор кустистых эпифитных лишайников рода *Usnea* (*Usnea*) выполнялся в Кенозерском национальном парке (КНП)

Архангельской области и в окрестностях г. Ивантеевка Московской области (рис. 1) на хвойных деревьях в 2 м от поверхности почвы (таблица). В Москве лишайники были высушены в сушильном шкафу при температуре 40–50°C, очищены от примесей с помощью пинцета и растерты в планетарной монмельнице FRITSCH pulverisette. Подготовленные пробы были проанализированы методом масс-спектрометрии и атомной эмиссии с индуктивно-связанной плазмой [9].

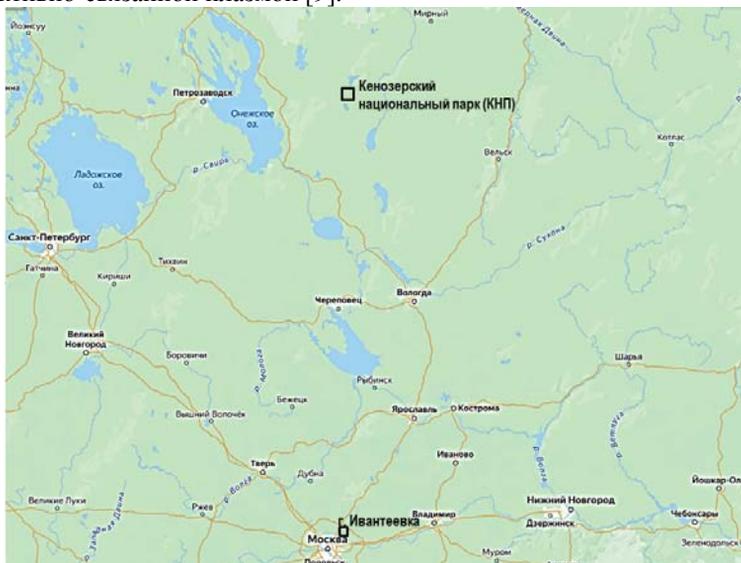


Рисунок 1. Схема расположения районов исследования.

Таблица. Исследуемые пробы эпифитных лишайников в Кенезерском национальном парке (КНП) и в окрестностях г. Ивантеевка.

Дата отбора	Место отбора	Координаты с.ш./в.д.	Вид
Февраль, 2023	КНП, берег оз. Большое	61.924722/ 38.113201	<i>Usnea dasopoga</i>
Февраль, 2023	КНП, берег оз. Кедрово	61.903247/ 37.953578	<i>Usnea dasopoga</i>
Февраль, 2023	КНП, Свят. Роща, дер. Думино	61.883534/ 38.023495	<i>Usnea dasopoga, Bryoria capillaris</i>
Сентябрь, 2022	Окрестности г. Ивантеевка	55.988294/ 37.890447	<i>Usnea dasopoga</i>

Результаты и обсуждение. Для выявления вклада источника формирования микроэлементного состава лишайников был рассчитан коэффициент обогащения (КО) относительно среднего состава верхней части континентальной земной коры (з.к.) по формуле:

$$КО = \frac{(\text{Эл}/\text{Ti})_{\text{проба}}}{(\text{Эл}/\text{Ti})_{\text{з.к.}}},$$

где Эл и Ti – содержание химического элемента и титана в пробе и в верхней части континентальной земной коры [10]. Значения КО >10, свидетельствуют о дополнительном источнике элемента, отличном по составу от литогенного. На суше таким источником обычно является антропогенный. Коэффициенты обогащения лишайников такими элементами, как Al, Fe, Na, Li, Ga, Sc, Co, Zr, Cs, Ag, La, Nb, Y, Ta, Tl, W ниже 10, что свидетельствует о том, что основной источник этих элементов – литогенный, т.е. характерный для поверхности суши, или почвенного покрова (рисунок).

Коэффициенты обогащения лишайников биогенными элементами, такими как P, S, K, Ca существенно выше 10, что естественно для биологических объектов, растущих в разнообразной и обильной природной среде (рисунок).

Обогащение лишайников Ba, Mg, Mn, Cu, Zn, Sr, Bi, Rb может быть объяснено тем, что эти элементы, являясь биофильными, лучше усваиваются лишайниками (рисунок).

Высокие содержания в лишайниках токсичных тяжелых металлов, таких как Pb, Sb, Ni, Cr (рис. 2), свидетельствует об их атмосферном переносе от антропогенных источников [11]. Необходимо отметить, что в Московской области (г. Ивантеевка) концентрации Pb, Sb, Ni, Cr в два раза превышают концентрации этих металлов в Кенозерском национальном парке. В КНП их поступление в основном происходит за счет атмосферного переноса от удаленных антропогенных источников, а в Московской области, где источники антропогенной нагрузки находятся ближе, их роль в загрязнении атмосферы возрастает, что существенно влияет на качество атмосферного воздуха.

Выводы. Полученные высокие содержания в лишайниках таких токсичных тяжелых металлов как Pb, Sb, Ni, Cr, указывают на существующую роль дальнего атмосферного переноса от антропогенных источников. В лишайниках Московской области (г. Ивантеевка) концентрации Pb, Sb, Ni, Cr в два раза превышают концентрации этих металлов в Кенозерском национальном парке, за счет того, что источники антропогенной нагрузки находятся ближе, их роль в загрязнении атмосферы возрастает.

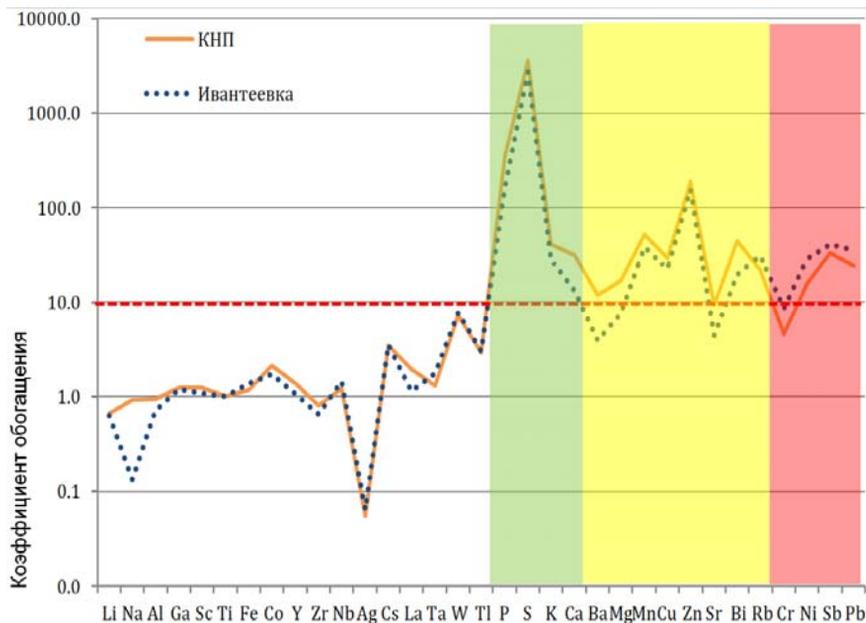


Рисунок 2. Коэффициенты обогащения (КО) лишайников, отобранных в г. Ивантеевка Московской области и в Кенозерском национальном парке (КНП) Архангельской области, относительно верхней части континентальной земной коры [5].

Благодарности. Авторы выражают признательность М.П. Журбенко за определение видового состава лишайников, а так же В.К. Карандашеву за выполнение элементного анализа, администрации Кенозерского национального парка и администрации школы № 1553 имени В.И. Вернадского.

Финансирование. Обработка материала выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 22-77-10074. В рамках Государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2021-0016 осуществлялась интерпретация полученных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баргальи Р. Биохимия наземных растений: Экофизиологический подход к биомониторингу и биовосстановлению. М.: ГЕОС, 2005. 456 с.
2. Шевченко В.П., Виноградова А.А., Лисицын А.П., Новигатский А.Н., Горюнова Н.В. Атмосферные аэрозоли как источник осадочного вещества и загрязнений в Северном Ледовитом океане // Система моря Лаптевых и

прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. М.: Изд-во Московского университета, 2009. С. 150–172.

3. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир, 2002. 336 с.

4. Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А., Гордеев В.В., Горюнова Н.В., Демина Л.Л., Замбер Н.С., Коробов В.Б., Котова Е.И., Кузнецов О.Л., Макаров В.И., Новигатский А.Н., Покровский О.С., Попова С.А., Романенко Ф.А., Стародымова Д.П., Субетто Д.А., Филиппов А.С. Эоловый материал в природных архивах // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 70–107.

5. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2016. 300 с.

6. Василевич М.И., Василевич Р.С. Особенности накопления тяжелых металлов эпифитными лишайниками в таежной зоне фоновых территорий Европейского северо-востока России // Экология. 2018. № 1. С. 17–23.

7. Евсеев А.В., Душкова Д.О., Горецкая А.Г. Биомониторинг аэротехногенного загрязнения экосистем севера России тяжелыми металлами // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 23–33.

8. Шевченко В.П., Саввичев А.С., Болотов И.Н., Стародымова Д.П., Клювиткин А.А. Накопление тяжелых металлов кустистыми эпифитными лишайниками водосбора Онежского залива Белого моря // Труды XI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022». Т. I (IV). Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2022. С. 306–309.

9. Карандашев В.К., Хвостиков В.А., Носенко С.В., Бурмий Ж.П. Использование высокообогащенных стабильных изотопов в массовом анализе образцов горных пород, грунтов, почв и донных отложений методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2016. Т. 82. № 7. С. 6–15.

10. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. 2003. V. 3. P. 1–63.

11. Виноградова А.А., Котова Е.И., Топчая В.Ю. Атмосферный перенос тяжелых металлов в районы севера европейской территории России // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 108–116.

Studies of the trace element composition of the lichen *Usnea dasopoga* were carried out in the Kenozersky National Park (the White Sea drainage basin) and in the Moscow region. Elevated contents of such toxic heavy metals as Pb, Sb, Ni, Cr in lichens indicate the existing role of long-range atmospheric transport from anthropogenic sources. In the lichens of the Moscow region (Ivanteevka), the concentrations of Pb, Sb, Ni, Cr are twice as high as the concentrations of these metals in the Kenozersky National Park, due to the fact that the sources of anthropogenic load are closer.

Овдина Е.А., Страховенко В.Д., Малов Г.И., Малов В.И., Солотчина Э.П.

(Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, e-mail: ovdina@igm.nsc.ru)

Новые данные о минеральном и геохимическом составе донных отложений содовых озер Танатарской группы (Кулундинская равнина, Россия)

Ovdina E.A., Strakhovenko V.D., Malov G.I., Malov V.I., Solotchina E.P.

(V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Novosibirsk)

New data on the mineral and geochemical composition of bottom sediments in the Soda Tanatar lakes group (Kulunda plain, Russia)

Ключевые слова: малые содовые озера, донные отложения, высокомагнезиальные карбонаты, Танатарская группа озер, Кулундинская равнина

Основная фаза минерального состава донных отложений модельной системы четырех малых содовых озер Танатарской группы состоит из промежуточного и высоко-Mg кальцита, Са-избыточного доломита, примеси магнезита. Установлено изменение гидрологического режима водосборного бассейна озер – произошло полное пересыхание сезонной р. Рублевой.

Малые озера представляют собой открытые системы, в которых существует четкая взаимосвязь между седиментационным процессом и условиями окружающей среды, что отражается на геохимическом и минеральном составе донных отложений. Это делает малые озера информативными и важными объектами исследований [1–8].

Одним из примеров изучения малых озер на протяжении многих лет являются озера Кулундинской равнины (юг Западной Сибири) [3–5].

Страховым Н.М. [5] были получены первые данные о карбонатном парагенезисе (аутигенный кальцит, доломит и брусит(?)) в отложениях содовых озер Танатарской группы (модельная система озер Демкино—Рублево—Танатар-4—Танатар-6) [5]. Наряду с карбонатами в основной фазе донных отложений, по расчетным данным, им были описаны Mg-силикаты типа сепиолит-керолит (от 3–4 до 22–24% от общего количества осадка), опираясь на определение макро- и микроскопическими наблюдениями слюдяного серицитоподобного минерала в донных отложениях, а также установлением на термограммах ярко выраженного пика, характерного для минералов типа гидрослюд [5].

