



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

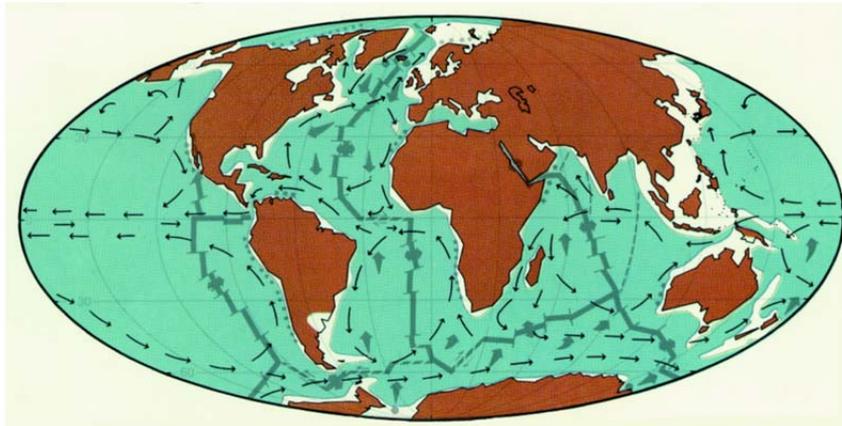
Материалы  
XXIV  
Международной  
научной  
конференции  
(Школы)  
по морской  
геологии

Москва

2021

# ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Том II



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

**ГЕОЛОГИЯ  
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

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

**Москва, 15–19 ноября 2021 г.**

**Том II**

**GEOLOGY  
OF SEAS AND OCEANS**

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

**Moscow, November 15–19, 2021**

**Volume II**

Москва / Moscow  
ИО РАН / IO RAS  
2021

**ББК 26.221  
Г35  
УДК 551.35**

**Геология морей и океанов: Материалы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – М.: ИО РАН, 2021. – 295 с.**

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

В томе II рассмотрены проблемы изучения микро- и наночастиц, а также потоков вещества и энергии (атмо-, крио-, гидро-, лито- и седиментосферы), а также исследований по проблеме «Система Белого моря».

**ISBN 978-5-6045110-5-3**

**DOI: 10.29006/978-5-6045110-5-3**

Доклады опубликованы в авторской редакции.  
Ответственный редактор к.г.-м.н. Н.В. Политова  
Рецензенты

академик Л.И. Лобковский, к.г.-м.н. В.П. Шевченко,  
д.г.-м.н. И.А. Немировская, к.г.-м.н. М.Д. Кравчишина

**Geology of seas and oceans: Proceedings of XXIV International Conference on Marine Geology. Vol. II. – Moscow: IO RAS, 2021. – 295 pp.**

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

Volume II includes reports devoted to the problems of investigations of micro- and nanoparticles, and mass and energy fluxes (atmo-, cryo-, hydro-, litho- and sedimentospheres), and the investigations on problem “White Sea system”.

**ISBN 978-5-6045110-5-3  
ББК 26.221**

**© ИО РАН 2021**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

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

<i>Агафонова Е.А., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н.</i> Диатомовые водоросли в осадочном веществе котловины Норвежского моря	14
<i>Агафонова Е.А., Новигатский А.Н., Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А.</i> Состав сообществ диатомовых водорослей в осадочном веществе восточной части Баренцева моря	19
<i>Белкина Н.А., Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Кулик Н.В., Ефременко Н.А., Здоровеннова Г.Э., Лудикова А.В., Гатальская Е.В., Здоровеннов Р.Э., Потахин М.С., Рябинкин А.В., Кухарев В.И.</i> Изучение современной седиментационной обстановки в Онежском озере	24
<i>Беспалова А.И., Таловская А.В., Белошейкина А.В.</i> Сравнительная характеристика минерально-вещественного состава проб твердой фазы снегового покрова в промышленных районах (бассейны р. Томь и р. Бюря)	29
<i>Бобров В.А.</i> История развития и особенности концентрирования химических элементов в разрезе торфяника Выдринский (Южное Прибайкалье)	34
<i>Будаева Ю.С., Таловская А.В., Язиков Е.Г., Торосян Е.С.</i> Анализ вещественного состава твердого осадка снега на территории г. Юрга (Кемеровская область)	39
<i>Виноградова А.А.</i> Черный углерод в атмосфере на острове Врангеля: вклады антропогенных источников и пожаров Евразии и Америки	44
<i>Глазырин Е.А., Алешин Б.Н.</i> К выявлению субмаринной разгрузки подземных вод на восточном секторе Черного моря России	49
<i>Глазырина Н.В., Шейков А.А.</i> Особенности химического состава четвертичных донных отложений юго-восточной части Российского сектора Черного моря	54
<i>Глазырина Н.В., Шейков А.А.</i> Петрографическая характеристика алевропесчаной фракции донных осадков восточной части котловины Черного моря	59
<i>Дарьин А.В., Ракиун Я.В., Дарьин Ф.А., Сороколетов Д.С.</i> Методика поиска субмикронных частиц в донных осадках с	64

использованием синхротронного излучения	
<i>Денисов В.И., Латун В.В.</i> Потоки химических элементов в составе осаждающегося взвешенного вещества в зоне маргинального фильтра шельфа Черного моря	68
<i>Дивинский Б.В., Дунаев Н.Н., Косьян Р.Д.</i> Климатические особенности вдольбереговых потоков донных осадков в прибрежной зоне п-ва Икакос (Куба)	73
<i>Килесо А.В., Куприянова А.Е., Гриценко В.А.</i> Гидродинамическая неустойчивость Рэлея-Тэйлора и изменчивость береговой морфосистемы Калининградского полуострова	78
<i>Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Булохов А.В.</i> Вертикальные потоки осадочного вещества на северном сегменте хребта Мона (Норвежское море) по данным АГОС 2019–2020 гг.	82
<i>Ковалев В.В.</i> Закономерности распределения взвешенного вещества в водной толще Каспийского моря	87
<i>Котова Е.И., Коробов В.Б., Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Титова К.В.</i> Влияние мезорельефа на состав снежного покрова	92
<i>Котова Е.И., Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Титова К.В.</i> Состав атмосферных осадков, выпадающих на территории Архангельской области в зимний период	96
<i>Кулик Н.В., Ефременко Н.А., Белкина Н.А., Страховенко В.Д., Гатальская Е.В.</i> Геохимические особенности воды и водной взвеси притоков Онежского озера (предварительные результаты 2020-2021 г.)	100
<i>Леонтьев И.О.</i> Индекс размыва для песчаного берега	104
<i>Лохов А.С., Кравчишина М.Д.</i> Гранулометрический состав взвеси в области кокколитофоридных цветений в Баренцевом море	108
<i>Малов Г.И., Страховенко В.Д., Овдина Е.А.</i> Минералого-геохимическая характеристика озёрной системы «Бирюзовое» (Горный Алтай)	113
<i>Малов В.И., Страховенко В.Д., Субетто Д.А., Белкину Н.А.</i> Изменение минерального состава шунгитовых пород острова Березовец при выветривании	118
<i>Мигдисова И.А., Стародымова Д.П., Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Булохов А.В.</i> Изменчивость состава	123

осадочного вещества в седиментационной системе Лофотенской котловины Норвежского моря	
<i>Митяев М.В., Герасимова М.В.</i> Изменение концентрации нерастворимых частиц в свежес выпавшем снеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018-2021 гг.	128
<i>Митяев М.В., Герасимова М.В.</i> Литодинамика осадочного вещества в губах Карельского побережья в 2016-18 гг.	133
<i>Овдина Е.А., Страховенко В.Д., Малов В.И., Малов Г.И.</i> Влияние локального источника эмиссии газа на геохимию и минералогию донных отложений оз. Щучье Базовое (юг Западной Сибири)	138
<i>Савенко А.В.</i> Кажущаяся (условная) неконсервативность поведения кальция и гидрокарбонатов в устьях рек Черноморского побережья России	143
<i>Савенко А.В., Покровский О.С.</i> Закономерности миграции главных ионов и растворенных микроэлементов в устье р. Савушкина (о. Парамушир, Северные Курилы)	148
<i>Сапрунова И.А., Таловская А.В.</i> Минерально-вещественный состав уличной пыли как индикатор состояния окружающей среды (на примере города Междуреченск, Кемеровская область)	153
<i>Серебряный А.Н., Химченко Е.Е., Тарасов Л.Л., Попов О.Е., Кенигсбергер Г.В., Нешенко И.П.</i> Вброс взвешенного вещества рекой Кодор на шельф Черного моря по данным ADCP: продолжение исследований	158
<i>Сорокина В.В., Ковалева Г.В., Попов Ю.В., Назаренко А.В., Дюжова К.В., Сорокина В.Д.</i> Состав эоловых частиц пыльных бурь в Восточном Приазовье в 2019-2020 гг.	163
<i>Страховенко В.Д., Овдина Е.А., Малов В.И., Белкина Н.А., Потахин М.С., Ефременко Н.А.</i> Сопоставление геохимического и минерального состава речной взвеси и осадочного материала седиментационных ловушек различных районов Онежского озера	168
<i>Топчая В.Ю., Котова Е.И., Чечко В.А.</i> Роль локального и трансграничного атмосферного переноса в антропогенной нагрузке на береговую зону Калининградской и Архангельской областей	173
<i>Чечко В.А., Топчая В.Ю., Кривошлык П.Н.</i> Органоминеральные образования Вислинской лагуны	177