Целью данной работы является выявление особенностей минерального

и геохимического состава донных отложений в модельных озерах Танатарской группы (Демкино—Рублево—Танатар-4—Танатар-6) и оценка изменений окружающей среды на территории водосбора за последние ~100 лет.

Объектом исследования является система малых озер (площадью <10 км², глубиной ≤5 м): Танатар-6, Танатар-4, Демкино и Рублево. Донные отложения представлены массивным, мелкокомковатым, ореховокомковатым сапропелем с остатками растительности и часто с запахом сероводорода.

Отбор проб донных отложений проводился в центре озера с резиновой лодки с помощью цилиндрического пробоотборника (d=8,2 см, L=120 см) с вакуумным затвором (НПО "Тайфун", Россия). Физические и химические показатели воды фиксировали *in situ* (рН, общая минерализация воды) (Anion-7000, Biomer, Новосибирск, Россия).

Аналитические исследования проб выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии (Solaar M6, Thermo Electron, США) определялись валовые концентрации макро- и микроэлементов. Также макроэлементный состав определен методом рентгенофлуоресцентного анализа (ARL-9900-XP, Applied Research Laboratories, США). Методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) анализировался минеральный состав проб донных отложений на дифрактометре ARLX'TRA (излучение CuKα) (Thermo Fisher Scientific (Ecublens) SARL, Швейцария). Дифференциальная диагностика низкотемпературных карбонатов кальцит-доломитового ряда детально рассмотрена в работе [2]. Изучение морфологии, фазового и химического состава образцов проводилось с использованием сканирующего электронного микроскопа «MIRA 3 Tescan» (Tescan, Чехия), снабженного энергетическим спектрометром «Oxford» (Oxford Instruments, Великобритания).

Состав современных озерных вод изменяется от HCO₃-Mg-Na (озера Рублево и Демкино) через HCO₃-Na (Танатар-4) до HCO₃-Cl-Na (Танатар-6). Сопоставление данных Никольской Ю.П. [4] с данными авторов на 2015 г. показывает, что значение общей минерализации во всех озерах за 66 лет выросло в 2–4 раза, содержание SO₄²⁻ и Cl⁻ понизилось в разной степени.

Сопоставление средневзвешенных концентраций элементов в донных отложениях озер, нормированных на концентрации элементов в верхней континентальной коре (ВКК) [9] показало во всех озерах повышенные концентрации Ca, Mg и Sr (рис. 1), что связано с накоплением в донных отложениях аутигенных карбонатов, а обеднение другими микроэлементами – с эффектом разубоживания отложений карбонатами и органическим веществом, что также было ранее установлено для территории юга Западной Сибири [6].

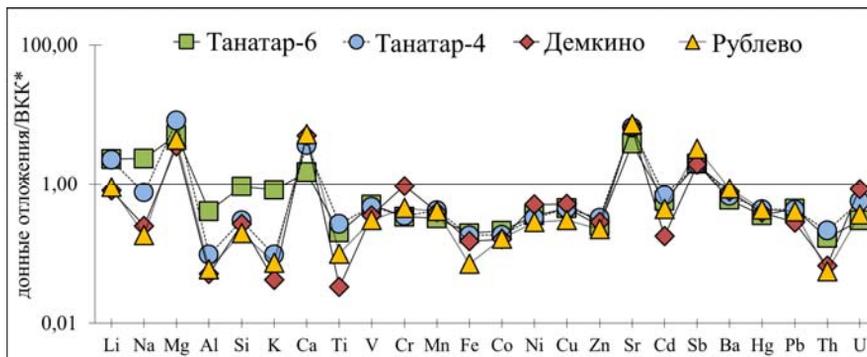


Рисунок 1. Мультиэлементный спектр изученных элементов (усредненные значения) в донных отложениях рассматриваемых озер Танатарской группы, нормированные к концентрациям элементов в верхней континентальной коре (ВКК*) по [9].

В верхнем горизонте (0–20 см) донных отложений во всех исследованных озерах наблюдается уменьшение Ca/Mg соотношения из-за понижения содержания Mg, в то время как Ca является \pm постоянным. Одним из возможных источников Mg являлась р. Рублевая (сезонная, весенняя), с устьем в оз. Демкино [3–5]. Предположительно, речная вода наследовала состав вод озер Бычье и Золотое (Ca/Mg=0.2), где находился ее исток. В настоящее время р. Рублевая не установлена ни фактически, ни по спутниковым снимкам.

Терригенная составляющая донных отложений представлена в виде остроугольных обломочных форм и хорошо окатанных зерен эолового происхождения [1, 6, 7]. Для уточнения аутигенной составляющей донных отложений мы использовали дополнительное моделирование экспериментальных рентгеновских профилей в диапазоне пиков d_{104} (рис. 2). Моделирование отразило наши предыдущие результаты и подтвердило отсутствие Mg-силикатов в основной фазе современных донных отложений исследованных озер.

Основная фаза минерального состава донных отложений представлена аутигенными промежуточным Mg-кальцитом, высоко-Mg кальцитом и Ca-избыточным доломитом (рис. 2). Этот аспект (и небольшая примесь магнезита) объясняет избыток MgO в расчетах минерального состава донных отложений по [5], т.к. расчеты были на стехиометрический кальцит и доломит, без примесей.

Содержание SiO_2 и Al_2O_3 в донных отложениях малых озер юга Западной Сибири соответствует составу терригенной составляющей (кварц, полевые шпаты, слюды). Кроме того, содержание SiO_2 контролируется присутствием значительного количества биогенного SiO_2 в сапропелях.

Биогенный ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) обычно представлен панцирями диатомовых водорослей и остатков макрофитов. Этим объясняется избыток SiO_2 , полученный в ходе расчетов по [5].

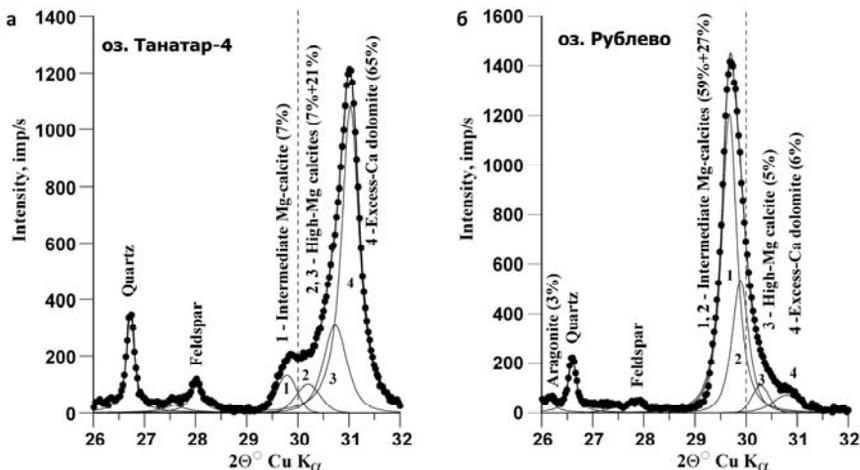


Рисунок 2. Результаты экспериментальных рентгеновских (XRD) профилей в диапазоне пиков d_{104} : (a) – оз. Танатар-4, (b) – оз. Рублево.

Выводы:

(1) За последние 100 лет в районе водосбора выявлено изменение гидрологического режима питания озер (пересыхание р. Рублевой, питающей исследуемые озера). Это изменило характер накопления Mg в верхних горизонтах донных отложений, а также произошло увеличение общей минерализации воды в озерах в 2–4 раза;

(2) По всей глубине ядра минеральный состав аутигенной составляющей неизменен и представлен высокомагнезиальными карбонатами и Ca-избыточным доломитом. Установлено, что Mg-содержащие минералы представлены карбонатами, в то время как Mg-силикаты типа сепиолит-керолит в донных отложениях не установлены;

(3) Полученные результаты могут быть в дальнейшем использованы для детальных комплексных палеореконструкций климата.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Strakhovenko V.D., Ovdina E.A., Malov G.I., Yermolaeva N.I., Zarubina

E.Y., Taran O.P., Boltenkov V.V. Genesis of organomineral deposits in lakes of the central part of the Baraba Lowland (south of West Siberia) // *Russian Geology and Geophysics*. 2019. № 60. P. 978–989

2. Solotchina E.P., Solotchin P.A. Composition and structure of low-temperature natural carbonates of the calcite-dolomite series // *Journal of Structural Chemistry*. 2014. № 55. P. 779–785.

3. Макаров С.З. Материалы к физико-химическому изучению соляных озер Кулундинской степи // *Тр. СОПС АН СССР. Кулундинская энциклопедия АН СССР 1931-1933 гг. Сер. Сибирь. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1935. Вып. 9. Ч. II. 240 с.*

4. Никольская Ю.П. Процессы солеобразования в озерах и водах Кулундинской степи. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1961. 181 с.

5. Страхов Н.М. Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 372 с. (Тр. ИГН АН СССР; Вып. 124. Геол. сер. № 45)

6. Ovdina E., Strakhovenko V., Solotchina E. Authigenic Carbonates in the Water–Biota–Bottom Sediments' System of Small Lakes (South of Western Siberia) // *Minerals*. 2020. № 10(6). Art. 552.

7. Гавшин В.М., Щербов Б.Л., Мельгунов М.С., Страховенко В.Д., Бобров В.А., Степин А.С., Цибульчик В.М. ¹³⁷Cs и ²¹⁰Pb как показатели динамики аккумуляции тяжелых металлов в озерных отложениях Степного Алтая // *Геология и геофизика*. 1999. Т. 40. С. 1331–1341.

8. Strakhovenko, V.D., Shcherbov B.L., Malikova I.N., Vosel' Yu.S. The regularities of distribution of radionuclides and rare-earth elements in bottom sediments of Siberian lakes // *Russian Geology and Geophysics*. 2010. V. 51. № 11. P. 1167–1178.

9. Wedepohl, K.H. The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. V. 59. № 7. P. 1217–1232.

The main phase of the bottom sediments' mineral composition of the model system of the four small Tanatar soda lakes consists of intermediate and high-Mg calcite, Ca-excess dolomite, and an admixture of magnesite. A modification in the hydrological regime of the lake's catchment area has been implemented, as the Rublevaya River (seasonal) has completely dried up.

Орешкин В.Н.

(Институт фундаментальных проблем биологии РАН ФИЦ ПНЦБИ РАН г. Пущино, эл. почта: ski.nikolaev@yandex.ru)

Особенности и новые возможности электротермического атомно-абсорбционного анализа при определении следов элементов в водах, взвесьях, донных осадках

Oreshkin V.N.

(Institute of Fundamental Problems of Biology RAS FRC PSCBR RAS, Puschino, e-mail: ski.nikolaev@yandex.ru)

Features and new possibilities of electrothermal atomic absorption analysis in determining traces of elements in waters, suspended matter, bottom sediments

Ключевые слова: электротермический атомно-абсорбционный анализ, тигельный атомизатор, твердые образцы, определение следов элементов.

При электротермическом атомно-абсорбционном анализе твердых концентратов воды, взвеси и донных отложений предложен отличительный подход, особенностью которого является проведение стадий разделения компонентов матрицы - концентрации определяемых элементов непосредственно в рабочем объеме двух/трехступенчатых графитовых тигельных атомизаторов.

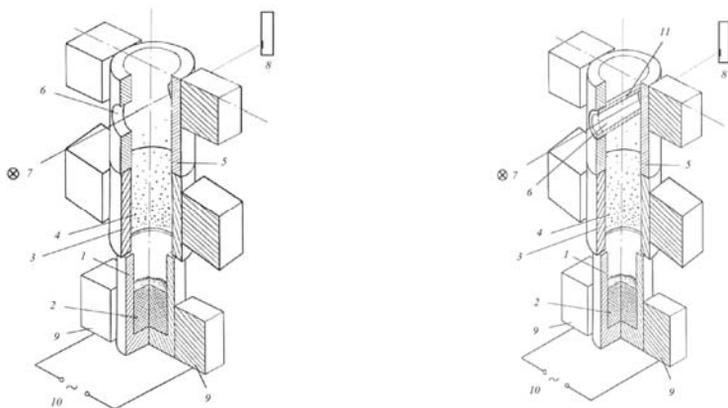
Для решения актуальных геолого-геохимических и экологических задач в морских и речных водах, взвесьях, донных осадках важно определять редкие и рассеянные элементы (Ag, Bi, Cd, Hg, Pb, In, Tl и др.) в широком диапазоне ультрамалых (докларковых) концентраций [1, 2]. Однако, количественное определение элементов в природных средах сложного органоминерального состава остается трудной задачей, несмотря на значительный прогресс в разработке высокочувствительных и широко используемых в настоящее время методов анализа (атомно-абсорбционная и атомно-флуоресцентная спектрометрия с электротермической атомизацией, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно — связанной плазмой, масс — спектрометрия с индуктивно связанной плазмой). Для уменьшения влияния матричного состава образцов и улучшения метрологических характеристик определения элементов используемые подходы и методики обычно включают этап химической пробоподготовки с растворением твердых фаз, концентрированием аналитов из вод и растворов и анализом растворов на заключительной стадии. Этап пробоподготовки является трудоемким и продолжительным и, что наиболее существенно, на стадиях этого этапа велики трудноконтролируемые риски внесения загрязнений или потерь определяемых элементов (реактивы, посуда, инструменты и др.). Проблемы, возникающие при определении следовых количеств элементов, признаны давно, но, вероятно, недооцениваются в практике серийных

анализов. Нередко использование результатов, полученных с применением различных методов и методик для целей геохимии и экологии, затруднено. Необходимо и упрощать пробоподготовку и совершенствовать технологии "чистого" концентрирования элементов без применения химических реагентов и посуды, поскольку возможности прямого определения пока еще ограничены.

Немалый опыт за несколько десятилетий накоплен в электротермическом атомно-абсорбционном анализе [4, 5]. Этот метод применяют не только для анализа растворов, но и для прямого определения элементов в твердых концентратах вод, взвесьях, донных осадках и других объектах сложного состава. Навески образцов или части мембранного фильтра с морской и речной взвесью помещают в графитовые электротермические атомизаторы без добавления реагентов-модификаторов. Следовательно, достигается значительное упрощение пробоподготовки. Задачу устранения влияния состава твердых образцов решают с применением различных способов (выбор которых невелик): оптимизируют режимы термического разложения - озоления и атомизации, испаряют элементы в изотермическую аналитическую зону атомизатора, применяют способ отделения матричных компонентов — концентрирования элементов фракционным испарением образца с конденсацией паров для последующего анализа конденсата, а также способ фильтрации паров через пористые графитовые диафрагмы или стенки атомизатора. Эти два способа, как показали эксперименты, особенно эффективны в АА анализе концентратов вод, взвесей и донных осадков, характеризующихся интенсивным испарением основы, выбросом крупных и мелких аэрозольных частиц, высоким уровнем неселективного поглощения и матричными влияниями в аналитической зоне [4–7]. Но применение этих способов возможно только в усовершенствованных конструкциях распространенных в аналитической практике электротермических атомизаторов (графитовых кювет, печей, тиглей, стержней, электродов и др.). В работах [4–7] на базе известной конструкции графитового тигля в форме стаканчика (зона испарения твердого образца) предложены новые модели двух/трехстадийных атомизаторов, которые имеют дополнительные графитовые блоки, расположенные вертикально с независимым поперечным нагревом и формируют зоны конденсации (одну или две) и фильтрации паров образца (всего испытано более 20 модификаций). Наличие этих зон расширяет функции атомизаторов в аналитическом цикле: возможно применение более эффективных способов устранения влияния состава образца. На рисунке 1 показаны модели тигельного атомизатора, используемые в последнее время для проведения стадий пробоподготовки твердых образцов с применением фракционного испарения и фильтрации паров образца через пористую среду графита [6, 7]. Необходимо отметить и другие конструктивные решения. Зона испарения в тигельных атомизаторах может представлять собой

графитовую цилиндрическую микроколону для концентрирования элементов на твердом сорбенте из морских и речных вод и растворов в динамическом режиме для последующего прямого анализа твердой матрицы (концентрат или концентрат + взвесь) [4, 7].

В двух/трехстадийных тигельных атомизаторах для уменьшения неселективных помех и матричных влияний предложено осуществлять новые схемы пробоподготовки твердых образцов с применением стадий низкотемпературного и высокотемпературного фракционного испарения образцов с конденсацией паров в одной или двух зонах, а также совместное применение двух способов – фракционного испарения и фильтрации паров образца (рис. 2).



Атомизатор для проведения стадий фракционного испарения — конденсации элементов — атомизации конденсата

Атомизатор для проведения стадий фракционного испарения - конденсации элементов — атомизации конденсата с фильтрацией паров в аналитическую зону

Рисунок 1. Электротермические графитовые тигельные атомизаторы для прямого АА анализа концентратов вод, взвесей и донных осадков.

(1 – тигель, 2 – твердый образец, 3 – первый цилиндр, 4 – зона конденсации, 5 – второй цилиндр, 6 – графитовая трубка с аналитической зоной, 7 – источник излучения, 8 – спектрофотометр, 9 – независимые графитовые держатели – электроконтакты, 10 – источник, питания, 11 – графитовая пористая трубка)

В результате на заключительной стадии аналитического цикла атомизации подвергаются термомодифицированные матрицы – конденсаты более простого состава, создающие меньшие помехи в аналитической зоне атомизатора (таблица).

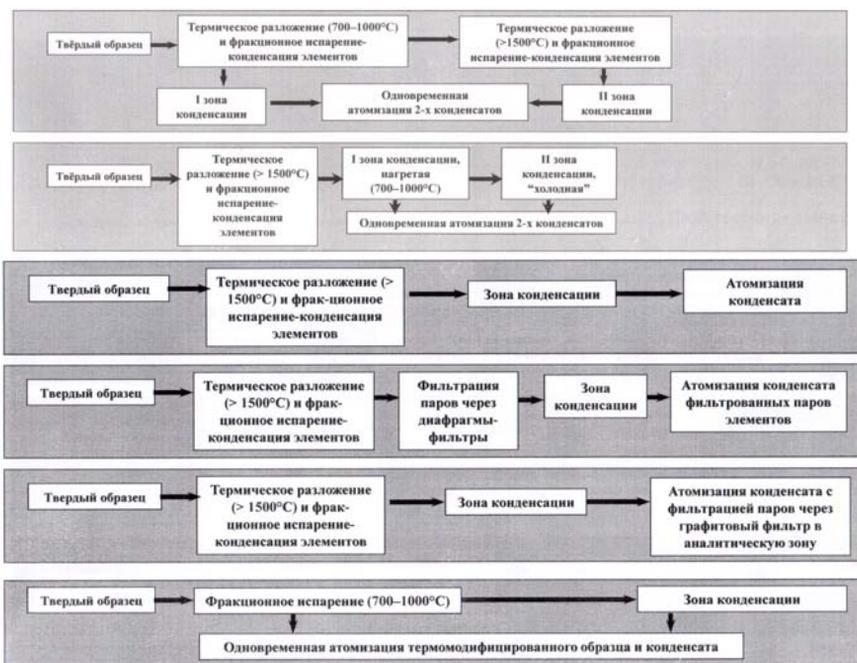


Рисунок 2. Особенности пробоподготовки твердых образцов в тигельных атомизаторах: сверху – с двумя стадиями фракционного испарения – конденсации элементов, внизу – с одной стадией фракционного испарения – конденсации элементов

Таблица. Отношение сигнала абсорбции элемента к сигналу абсорбции неселективного поглощения при анализе твердого образца донного осадка [7].

Элемент	Одна стадия фракционного испарения	Две стадии фракционного испарения	Фракционное испарение – фильтрация
Ag	0.42	1.23	5.9
Cd	0.53	1.75	9.4
Pb	<0.2	0.64	3.8

Одностадийные варианты фракционного испарения, а также применение только фильтрации паров часто недостаточны для определения ультрамалых количеств элементов в концентратах вод, взвесьях и донных осадков.

Таким образом, атомизаторы многофункциональны, позволяют уменьшить мешающие влияния, улучшить метрологические характеристики

прямого и сорбционно – АА анализа, уменьшить риски внесения загрязнений и потерь определяемых элементов, повысить надежность и качество результатов, решать аналитические задачи, благодаря отделению матричных компонентов – концентрированию элементов непосредственно в рабочем объеме самого атомизатора (тигельная пробоподготовка). В этом заключается суть предлагаемого подхода в электротермическом АА анализе твердых образцов сложного состава. Достигнутые пределы обнаружения элементов (Ag, Bi, Cd, Hg, Pb, In, Tl) при использовании навесок массой от 3 до 50 мг составили от 0.0005 до 0.01 ppm (ниже кларковых значений). Относительное стандартное отклонение вдали от предела обнаружения обычно не превышает 0.20, что вполне удовлетворительно для целей геохимических и экологических исследования [5, 7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В. Геохимия системы река–моря. М.: ИП Матушкина И.И. 2012. 452 с.
2. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Геохимическое взаимодействие пресноводной и морской гидросфер // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5–6. С. 721–744.
3. Пупышев А.А. Атомно-абсорбционный спектральный анализ. М.: Техносфера, 2009. 784 с.
4. Орешкин В.Н., Цизин Г.И. Опыт конструирования и применения тигельных электротермических атомизаторов для атомно-абсорбционного анализа твердых образцов // Журнал аналитической химии. 2014. Т. 69. № 3. С. 307–315.
5. Орешкин В.Н., Цизин Г.И., Таций Ю.Г. Специальные способы термообработки речных и морских взвесей при определении следов элементов // Геохимия. 2018. № 3. С. 290–296.
6. Орешкин В.Н. Электротермический двухстадийный атомизатор для аналитической спектрометрии. 2020. Патент России. № 199394.
7. Орешкин В.Н., Цизин Г.И. Тигельный атомизатор с функцией отделения матричных компонентов для атомно-абсорбционного определения элементов в твердых образцах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2023. Т. 64. № 3. С. 256–264.

In the electrothermal atomic absorption analysis of solid concentrates of water, suspended matter and bottom sediments, a distinctive approach is proposed, the peculiarity of which is to carry out the stages of separation of matrix components – concentration of the elements to be determined directly in the working volume of two/three-stage graphite crucible atomizers.

**Страховенко В.Д.^{1,2}, Овдина Е.А.¹, Малов В.И.^{1,2},
Малов Г.И.¹**

(¹Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, email:
strahova@igm.nsc.ru, ²Новосибирский государственный университет)

**Особенности распределения редкоземельных элементов в
водах и донных отложениях малых озер Укокского
плоскогорья и Улаганской долины (Алтай)**

**Strakhovenko V.D.^{1,2}, Ovdina E.A.¹, Malov V.Yg.^{1,2},
Malov G.Yg.¹**

(¹V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences, Novosibirsk, ²Novosibirsk State University, Novosibirsk)

**Features of the distribution of rare earth elements in the waters
and bottom sediments of small lakes of the Ukoksky plateau and
the Ulagan Valley (Altai)**

Ключевые слова: геохимия и минералогия РЗЭ+У, малые озера, Алтай.

В водах и донных отложениях малых озер высоко и среднегорных районов Алтая изучены основные особенности распределения РЗЭ+У, их минералы носители и на основе этого реконструирован процесс формирования донных отложений малых озер плоскогорья Укок и Улаганской впадины в условиях, когда ведущий геохимический процесс преобразования горных пород – криогенез.

Поведение РЗЭ в водных объектах, их донных отложениях и почвах криолитозоны остаются практически не изученными. Согласно немногочисленным исследованиям, миграция элементов в поверхностных холодных водах происходит путем соосаждения их на поверхность частиц оксигидроксидов переходных металлов, входящих в состав органо-минеральных коллоидов [1, 2]. Объекты исследования – компоненты (вода, донные отложения, горные породы водосборной площади) малых озер плоскогорья Укок и Улаганской впадины. Котловины исследуемых озер, локализованы в толще четвертичных моренных образований, сформированных в период четвертичных ледниковых процессов [3]. В высокогорных и среднегорных условиях для изучаемых районов Алтая ведущим геохимическим процессом преобразования горных пород является криогенез [4]. Цель работы – определить геохимические особенности миграции и фракционирования РЗЭ в водах и донных отложениях малых озер плоскогорья Укок и Улаганской впадины в условиях криогенеза.