Балтийского моря	
<i>Шевченко В.П., Виноградова А.А., Голобокова Л.П., Копейкин В.М., Макаров В.И., Новигатский А.Н., Панченко М.В., Попова С.А., Сакерин С.М., Стародымова Д.П., Ходжер Т.В.</i> Тридцать лет исследований рассеянного осадочного вещества в атмосфере Арктики	179
<i>Юшманова А.В., Глуховец Д.И., Артемьев В.А.</i> Учет стратификации оптических характеристик морской воды для расчета эффективных значений спектров показателя поглощения взвешенного вещества	184
<b>Система Белого моря, 4-D исследования</b>	
<i>Бакунович Л.И., Белашев Б.З., Шаров Н.В.</i> Объемная модель неоднородностей в земной коре Беломорья по комплексу геолого-геофизических данных	190
<i>Вахрамеева Е.А., Лосяк Г.Н.</i> Основные характеристики состава донных отложений реликтового озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море)	194
<i>Гордеев В.В., Новигатский А.Н., Коченкова А.И.</i> Влияние зоны маргинального фильтра реки Северной Двины на вынос взвеси, железа и марганца в открытую область Белого моря	199
<i>Демиденко Н.А., Алабян А.М., Панченко Е.Д.</i> Динамика взвешенных наносов и процессы седиментации в эстуариях Мезени и Кулоя Белого моря	204
<i>Зарецкая Н.Е., Корсакова О.П., Баранов Д.В., Луговой Н.Н.</i> Поздненеоплейстоценовый разрез юго-восточного Беломорья	209
<i>Иглин С.М., Коробов В.Б.</i> Исследование влияния глубины судоходного канала на его заносимость в период сильных штормов на устьевом взморье Северной Двины	214
<i>Коробов В.Б.</i> Исследования устьевых областей малых рек Белого моря ИО РАН в XXI веке	219
<i>Косевич Н.И., Брянцева Г.В., Рысакова М.А.</i> Морфоструктуры дна пролива Великая Салма (Кандалакшский залив Белого моря)	224
<i>Котова Е.И., Новикова Ю.В., Махнович Н.М.</i> Альгофлора снежного покрова побережья Белого моря в марте 2021 г.	229
<i>Краснова Е.Д.</i> Беломорские отделяющиеся от моря водоемы: к вопросу о природе меромиксии	234

<i>Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М.</i> Бухта Биофильтров – новый объект исследования сероводородного заражения прибрежных водоемов Белого моря	239
<i>Махнович Н.М.</i> Распределение макрозообентоса на осушках в районе устьев рек Летняя Золотица и Лопшеньга (бассейн Белого моря)	244
<i>Мискевич И.В.</i> О формировании процессов перенасыщения воды кислородом в устьях рек Белого моря в конце зимы	249
<i>Мосеев Д.С., Махнович Н.М., Березина М.О., Брагин А.В.</i> «Подводные луга» zostеры ( <i>Zostera marina</i> L.) в эстуариях Двинского и восточной части Онежского залива Белого моря	253
<i>Мосеев Д.С., Яковлев А.Е., Футоран П.А.</i> О маршах побережья Белого моря на Онежском полуострове	258
<i>Нечаев С.Ю., Никонов А.А.</i> Новые исходные данные и характеристики мощного исторического землетрясения 13 августа 1550 г. (числящегося под 1542 г.) на Русском Севере в Беломорье	263
<i>Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Луговой Н.Н., Шварев С.В., Шилова О.С., Аляутдинов А.Р.</i> Морфодинамика и блоковые движения устьевой области р. Варзуги в голоцене (Терский берег Белого моря)	268
<i>Репкина Т.Ю., Леонтьев П.А., Крехов А.К., Луговой Н.Н., Вяткин Е.Г., Орлов А.В., Корсакова О.П.</i> Новые данные о динамике Зимнего и Абрамовского берегов Белого моря в голоцене	273
<i>Рыбалко А.Е., Зарецкая Н.Е., Репкина Т.Ю., Корсакова О.П., Семенова Л.Р., Субетто Д.А.</i> Четвертичные отложения Белого моря – дискуссионные вопросы и главные палеогеографические даты: итоги 65-летнего изучения	278
<i>Чульцова А.Л., Котова Е.И.</i> Биогенные элементы в снеге на территории Архангельской области в зимние периоды 2018–2019 и 2020–2021 гг.	283
<i>Шварев С.В.</i> Тектонические деформации межледниковых осадков Кольского и Архангельского побережий Белого моря	287
<i>Штанг А.К., Татаринцева В.Г.</i> Динамика содержания фотосинтетических пигментов некоторых видов сфагновых мхов Иласского болотного массива в летний период	292