Во время полевых работ изучены 14 озер: 8 озер Укокского плоскогорья (оз Большое и Малое Тархатинское, оз. Зерлюколь-Нур, Красное, перевал Теплый ключ, Каровое, Калгутинское, Аргамджи высокогорные (высота выше 2300 м. над у. м.) и 6 озер Улаганской долины (высота от 1800 до 2200

м. над у. м.) оз. Чейбеккель, Бирюзовое, Подкова, Безымянное, Малый Узункель и Игисту Кель. Произведен отбор керн донных отложений (348 проб), воды (24 пр.) с катамарана при помощи цилиндрического пробоотборника с вакуумным затвором конструкции НПО «Тайфун», Россия (диаметр 82 мм, длина 120 см), горных пород водосборной территории по стандартным методикам (42 пробы). Переменные физико-химические параметры вод и донных отложений измерены на месте (рН, Eh, взвешенное вещество (ВВ), удельная электропроводность (УЭП), O_2). Исследования рельефа дна озер проведено эхолотом Garmin ECOMAP Plus 62CV. Воды отфильтрованы (0,45 мкм). В научных работах показано, коллоидная фаза (размером 0,22–0,45 мкм) взвешенных веществ проходит через фильтры этой размерности и именно она содержит основную часть РЗЭ (установлено с использованием ультрафильтрации) [2, 5]. Вода проанализирована методами атомно-абсорбционным и ICP-MS в Приморском центре локального элементного и изотопного анализа ДВГИ ДВО РАН (12 проб) и Аналитическом центре ИГМ СО РАН Новосибирск (16). Пробы донных осадков, горных пород исследованы в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, г. Новосибирск (49 проб).

В изученных озерах воды пресные Ca-Na. Появление повышенных концентраций сульфат иона в отдельных озерах связано с гипергенным окислением сульфидов [6]. Воды озер щелочные – (рН от 7.3 до 9.4), показатель Eh воды всех озер положительный, высокий, при этом содержание растворенного в воде O_2 варьирует от 6.1 мг/л до 7.9 мг/л. Ранее авторами установлено, что в водах и донных осадках изученных озер концентрации макроэлементов в основном ниже, их распространение в реках мира и горных породах водосбора, а микроэлементов на уровне значений [7]. Для озер, на водосборной площади которых присутствуют рудопоявления и месторождения различной специализация, в водах и донных отложениях выявлены повышенные концентрации соответствующих элементов. В озерах, расположенных в пределах Калгутинской рудно-магматическая системы, выявлены повышенные концентрации Zn, Th, Mo, Be, F, Cu, Si (в оз. Аргамджи еще и U, Li) и значительно более низкие концентрации для Y и TR, Rb, Sr, Al, Mg, Ni, Cr относительно их содержаний в реках мира, что полностью согласуется с геохимическим составом гранитов. Для озер, расположенных в Тархатинской котловине, установлены более высокие концентрации Zn, Fe, Mn, Ba, Th, TR и обеднение Al, Mo, Rb, Ni, Cr, Rb. Для озер Улаганской долины, где распространены горные породы со специализацией двух минералогических областей – ртутно-железо-золоторудной и редкометалльно-золото-железорудной, выявлены повышенные концентрации Fe, Mo, Cu, Li, Be, Au, РЗЭ. В изученных озерных водах выявлены низкие концентрации РЗЭ+Y (от 0.04 до 1.39 мкг/л) (таблица).

Для сравнения в таблицу добавлены характеристики содержаний РЗЭ+Y в речных водах мира из статьи [7], данные авторов по озерам других ландшафтных зон юга Западной Сибири [8].

Таблица. Средние содержание REE+Y (mg/kg) и основные геохимические отношения, нормированные на PAAS в донном осадке, горной породе водосбора, воде ($\mu\text{g/L}$) в малых озерах Укокского плоскогорья и Улаганской долины (Алтай) в сравнении с аналогичными характеристиками для озер других ландшафтов юга Западной Сибири.

	ΣREE	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	Ce/La	(La/Yb) _n	(La/Sm) _n	(Gd/Yb) _n	Eu/ Eu*	Ce /Ce*
Донный осадок, вода, горные породы озер Укокское плоскогорье								
донный осадок	246±61	3.4	3.4	0.79±0.08	0.53±0.21	1.15±0.26	0.89±0.12	1.14±0.12
вода	0.56±0.22	2.0	1.1	1.22±0.54	1.09±0.84	1.71±0.78	1.14±0.74	0.44±0.14
горные породы	180±39	3.2	2.6	0.61±0.09	0.64±0.14	1.03±0.19	0.58±0.28	0.99±0.28
граниты Калгуты	162	2.5	2.4	0.59±0.03	0.65±0.04	1.11±0.09	0.56±0.11	1.01±0.11
Донный осадок, вода, горные породы озер Улаганской долины								
донный осадок	166±31	3.3	5.6	1.11±0.42	0.96±0.31	1.31±0.43	1.03±0.33	0.92±0.33
вода	0.57±0.24	4.6	0.7	7.39±4.14	3.21±1.34	2.57±1.48	1.35±0.89	0.25±0.14
горные породы	128±37	3.4	2.7	0.55±0.12	0.56±0.19	1.16±0.18	0.95±0.32	1.12±0.32
Донный осадок озер разных ландшафтных зон юга Западной Сибири								
южная тайга	93±17	4.5	2.0	1.13±0.35	0.91±0.23	1.35±0.34	0.92±0.23	0.99±0.23
подзона субтайга	19±3	4.3	1.8	1.20±0.24	0.94±0.23	1.36±0.24	1.04±0.24	0.95±0.24
лесостепь	74±25	4.6	2.0	1.18±0.19	0.89±0.24	1.39±0.26	0.99±0.24	0.99±0.24
степь	52±23	3.4	2.0	1.00±0.29	0.88±0.23	1.34±0.42	1.04±0.23	0.94±0.23
Горные породы, вода, донный осадок по опубликованным литературным и нашим данным $\mu\text{g/L}$, mg/kg								
граниты Калгутинские*	154	2.6	2.4	0.52	0.61	1.03	0.52	1.00
воды ключи Джумал-не**	0.043	0.61	2.2	0.8	0.54	1.12	1.14	0.83
Реки мира***	0.74	3.9	2.2	0.52	0.49	1.4	1.2	0.86
Вода озер юг Зап.Сибири	1.8	1.8	0.4	2.1	2.4	2.1	2.4	0.58

Index "n" indicates that PAAS normalized contents are used. *—here (Ce/Ce*_n), (Eu/Eu*_n) are calculated respectively as (Cesample/Cen)/√(Lasample/Lan)(Prsample/Pm) and (Eusample/En)/√(Smssample/Smn)(Gdsample/Gdn). ΣREE – total amount of REE, LREE – total amount of light REE, HREE- total amount of f heavy REE; nnn ± nn - arithmetic mean ± standard deviation; nnn ± nn - arithmetic mean ± standard deviation. * - [3]; ** - [6]; *** [7].

Содержание РЗЭ+Y в воде горных озер имеют тот же порядок величин, что в реках мира, малых озерах юга Зап. Сибири. Спектры РЗЭ+Y в воде озер (нормированные на PAAS) имеют максимум в области средних РЗЭ, отрицательную аномалию церия (Ce/Ce* –0.31–0.62) и аномалию европия: от сильно положительной (Eu/Eu* – 15.9) до отрицательной (0.68). Для всех изученных озер воды характеризуются обеднением легкими лантаноидами и следующими основными особенностями: отношений (La/Yb)_n, (La/Sm)_n, (Gd/Yb)_n, Ce/La варьирует в весьма широких пределах от озера к озеру (от 0.4 до 1.1; от 0.4 до 1.8; от 0.7 до 1.8; от 0.2 до 1.8 соответственно). Полученные величины ($\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ от 1.4 до 3.1) возникают при интенсивном разрушении полевых шпатов, аксессуарных минералов в результате криогидратационного механизма выветривания на водосборной территории горных озер Алтая [9]. Вариации (Gd/Yb)_n в широких пределах от озера к озеру (от 0.6–3.8) определяются большим разбросом значений по Yb. Значение геохимических индикаторов РЗЭ для вод озер Укокского

поскогорья и Улаганской долины соответствуют полученным ранее данным для соответствующих коэффициентов в водах озер других ландшафтных зон юга Зап. Сибири.

Уровень содержаний $\sum REE$ в донных отложениях озер из разных котловин значимо не различаются (варьирует от озера к озеру даже в пределах одной впадины от 82 до 512 мкг/кг при среднем – (озера Укокского плато 246 ± 39 мкг/кг; Улаганской долины 166 ± 31 мкг/кг). Нормированные на PAAS спектры распределения РЗЭ донных отложений озер однотипны в пределах одной впадины и характеризуются обогащением РЗЭ в области неодима–тербия, с максимальными значениями гадолиния (рисунок), отличаются по величинам в них как аномалии Ce/Ce^* (0.86–1.19), так и аномалии Eu/Eu^* (0.91–1.10) и значительным разбросом содержаний по La, Y. На графики вынесены спектры распределения РЗЭ в горных породах водосборных площадей озер, сгруппированных по принадлежности к породам единого геохимического состава. На обеднение осадков легкими РЗЭ и проявления гадолиниевого максимума указывают величины $(La/Yb)_n$ и $(Gd/Yb)_n$: для всех озер значение $(La/Yb)_n$ изменяется от 0.21 до 0.93; $(Gd/Yb)_n$ варьирует в пределах – от 1.12 до 1.74. Для донных отложений озер Улаганской долины значения индикаторных отношений $(La/Yb)_n$, $(La/Sm)_n$, $(Gd/Yb)_n$, Ce/La ; европиевой аномалии Eu/Eu^* аналогичны величинам этих соотношений в донном осадке малых озер других ландшафтных зон. Для озер Укокского плато содержания La и Eu от озера к озеру отличаются более одного порядка. Именно с этим связано большая вариация величин $(La/Yb)_n$ (варьирует от 0.05 до 1.1); $(La/Sm)_n$ – (0.24 до 1.23). Особенно в широком диапазоне изменяются значения Ce/La – от 1.2 до 41.0 для донных отложений и от 1.2 до 38.2 для горных пород водосборной площади, представленных гранитами Калгутинского рудного массива. Минералогическое изучение показало, что среди аксессуарных минералов как горных пород, так и донных отложений озер выявлены отдельные кристаллы эпидота и ксенотима, в которых присутствуют изоморфной примеси РЗЭ.

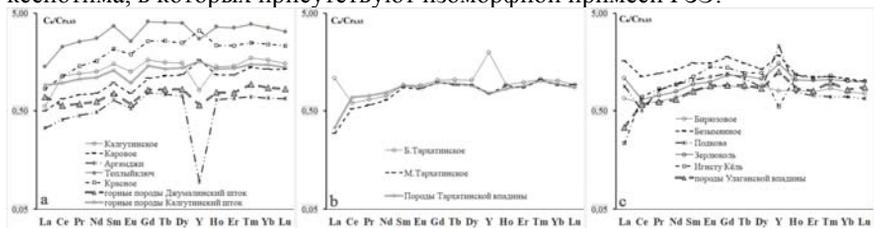


Рисунок. Нормированные на PAAS [10] спектры РЗЭ+Y в донных осадках:

(а) – озера Калгутинской впадины, среди гранитов Джумалинского штока (оз.

Аргамджи, Красное, Каровое), Калгутинского штока (оз. Теплый ключ, Калгутинское); (б) – озера Тархатинской впадины (Большое и Малое Тархатинские), среди четвертичных ледниковых отложений; (с) – озера Улаганской впадины, среди четвертичных ледниковых и водно-ледниковых отложений.

Установлено, что для всех изученных озер, как Укокского плоскогорья, так и Улаганской долины содержание РЗЭ+Y в воде имеют тот же порядок величин, что и малых озерах других ландшафтных зон юга Западной Сибири, а для донных отложений уровень содержаний Σ REE выше. В спектрах РЗЭ+Y в воде озер выявлены максимум в области средних РЗЭ, отрицательная аномалия церия и разная аномалия европия: от положительной до отрицательной. В донных отложениях горных озер спектры РЗЭ+Y из разных котловин различаются и имеет полное сходство с горными породами их водосборных площадей, за исключением по La, Y, Eu.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 23-27-00111

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dai M., Martin J. First data on trace metal level and behaviour in two major Arctic river-estuarine systems (Ob and Yenisey) and in the adjacent Kara Sea, Russia // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1995. V. 131(3-4). P. 127–141.
2. Pokrovsky O.S., Shott J. Iron colloids/organic matter associated transport of major and trace elements in small boreal rivers and their estuaries (NW Russia) // *Chem. Geol.* 2002. V. 190. P. 141–179.
3. Федак С.И., Туркин Ю.А., Гусев А.И., Шокальский С.П. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-45 – Горно_Алтайск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2011. 567 с.
4. Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 334 с.
5. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане // *Литология и полезные ископаемые.* 2004. Т. 39 (4). С. 289–307.
6. Паничев А.М., Барановская Н.В., Вах Е.А. Новые данные по химическому составу вод Джумалинского геотермального источника, Горный Алтай, Россия // *Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике.* 2022. № 4. С. 137–143.
7. Савенко А.В., Савенко В.С., Покровский О.С. Новые Данные по содержанию растворенных микроэлементов в водах рек Российской Арктики // *Докл. РАН. Науки о Земле.* 2020. Т. 491. № 2. С. 82–88.
8. Страховенко В.Д., Овдина Е.А. Особенности распределения редкоземельных элементов в водах и донных отложениях малых озер Барабинской низменности и Кулундинской равнины // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* 2021. Т. 332. № 10. С. 171–179.
9. Конищев В.Н., Лебедева-Верба М.П., Рогов В.В., Сталина Е.Е. Криогенез современных и позднплейстоценовых отложений Алтая и перегляциальных областей Европы. М.: ГЕОС, 2006. 128 с
10. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., Мир, 1988. 384 с.

It was found that for all the studied lakes, both the Ukok Plateau and the Ulagan Valley, the REE+Y content in the water has the same order of magnitude as in small lakes of other landscape zones in the south of Western Siberia, and for bottom sediments the level of REE content is higher. In the REE+Y spectra in lake water, a maximum in the region of average REE, a negative cerium anomaly and a different europium anomaly were detected: from positive to negative. In the bottom sediments of mountain lakes, the REE+Y spectra from different basins differ and have complete similarity with the rocks of their catchment areas, with the exception of La, Y, Eu.

Тарменок Е.О., Таловская А.В., Язиков Е.Г.

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск)

Уровень пылевого загрязнения снегового покрова в районе расположения глиноземного производства (бассейн р. Чулым)

Tarmyonok E.O., Talovskaya A.V., Yazikov E.G.

(National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk)

Dust pollution level of snow cover in alumina refinery area (Chulym basin)

Ключевые слова: пылевая нагрузка, снеговой покров, глиноземное производство.

В рамках данного исследования определен уровень и характер распределения пылевой нагрузки в окрестностях глиноземного комбината, а также соотношение природных и техногенных образований в твердом осадке снега.

Производство алюминия крайне необходимо в народном хозяйстве, ведь этот металл является одним из самых необходимых для металлургии. Для работы алюминиевых заводов необходимо сырье – глинозем. На территории России находится 4 предприятия по производству глинозема. Крупнейшим предприятием данного типа является Ачинский глиноземный комбинат (АГК). Эколого-геохимические исследования состояния территории г. Ачинска и окрестностей АГК выполнялись более 15 лет назад [1–2]. В связи с этим, возникает необходимость получения новых данных о состоянии атмосферного воздуха в данном районе с учетом эффективности внедрения новых технологий на АГК по снижению негативного воздействия на окружающую среду [3–4].

Для исследования загрязнения атмосферного воздуха широко используются природные планшеты-накопители поллютантов [5]. Одним из таких компонентов природной среды является снеговой покров, который позволяет определить величину среды является снеговой покров, который позволяет определить величину как сухих, так и влажных атмосферных выпадений в холодный сезон.

В феврале 2023 г. был произведен отбор проб снегового покрова в районе размещения глиноземного завода. Отбор проб проводился по 5-ти векторам относительно источников загрязнения с учетом главенствующего направления ветра (юго-западное): север-северо-восточный вектор – от шламохранилища через населенные пункты Ачинского района; северо-восточный и восточный вектор – от трубы АГК через город Ачинск, включая стационарный пост наблюдения за атмосферным воздухом; юго-восточный вектор – от промплощадки известнякового рудника вблизи населенных пунктов; юго-западный вектор – от трубы АГК через населенные пункты Ачинского района. Фоновый район выбран в 40 км

севернее г. Ачинск.

Отбор и подготовка проб выполнялась в соответствии с нормативными и методическими рекомендациями [6]. Всего была отобрана и подготовлена 21 проба снегового покрова.

Пылевая нагрузка была определена с использованием формулы:

$P_n = P_o / (S \cdot t)$, мг/м²·сут.; P_o – масса твердого осадка снега, мг; S – площадь шурфа, м²; t – время (в сутках), прошедшее с момента установления снежного покрова до даты отбора [6]. По итогам расчетов пылевой нагрузки определялся уровень загрязнения и опасности по нормативной градации [7–8]: соответственно менее 250 и 200 мг/(м²·сут.) – низкий и неопасный, 250–450 и 200–300 – средний и умеренно-опасный, 450–850 и 500–800 – высокий и очень опасный, более 850 и 800 – очень высокий и чрезвычайно опасный. Также уровень загрязнения определялся относительно фона по градации [5]: менее 20 мг/(м²·сут.) – около-фоновый; 20–60 – низкий, 60–240 – средний, 240–600 – высокий, более 600 – очень высокий.

Для определения минерально-вещественного состава твердого осадка снегового покрова отдельные пробы изучены на бинокулярном стереоскопическом микроскопе в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» согласно патенту № 2229737 (авторы: Язиков Е.Г., Шатилов А.Ю., Таловская А.В., 2004 г.).

Установленный уровень пылевой нагрузки в окрестностях АГК изменяется от 14 до 1155 мг/(м²·сут.), т.е. от низкого до очень высокого уровня загрязнения, при среднем значении 180 мг/(м²·сут.), что соответствует низкому уровню по нормативной градации и среднему относительно фона.

Выявлено, что уровни пылевой нагрузки в 2023 г. от 2 до 5 раз ниже, чем уровень пылевой нагрузки (в среднем от 2000 до 5000 мг/(м²·сут.)), определенный в этом же районе исследований в 2007 г. [2].

Относительно нормативной градации, средние значения пылевой нагрузки на северо-восточном, юго-восточном и юго-западном векторах соответствуют низкому уровню загрязнения, на север-северо-восточном и восточном векторах – среднему. Согласно градации по уровню пылевой нагрузки относительно фона для городов Сибири, на северо-восточном, юго-восточном и юго-западном векторах уровень загрязнения средний, на север-северо-восточном и восточном векторах – высокий (рис. 1).

Значение пылевой нагрузки в удаленной от техногенного воздействия точке соотносятся с фоновыми значениями для юга Западной Сибири.

Максимальные значения пылевой нагрузки приходятся на расстояние от 2 до 3 км по север-северо-восточному и северо-восточному направлению. На восточном и юго-восточном векторах максимальные значения пылевой нагрузки выявлены на расстоянии от 2 до 4 км. Далее наблюдается снижение уровня пылевой нагрузки примерно в 30 раз. Уровень загрязнения

изменяется от очень высокого до низкого (рис. 2).

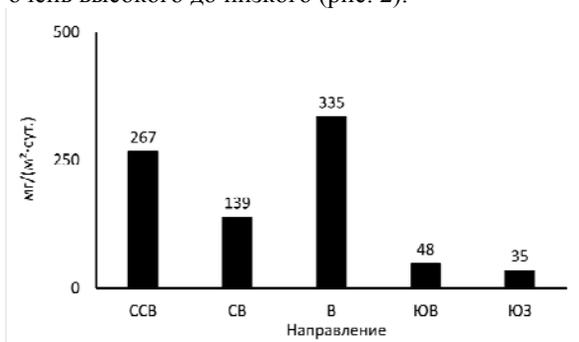


Рисунок 1. Уровень пылевой нагрузки в окрестностях комбината.

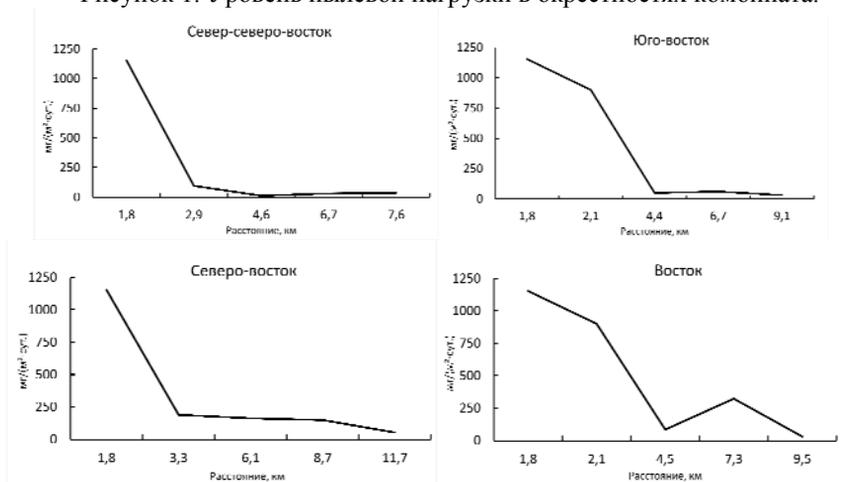


Рисунок 2. Распределение пылевой нагрузки по мере удаления от глиноземного комбината.

По результатам изучения проб на бинокулярном микроскопе определено соотношение природных и техногенных образований в пробах по мере удаления от комбината (таблица).

Техногенные образования включают в себя частицы угля, металлическими микросферулы и микросферулы, вероятно алюмосиликатного или кальциевого состава. Природные образования представлены карбонатными частицами, кварцем и растительными остатками.

Заметно, что, по мере удаления от АГК, количество техногенных частиц возрастает, а природных уменьшается. При этом можно отметить следующую закономерность: количество природных образований, в частности – карбонатных частиц, уменьшается вместе с уровнем пылевой нагрузки.

Таблица. Соотношение природных и техногенных образований в твердом осадке снега в северо-восточном направлении по мере удаления от комбината, %

Расстояние Тип частиц	2 км	4 км	6 км
Природные	84	78	69
Техногенные	16	21	31

Таким образом, установлено изменение от низкого до среднего уровня пылевого загрязнения по мере удаления от глиноземного комбината. Основная пылевая нагрузка приходится на расстояние до 3 км от комбината по направлению основного массопереноса вещества. Сравнительный анализ уровня пылевой нагрузки в 2023 г. с данными для 2007 г. показал значительное снижение пылевого загрязнения за 15 летний период, что можно сделать вывод, что вероятно связано с использованием новых технологий по снижению выбросов в атмосферный воздух на АГК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Козлов А.С. и др. Сравнительная оценка состава воздуха промышленных городов Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2007. № 5. С. 428–437.
2. Дворецкая Ю.Б. Геоэкологическая оценка влияния глиноземного производства на окружающую среду (на примере г. Ачинск) втореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук : 25.00.36. Красноярск, 2007. 22 с.
3. Шепелев И.И., Пиляева О.В., Еськова Е.Н., Кирюшин Е.В. Внедрение экологических мероприятий с целью снижения воздействия глиноземного производства на состояние природной среды // Проблемы региональной экологии. № 3. 2021. С. 10–14.
4. Дружинин К.Е., Немчинова Н.В., Васюнина Н.В., Камленок Т.В. Апробация "мокрой" газоочистной установки центробежно-вихревого типа в промышленных условиях АО "Русал Ачинск" // Вестник ИрГТУ. 2018. № 5. С. 190–206.
5. Таловская А.В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на

урбанизированных территориях юга Сибири (по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова): диссертация ... доктора геолого-минералогических наук : 1.6.21. Томск, 2022. 373 с.

6. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве: утв. Гл. государственным санитарным врачом СССР от 15.05.1990 г., №5174-90: URL: <http://www.law.edu.ru/norm/norm.asp?normID=1275817> (дата обращения: 10.02.2023).

7. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. М.: Изд-во «Недра», 1990. 335 с.

8. Касимов Н.С., Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // География. Вестник МГУ. Сер. 5. 2012. С. 14–24.

The research is studied snow cover as an indicator of dust pollution in the area of alumina refinery (Chulym basin). Dust pollution level and distribution are determined. Also binocular microscope data about natural and man-made particles proportion changes as it moves away from alumina refinery is presented.

Топчая В.Ю.

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

Многолетние комплексные исследования атмосферного рассеянного осадочного вещества в береговой зоне юго-восточной Балтики (Российский сектор)

Topchaya V.Yu.

(Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Long-term comprehensive studies of atmospheric dispersed sedimentary matter in the coastal zone of the Southeastern Baltic (Russian sector)

Ключевые слова: потоки, элементный состав, атмосферный перенос, рассеянное осадочное вещество

Выявлены особенности поступления, количественного распределения, вещественного и элементного состава атмосферного рассеянного осадочного вещества в береговой зоне российского сектора юго-восточной Балтики.

В период с 2006 по 2019 гг. отобраны и комплексно изучены (по апробированным и единым методикам) пробы атмосферного рассеянного осадочного вещества в сухую погоду, в дождевых осадках и в снеговом покрове. Для исследуемого региона впервые выявлена гетерогенность рассеянного осадочного вещества атмосферы как совокупность биогенных, литогенных и антропогенных частиц. Выявлена пространственно-временная изменчивость его величины и состава. Дана оценка количественных характеристик атмосферного рассеянного осадочного вещества и отмечены основные тенденции их сезонной и межгодовой изменчивости. Проанализирован широкий спектр элементного состава твердой фазы дождевых осадков и снегового покрова, включая редкоземельные элементы. Выполнен расчет и сопоставление значений потоков Pb и Cd по натурным и рассчитанным по базе ЕМЕР данным.

Анализ и интерпретация данных выполнялись при поддержке государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012).

The features of the receipt, quantitative distribution, material and elemental composition of dispersed sedimentary matter in the coastal zone of the Russian sector of the southeastern Baltic are revealed.

Топчая В.Ю.¹, Чечко В.А.¹, Новикова Ю.В.²

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: piwis@mail.ru,

²Федеральный центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск)

**Фитопланктон в атмосферном осадочном веществе
береговой зоны Калининградской области**

Topchaya V.Yu.¹, Chechko V.A.¹, Novikova Yu.V.²

(¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, ²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch RAS, Arkhangelsk)

**Phytoplankton in atmospheric sedimentary matter of the
coastal zone of the Kaliningrad region**

Ключевые слова: снеговой покров, дождевые осадки, диатомовые водоросли, атмосферный перенос

Работа посвящена анализу состава и распределения фитопланктона, поступающего с атмосферным осадочным веществом дождевых осадков и накапливающегося в снеговом покрове береговой зоны Калининградской области. Обнаруженные в пробах дождя и снега представители фитопланктона относятся к отделу *Bacillariophyta*.

В работе представлены результаты многолетних (2008–2020 гг.) исследований состава осадочного вещества атмосферы, поступающего в береговую зону Калининградской области. Исследования, включали сбор и изучение рассеянного вещества снега, собранного со льда Калининградского (северо-восточная часть Вислинского залива) и Куршского заливов и берегового припая Самбийского п-ова, а также дождевых осадков (рис. 1). Таксономическая идентификация видов и групп фитопланктона выполнена в 86 образцах с использованием электронного сканирующего микроскопа Vega 3 SEM TESCAN (ИОРАН, Москва).

Обнаруженные в пробах дождя и снега представители фитопланктона относятся к отделу *Bacillariophyta* (диатомовые водоросли). В дождевых осадках диатомовые водоросли представлены скудно, преимущественно в виде отдельных солоноватоводных (*Nitzschia sp.*) и пресноводных (*Stephanodiscus hantzschii Grun.*, *Navicula sp.* и *Achnanthes sp.*) порядка Pennales [1, 2].

Наибольшее количество фитопланктона *Bacillariophyta* (видовых и надвидовых таксонов) выявлено в образцах снега. Распределение *Bacillariophyta* в снеговом покрове береговой зоны Калининградской области имеет выраженную пространственную дифференциацию. Наименее разнообразно диатомовые представлены в снеге берегового припая Самбийского п-ова, отдельными пресноводными – *Stephanodiscus hantzschii Grun.* порядка Centrales [3].

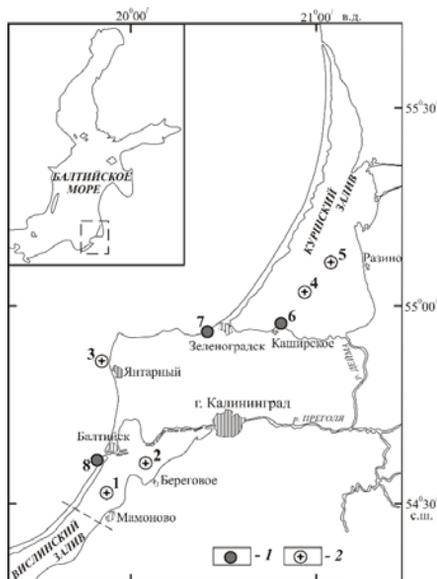


Рисунок 1. Схема расположения станций.

1 – точки сбора дождевых осадков; 2 – точки сбора снега.

В снеговом покрове Калининградского залива обнаружены колонии солонатоводных диатомовых – *Melosira arctica* Dickie, 1852, *Nitzschia frigida* Grunow, 1880 [1, 2], а также отдельные морские планктонные диатомовые рода *Thalassiosira* (рис. 2).

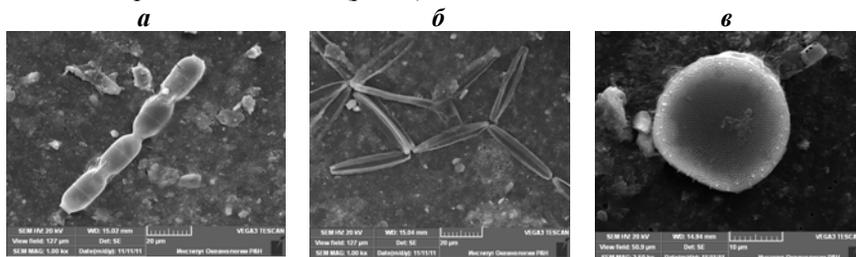


Рисунок 2. Диатомовые снегового покрова Калининградского залива: а – колония *Melosira arctica* Dickie, 1852; б – колония *Nitzschia frigida* Grunow, 1880; в – *Thalassiosira cf. baltica* (Grun.) Ostf.

В снеге Куршского залива обнаружено наибольшее видовое разнообразие пресноводных – *Cocconeis* sp., *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Aulacoseira islandica* (O. Mull.) Simons, *Asterionella formosa* Hassall, *Anomooneis sphaerophora* E.Pfitzer, *Achnanthes* sp. [1, 2] диатомовых водорослей (рис. 3).

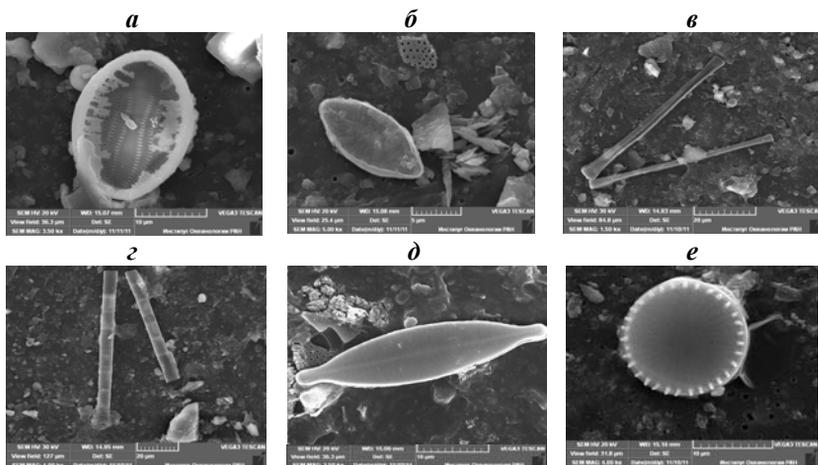


Рисунок 3. Диатомовые снегового покрова Куршского залива: а – *Cocconeis* sp.; б – *Achnanthes* sp.; в – *Asterionella formosa* Hassall, 1850; г – *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Simons; д – *Anomoeoneis sphaerophora* E.Pfitzer, 1871; е – *Stephanodiscus hantzschii* Grun.

Такая дифференциация пресноводных, солоноватоводных и морских планктонных диатомовых в снеговом покрове береговой зоны вероятно связана с преобладающими и часто повторяющимися в зимний период над регионом исследования ветрами юго-западных и западных направлений, то есть диатомовые водоросли поступают за счет эолового переноса из поверхностного микрослоя свободных ото льда акваторий суши и моря.

Анализ и интерпретация данных выполнялись при поддержке государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядок Centrales и Mediales. Л.: Государственное издательство геологической литературы, 1949. 446 с.
2. Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядок Pennales. Л.: Государственное издательство геологической литературы, 1950. 630 с.
3. Round F. The diatom genus *Stephanodiscus*: an electron-microscopic view of the classical species // Archive Protistenkunde. 1981. P. 455–470.

The work is devoted to the analysis of the composition and distribution of phytoplankton coming with atmospheric sedimentary matter of rain and accumulating in the snow cover of the coastal zone of the Kaliningrad region. Representatives of phytoplankton found in rain and snow samples belong to the *Bacillariophyta* division.

Чечко В.А., Топчая В.Ю.

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

Роль атмосферного переноса в осадконакоплении береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря (русский сектор)

Chechko V.A., Topchaya V.Yu.

(Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

The role of atmospheric transport in sedimentation of the coastal zone of the southeastern part of the Baltic Sea (Russian Sector)

Ключевые слова: осадконакопление, атмосферный перенос, количественное распределение

На основе изучения количественных и размерных характеристик атмосферного вещества, осаждающегося в береговой зоне юго-восточной части Балтийского моря, определено его значение как источника осадочного материала.

Среди основных источников, поставляющих осадочный материал в береговую зону моря (речной сток, береговая абразия, эрозия дна и атмосферный перенос), наименее изученным является атмосферный перенос. Он поступает на подстилающую поверхность в результате сухих выпадений и с атмосферными осадками. Современные представления об участии эолового фактора в осадконакоплении береговой зоны можно назвать условными, а осадочное вещество атмосферы (и, соответственно, отложения, связанные с его осаждением), до недавнего времени были вне круга интересов литологии. Объясняется это трудностями методического характера, возникающими при натурных исследованиях, малыми количествами атмосферного вещества, а также отсутствием регулярных стационарных наблюдений.

На основе обобщения натурных данных (2006–2019 гг.) сделана оценка значения атмосферного материала в осадконакоплении береговой зоны русского сектора юго-восточной части Балтийского моря. К ней мы относим коренные берега Калининградского п-ова, российские части Куршской и Балтийской песчаных пересыпей, участок прибрежной акватории моря шириной 1 км от линии уреза, а также российскую акваторию прибрежных мелководных Куршского и Вислинского заливов.

Выявлено, что средняя величина потоков нерастворимого атмосферного осадочного вещества в береговую зону за указанный период составляет $36 \text{ мг м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$ или $13 \text{ г м}^{-2} \text{ год}^{-1}$. Наибольшее его количество поступает в весенне-летне-осенний период в результате «сухого» осаждения (в среднем $66.5 \text{ мг м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$) и вымывания дождевыми осадками (в среднем $37.3 \text{ мг м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$), а наименьшее – в зимний период года (в среднем $2.7 \text{ мг м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$).

Если эти значения пересчитать на всю площадь береговой зоны, то получится довольно внушительное количество осадочного материала. Однако его роль в пополнении донных осадков в прибрежной полосе незначительна. Нерастворимое атмосферное вещество в основном имеет пелитовую (1–10 мкм) размерность, а в донных отложениях прибрежной полосы частицы такого размера практически не встречаются. Т.е., после осаждения из атмосферы они выносятся течениями в более углубленные участки моря. Ловушками для такого материала являются донные отложения Куршского и Вислинского заливов, в их составе пелитовые частицы встречаются довольно часто.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012).

Based on the study of the quantitative and dimensional characteristics of atmospheric matter deposited in the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea, its significance as a source of sedimentary material was determined.

Шулькин В.М.¹, Еловский Е.В.²

(¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, e-mail: shulkin@tigdvo.ru ²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток)

Контроль сепарации коллоидных и взвешенных частиц при химическом анализе природных вод методом динамического рассеяния света (ДРС)

Shulkin V.M.¹, Elovsky E.V.²

(¹Pacific Geographical Institute FEBRAS, Vladivostok; ²Far Eastern Geological Institute FEBRAS, Vladivostok)

Control of the separation of colloidal and suspended particles at the chemical analysis of natural waters by the method of dynamic light scattering (DLS)

Ключевые слова: Динамическое рассеяние света (ДРС), коллоиды и взвесь, артефакты фильтрации, центрифугирование, химический анализ, природные воды

Изучено применение метода ДРС для контроля эффективности центрифугирования и фильтрации при разделении растворенных, коллоидных и взвешенных частиц на примере рек юга Дальнего Востока РФ, включая р. Амур. Установлена пропорциональность между интенсивностью ДРС и содержанием частиц в речных водах, а также в центрифугатах и фильтратах. Это позволяет рекомендовать метод ДРС для оценки динамики коагулирования мембран при фильтрации, и определения режимов центрифугирования для сепарации частиц размером <0.45–3 мкм в ходе химического анализа речных, и, вероятно эстуарных и прибрежно-морских вод.

Разделение растворенных, коллоидных и взвешенных форм миграции химических элементов и соединений в природных водах является необходимым этапом при оценке их качества и исследовании многих геохимических и биогеохимических процессов в водных экосистемах [1–3]. Это особенно актуально для речных вод с доминирующей ролью взвешенных форм в балансе многих химических элементов [1]. Наиболее распространенным способом является фильтрация через мембранные фильтры 47 мм с размером пор 0.45 мкм. Несмотря на кажущуюся простоту процедуры, при фильтрации возможен ряд артефактов [4], из которых наиболее труднопреодолима коагуляция, которая сопровождается уменьшением эффективного размера пор и занижением в фильтратах концентрации ряда химических элементов, мигрирующих в речных водах в составе крупных коллоидов < 0.45 мкм [4, 5]. Альтернативой фильтрации является центрифугирование, однако для определения режима центрифугирования и корректного сравнения этих подходов необходим метод оценки содержания коллоидных частиц в фильтратах и в

центрифугатах/супернатантах. Учитывая ограниченный объем раствора доступный для анализа, наиболее подходящими являются оптические методы, в частности, метод динамического рассеяния света (ДРС).

Метод ДРС основан на регистрации флуктуаций интенсивности рассеяния лазерного луча, возникающих при броуновском движения субмикронных и коллоидных частиц размером > 1 нм. Из анализа корреляционной функции этих флуктуаций по времени можно строго рассчитать коэффициент диффузии и размер монодисперсных частиц, на которых происходит рассеяние. Для природных вод, которые являются полидисперсными системами, возможна только полуколичественная оценка размерного спектра коллоидных и субмикронных частиц [6]. Однако наблюдаемая значимая связь между интенсивностью ДРС и содержанием взвеси в речных водах [7], а также высокая чувствительность метода позволяет предположить, что ДРС также может быть использовано для характеристики содержания коллоидных и субмикронных частиц в фильтрах и центрифугатах. Это даст возможность количественно оценить эффективность сепарации коллоидных частиц и рекомендовать оптимальную схему обработки проб при гидрохимическом анализе.

Интенсивность ДРС измеряли на приборе PHOTOCOR Compact Z (www/photocor.ru). Химический состав фильтратов и центрифугатов определяли методами ИСП-МС (микроэлементы), жидкостной ионной хроматографии (макро-ионы) и каталитического окисления (РОУ).

Эксперименты проводили с водами рек юга Дальнего Востока РФ, различающихся по размеру, ландшафтной структуре водосборов, антропогенной нагрузке, а также водному режиму в период опробования. Были изучены реки Туманная, Раздольная, Уссури и ее главные притоки Б.Уссурка и Бикин, а также крупнейшая река региона – Амур.

В каждой пробе интенсивность ДРС измеряли в исходной нефильтрованной воде, и в фильтрах, полученных при последовательной фильтрации 3–8 порций пробы объемом 100 мл через мембрану 47 мм с размером пор 0.45 мкм для характеристики влияния коагулирования. Кроме того, аликвоту нефильтрованной пробы фильтровали через капсульный фильтр с размером пор 0.45 мкм неподверженный коагулированию вследствие большой площади фильтрации. Еще семь аликвот центрифугировали при режимах, рассчитанных по формуле Стокса. Оказалось, что только супернатанты, полученные при центрифугировании 30' при 4500 об/мин, имели интенсивность ДРС близкую к таковой в фильтрах через капсулы 0.45 мкм. Это позволило рассчитать плотность субмикронных частиц речной взвеси, которая оказалась равной 1.184 г/см^3 , что свидетельствует об их существовании в речных водах в виде достаточно рыхлых агрегатов. Приняв, что это справедливо и для всей пелитовой составляющей взвеси, был рассчитан минимальный размер частиц, осаждающихся при других использованных нами режимах

центрифугирования: 5'/1500 – 2.96 мкм; 12'/1500 – 1.9 мкм; 6'/3000 – 1.35 мкм; 10'/3000 – 1.0 мкм; 15'/3000 – 0.85 мкм; 20'/3500 – 0.63 мкм, и как упоминалось выше, 30'/4500 – 0.45 мкм.

Интенсивность ДРС в нефилтрованных речных водах линейно зависела от содержания взвеси, особенно когда оно было меньше 150 мг/л. При фильтрации через капсульные фильтры 0.45 мкм интенсивность ДРС в фильтратах снижалась в 3–10 раз, однако положительная корреляционная связь с содержанием взвеси в исходных пробах сохранялась: чем больше общее количество взвеси, тем больше и содержание крупных коллоидов < 0.45 мкм, проходящих через фильтр. При фильтрации первых 100–200 мл проб через стандартную мембрану (\varnothing 47 мм, размер пор 0.45 мкм) интенсивность ДРС фильтрата также снижалась в несколько раз, но уже после 300–400 мл опускалась до 1000–2000 имп/с, что указывает на практическое отсутствие в фильтрате коллоидных частиц > 1нм. Таким образом, метод ДРС позволяет количественно оценить степень коагуляции мембранных фильтров, и сравнить эффективность фильтрации через мембранные и капсульные фильтры.

При центрифугировании интенсивность ДРС в супернатантах снижалась медленнее при изменении размера частиц от 3 до 1 мкм, чем в интервале от 1 до 0.45 мкм. Подобная динамика изменения интенсивности ДРС указывает на большее содержание частиц 0.45–1 мкм по сравнению с 1–3 мкм. Масштаб снижения интенсивности ДРС при центрифугировании был максимальным (в 5.5 раз) в пробах, отобранных в паводок при содержании взвеси 126 мг/л, и уменьшался в межень при 14.2 мг/л взвеси (в 3.7 раз).

Таким образом, изменение интенсивности ДРС центрифугатов при увеличении скорости и времени центрифугирования соответствует общей тенденции положительной зависимости интенсивности ДРС от содержания частиц в воде, и может быть использовано для характеристики эффективности центрифугирования при разделении крупных коллоидов и взвешенных частиц размером 0.45–3 мкм. Недостатком метода является то, что интенсивность ДРС, как характеристики содержания частиц, может быть однозначно соотнесено с массовой концентрацией взвешенных частиц только для исходных не сепарированных проб речной воды. Прямое определение массовой концентрации частиц в отдельных фракциях объемом 50–100 мл, выделяемых при центрифугировании и фильтрации, труднореализуемо.

Изменение концентрации химических элементов в фильтратах и центрифугатах, полученных при различных условиях сепарации, зависит от доли взвешенных и крупных коллоидных форм в общем содержании элементов в воде. При доминировании в балансе ионных форм и комплексов, или мелких коллоидов, проходящих через коагулированные фильтры и не осаждающихся при центрифугировании, концентрация химических элементов и в фильтратах, и в центрифугатах будет

постоянной. Это действительно наблюдается для Na, K, Ca, Mg, B, Sr. Концентрация растворенного органического углерода (РОУ) также не обнаруживает заметного снижения при центрифугировании и при кольматации фильтров, что указывает на его существование в изученных реках в виде мелких коллоидов. Это подтверждается и детальными исследованиями с использованием ультрафильтрации и диализа [8].

Изменение концентрации в фильтратах при кольматации мембран определяется соотношением крупнокolloидных, мелкоколлоидных и растворенных фракций <0.45 мкм, поэтому положительная корреляционная связь с уменьшением интенсивности ДРС в фильтратах наблюдается только для элементов Fe, Al, Ti, PЗЭ с наиболее высокой долей крупных коллоидов <0.45 мкм.

Для центрифугатов связь интенсивности ДРС с химическим составом проявлена для гораздо большего числа элементов. Так для Li, Si, Mn, Co, Ni, Cu, As, Se, Rb, Cs, Ba, U – элементов с преобладанием растворенных форм в речных водах, имеет место заметное снижение концентрации в центрифугатах по мере возрастания скорости центрифугирования, уменьшения размера осаждающихся частиц, и падения интенсивности ДРС. Такая ситуация для этих химических элементов наблюдается при всех водных режимах, за исключением зимней межени, когда концентрация в центрифугатах постоянна. Таким образом, поведение широкого круга элементов при сепарации зависит и от водного режима, который контролирует содержание взвеси и крупных коллоидов.

Наиболее выраженное снижение концентрации в центрифугатах демонстрируют Fe, Al, Ti, Th, Sc, PЗЭ – химические элементы для которых характерна максимальная роль взвешенных и крупно-коллоидных форм в речных водах [1, 8]. При интенсификации центрифугирования и уменьшении расчетного размера осаждающихся частиц от 3 до 0.45 мкм концентрация этих металлов уменьшается в 2–9 раз для Fe, Al, Ti и в 1.8–6 раз для PЗЭ и других элементов-гидролизатов. Наблюдается сходство зависимости уменьшения интенсивности ДРС и снижения концентрации этих химических элементов в центрифугатах при уменьшении размера осаждающихся частиц. Соответственно, имеет место положительная линейная связь между концентрацией элементов-гидролизатов и интенсивностью ДРС в центрифугатах, как для отдельно взятых проб, так и для всей выборки изученных проб независимо от водного режима. Это подтверждает доминирующий контроль концентрации Fe, Al, Th, Sc, PЗЭ в центрифугатах содержанием остающихся там при центрифугировании крупных коллоидов (0.45–1 мкм) и пелитовой взвеси (1–3 мкм), что, в свою очередь, отражается в величине интенсивности ДРС. Кроме того, это является доказательством того, что интенсивность ДРС в центрифугатах пропорциональна массовой концентрации крупных коллоидов и тонкой взвеси.

Таким образом, метод ДРС может быть рекомендован для контроля эффективности разделения коллоидных и субмикронных частиц при фильтрации и центрифугирования в ходе проведения химического анализа речных и, вероятно, прибрежно-морских и эстуарных вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 23-27-00029.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В., Лисицын А.П., Геохимическое взаимодействие пресноводной и морской гидросфер // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 5–6. С. 721–744.
2. РД 52.24.353-2012. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. М.: Росгидромет, ГХИ, 2012. 35 с.
3. РД 52.24.468-2005. Взвешенные вещества и общее содержание примесей в водах. Методика выполнения измерений массовой концентрации гравиметрическим методом. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. - Ростов-на-Дону, 2005. 17 с.
4. Horowitz A.J. A review of selected inorganic surface water quality-monitoring practices: are we really measuring what we think, and if so, are we doing it right? // Environ. Sci. Technol. 2013. V. 47. P. 2471–2486.
5. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Еловский Е.В. Влияние коагулирования фильтров на определение концентрации истинно-растворенных и коллоидных форм миграции химических элементов в речных водах // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 1. С. 91–102.
6. Filella M., J. Zhang, Newman M.E., Buffle J. Analytical applications of photon correlation spectroscopy for size distribution measurements of natural colloidal suspensions: capabilities and limitations // Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 1997. V. 120. P. 27–46.
7. Шулькин В.М. Использование метода динамического рассеяния света (ДРС) для оценки эффективности разделения взвешенных и коллоидных частиц речных вод // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2023 (в печати).
8. Pokrovsky O.S., Schott J. Iron colloids/organic matter associated transport of major and trace elements in small boreal rivers and their estuaries (NW Russia) // Chemical Geology, 2002. V.190. P. 141–179.

The application of the DLS method to control the efficiency of centrifugation and filtration in the separation of dissolved, colloidal and suspended particles is studied on the example of rivers at the south of the Far East of the Russian Federation, including the Amur River. The proportionality between the intensity of the DLS and the content of particles in river waters, as well as in centrifuges and filtrates, has been established. This allows us to recommend the DLS method for assessing the dynamics of membrane clogging during filtration, and determining centrifugation modes for separation of particles with a size of $<0.45\text{--}3\ \mu\text{m}$ during chemical analysis of river, and probably estuarine and coastal waters.

Gerivani H.¹, Putans V.²

(¹Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran, Email: Gerivani@inio.ac.ir; ² Shirshov Institut of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia)

Assessment of the influence of aeolian transport of dust particles on marine sedimentation in the South Caspian Basin during the last 14000 BP

Геривани Х.¹, Пуганс В.²

(¹Иранский национальный институт океанографии и наук об атмосфере, Тегеран, Иран; ²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия)

Оценка влияния эолового переноса пылевых частиц на морское осадконакопление в Южно-Каспийской впадине за последние 14000 лет

Key words: Caspian Sea, Dusty Sediments, Climate Change

Short cores from the eastern part of the southern Caspian Sea were studied geochemically and compared with the aerosol flux recorded in Lake Neor to identify a probable trace of aeolian deposition. A change in the main aerosol source for the South Caspian Sea from Central Asian to Afro-Asian after 6000 BP was noted.

Introduction: Transport of dust materials into the marine basins supplies essential micro and macro-nutrients to marine ecosystems [1, 2]. In addition to the impact of aeolian material on the sea surface biogeochemistry, it has an important role on the Earth's climate by modifying cloud formation [3], radiation budget [4], and general atmospheric circulations [5]. Also, dust storms can severely impact on human health [6].

During the recent years, dusts blowing from the west Asian deserts have been reached to the southern Caspian Sea as shown in fig. 1 as a sample.

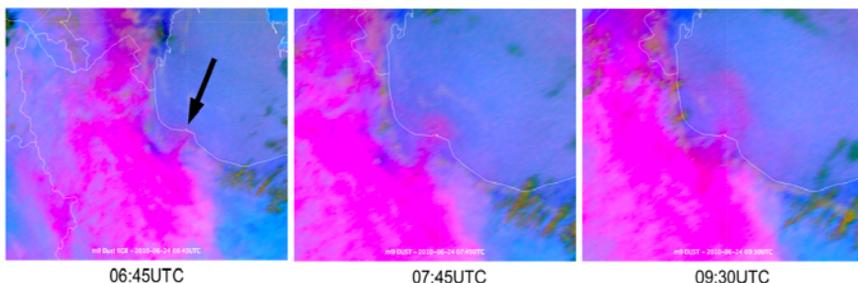


Figure 1. Dust plume coming from west Asian deserts blow through Manjil Gap in Alborz Mountains into the Caspian Basin. Meteosat-9 RGB Composite IR12.0–IR10.8, IR10.8–IR8.7, IR10.8 (Dust RGB), 24 June 2010, 06:45 07:45 and 09:30 UTC (published by Ebrahim As'adi in Iran Meteorological Organization and

Additionally, based on satellite images, dusts sourced from Central Asia and west of the Volga River have been reported over the Caspian Sea. It is expected that these dust materials can affect sedimentation in the Caspian Basin not only in the present days but also in previous millennia. In the present study, the trace of aeolian particles during the Holocene and Late Pleistocene in the sediments collected from Southern Caspian Basin was assessed based on geochemical analysis.

Study area, materials and methods: A short sediment core was retrieved from deep basin (water depth of 600 m) of the eastern part of the south Caspian Sea using a KC gravity corer (fig. 2). Continuous XRF measurements for every 0.5 cm were performed in CEREGE laboratory of Aix-Marseille University (France). Two bulk samples taken from different horizons of the core were dated in Poznan Radiocarbon Laboratory by ^{14}C method.

Comparing the geochemical anomalies and characteristics of sediments in the Southern Caspian Basin with dust flux analysis on the sediments of Neor Lake [7] that located in the west of the Sea, traces of dusty materials deposited during the last 14000 years were evaluated in the southern Caspian Basin.



Figure 2. Study area

Results and Discussion: According to the radiocarbon dating, non-calibrated ages for the samples taken at the depths of 86 and 134 cm of the core were determined 6660 ± 40 BP and 11630 ± 50 BP, respectively. The radiocarbon ages were calibrated based on the Marine20 curve with $1\sigma = 147 \pm 90$ 14C yr. The sediments of the core could go back to Younger Dryas and even older.

In this study, concentration of the elements in the studied core with dust flux reported by [7] in the Neor Lake were compared to assess if there is any traces of dusty sediments. An increase of Ca concentration can be seen during the Yanger Darias in the Southern Caspian Basin which is in contrast with observation in the middle Caspian Basin and Black Sea where Yanger Darias was characterized by

lower values of Ca (XRF) and carbonates [8, 9]. So, it is expected that the observed anomalously high concentration of Ca should be affected by a local environmental change [7] based on the data of Neor Lake showed that Yanger Darias in this region associated with high dust flux period which happened due to southward displacement of the Northern Hemisphere Summer Westerly Jet across Neor Lake. Comparing the dust flux in Neor Lake and Ca concentration in the southern Caspian Basin reveals a remarkable correlation during Yanger Darias as shown in figure 3 which itself suggests transportation of significant amounts of aeolian sediments to the South Caspian Basin during this period. It seems that anomalies concentration of Ca during the Yanger Darias in the study area occurred likely due to the geochemical composition of the transported dust materials.

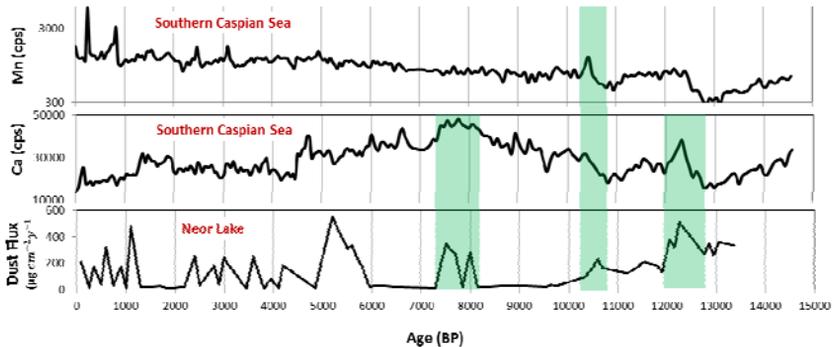


Figure 3. Comparing the Ca and Mn concentration in the Southern Caspian Basin (core BS600) and dust flux measured in the sediments of Neor.

Considering fig. 3, it can be seen that the period between 7,800 BP and 8,200 BP is associated with high dust flux. So, it can be imagined that the observed difference in the sediment records of the Southern Caspian Basin was probably caused by huge volume of aeolian sediments transported to the basin. In addition, there is a short peak of Mn concentration around 11,400 BP which is not support with any anomalous variation of other parameters. In this time, there was a short increase of dust flux as can be seen on the figure which probably caused transportation of higher amount of Mn into the Southern Caspian Basin.

An environmental change happened around 6,000 BP in the west of Asia that has been marked with high dust flux in Neor Lake [7]. This change can be identified in the studied core with sharp fall of MS values. In contrast to the correlation of dust flux and geochemical composition of sediments during the early Holocene, the high dust flux recorded in Neor Lake during the Mid Holocene cannot be related to the sediments in the studied core. In other word, there is a correlation between dust fluxes recorded in Neor Lake and the chemical composition of the sediments in the eastern side of the Southern Caspian Basin before ~6,000 BP which is not observable after this time. [7] showed that the

composition of dust changed after 6,000 BP as a function of land exposure and prevailing atmospheric circulation regimes. They showed that during the early Holocene, the Northern Hemisphere Summer Westerly Jet was displaced northward across the Southern Caspian region and consequently, it coupled with lower dust emissions due to greening of the Afro-Asian Dust Belt, likely led to dominating dust coming from new developed sources in Central Asia. In contrast, during the mid-late Holocene, dusts coming from the sources in Eastern African and western-southwest Asian had prevailed.

The lake and the studied core in the Southern Caspian Basin are located in close latitudes. Considering the direction of the winds mostly transporting dust during the early Holocene, it is expected that the dusts recorded in Neor Lake had to pass over the Southern Caspian Basin and some of dusts deposited in the Basin. So, it can be concluded that probably before 6,000 BP coming dust from Central Asia and Siberia, during summers, affected both Southern Caspian Basin and Neor Lake. After this time that the dominated dust sources changed to Afro-Asian Dust Belt, the coming dust has been much closer to Neor Lake in compare to the eastern side of the Southern Caspian Basin. In addition the Alborz Mountains, working as a wall in front of dusts coming from south, has been much higher in the south of the Caspian Sea in compare to the south-west of Neor Lake. So, dusts have been deposited much more in Neor Lake and the likely transported aeolian sediments into the eastern side of the Southern Caspian Basin has not been as much as it could affect the chemical composition of the sediments, considerably. Despite the above discussion, the question remains unanswered as to why during Yanger Darias when it is assumed that the dust came mainly from the south, the concentration of Ca in BS600 shows accordance with dust flux in the lake.

Conclusion: A short cores from the eastern side of the south Caspian Sea were analysed geochemically and compared with dust flux recorded in Neor Lake to find the likely trace of aeolian sediments. Higher concentrations of Mn and Ca showed correlation with dust fluxes during Younger Dryas, period of 7,800 BP to 8,200 BP and also around 11,400 BP is associated. All this correlation happened for time before 6000 BP and after this time no correlation can be seen. This observation can be related to the major environmental change occurred in Mid-Holocene which associated with changing of the dominated sources of dusts in the Caspian region from Central Asia to Afro-Asian dust belt.

Acknowledgements: Authors would like to thank the Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science for providing financial and laboratorial support. Also, authors would like to thank Poznań Radiocarbon Laboratory and CEREGE laboratory of Aix-Marseille University for C-14 dating and XRF Scan tests, consequently.

REFERENCES

1. Mahowald N.M., Scanza R., Brahney J., Goodale C.L., Hess P.G., Moore J. K., Neff J. Aerosol deposition impacts on land and ocean carbon cycles // *Current Climate Change Reports*. 2017. V. 3(1). P. 16–31.
2. Anderson R.F. GEOTRACES: Accelerating Research on the Marine Biogeochemical Cycles of Trace Elements and Their Isotopes // *Annual Review of Marine Science*. 2020. V. 12. P. 49–85.
3. Tang W., Yang K., Qin J., Li X., Niu X. A 16-year dataset (2000–2015) of high-resolution (3 h, 10 km) global surface solar radiation // *Earth System Science Data*. 2019. V. 11(4).
4. Kedia S., Kumar R., Islam S., Sathe Y., Kagainalkar A. Radiative impact of a heavy dust storm over India and surrounding oceanic regions // *Atmospheric Environment*. 2018. V. 185. P. 109–120.
5. Evan A.T., Foltz G.R., Zhang D., Vimont D.J. Influence of African dust on ocean–atmosphere variability in the tropical Atlantic // *Nature Geoscience*. 2011. V. 4(11). P. 762–765.
6. Sarkar S., Chauhan A., Kumar R., Singh R.P. Impact of deadly dust storms (May 2018) on air quality, meteorological, and atmospheric parameters over the northern parts of India // *GeoHealth*. 2019. V. 3(3). P. 67–80.
7. Sharifi A., Murphy L.N., Pourmand A., Clement A.C., Canuel E.A., Beni A.N., Lahijani H.A., Delanghe D., Ahmady-Birgani H. Early-Holocene greening of the Afro-Asian dust belt changed sources of mineral dust in West Asia // *Earth and Planetary Science Letters*. 2018. V. 481. P. 30–40.
8. Strechie-Sliwinski C. Changements environnementaux recents dans la zone de Nord-Ouest de la mer Noire. PhD thesis. Universite Paris Sud, GeoEcoMar, 2007. 270 p.
9. Tudryn A., Leroy S.A.G., Toucanne S., Gibert-Brunet E., Tucholka P., Lavrushin Y., Dufaure O., Miska S., Bayon G. The Ponto-Caspian basin as a final trap for southeastern Scandinavian Icesheet meltwater // *Quat Sci Rev* 2016. V. 148. 29–4.

Короткие керны из восточной части южной части Каспийского моря были изучены геохимически и сопоставлены с аэрозольным потоком, зарегистрированным в озере Неор, для выявления вероятного следа эоловых отложений. Отмечена смена основного источника аэрозолей для Южного Каспия с центрально-азиатского на афро-азиатский после 6000 л.н.

Научное издание
Сборник

ISBN 978-5-6051054-3-5

DOI: 10.29006/978-5-6051054-3-5-2023

Геология морей и океанов
Материалы XXV Международной научной конференции
(Школы) по морской геологии.

Том IV.

Москва, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
2023. – 287 с.

ISBN 978-5-6051054-3-5



ISBN 978-5-6051054-3-5