## CONTENTS

### **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> Diatom assemblages in the Norwegian Sea sedimentary matter	14
<i>Agafonova E.A., Novigatsky A.N., Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A.</i> Diatom assemblages in eastern Barents Sea sedimentary matter	19
<i>Belkina N.A., Strahovenko V.D., Subetto D.A., Kulik N.V., Efremenko N.A., Zdorovennova G.E., Ludikova A.E., Gatal'skaja E.V., Zdorovennov R.E., Potakhin M.S., Ryabinkin A.V., Kukharev V.I.</i> The study of the modern sedimentation situation in Lake Onego	24
<i>Bespalova A.I., Talovskaya A.V., Belosheykina A.V.</i> Comparative characteristics of mineral-phase composition of samples of the solid phase of the snow cover in industrial areas (basins of the Tom and Burya rivers)	29
<i>Bobrov V.A.</i> History of the formation and concentration of chemical elements in the Vydrinsky peat bog (Southern Baikal region)	34
<i>Budaeva Y.S., Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Torosyan E.S.</i> Analysis of the material composition of solid snow sediment on the territory of the city of Yurga (Kemerovo region)	39
<i>Vinogradova A.A.</i> Black carbon in the Wrangel Island atmosphere: contributions of anthropogenic sources and fires of Eurasia and America	44
<i>Glazyrin E.A., Aleshin B.N.</i> To identifying submarine groundwater discharge in the eastern sector of the Russian Black Sea	49
<i>Glazyrina N.V., Sheykov A.A.</i> Features of the chemical composition of Quaternary bottom sediments in the southeastern part of the Russian sector of the Black Sea	54
<i>Glazyrina N.V., Sheykov A.A.</i> Petrographic characteristics of the silty-sandy fraction of Quaternary bottom sediments in the eastern part of the Black Sea basin	59
<i>Darin A.V., Rakshun Ya.V., Darin F.A., Sorokoletov D.S.</i> A searching technique for submicron particles in bottom sediments	64

using synchrotron radiation	
<i>Denisov V.I., Latun V.V.</i> Fluxes of chemical elements in the composition of the deposited suspended matter in the marginal filter zone of the Black Sea shelf	68
<i>Divinsky B.V., Dunaev N.N., Kosyan R.D.</i> Climatic features of alongshore sediments transport in the coastal zone of the Icacos Peninsula (Cuba)	73
<i>Kilesa A.V., Kupriyanova A.E., Gritsenko V.A.</i> Raylay-Taylor hydrodynamic instability and variability of the shore morphosystem of the Kaliningrad peninsula	78
<i>Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N., Bulokhov A.V.</i> Vertical particle fluxes at northern part of the Mohns Ridge (Norwegian Sea) according to ADOS data of 2019–2020	82
<i>Kovalev V.V.</i> Distribution of the suspended particle matter in the water column of the Caspian Sea	87
<i>Kotova E.I., Korobov V.B., Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Titova K.V.</i> Effect of mesorelief on snow cover composition	92
<i>Kotova E.I., Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Titova K.V.</i> The composition of atmospheric precipitation of the Arkhangelsk region in winter	96
<i>Kulik N.V., Efremenko N.A., Belkina N.A., Strahovenko V.D., Gatal'skaja E.V.</i> Geochemical features of water and suspended matter obtained from the water of the tributaries of Lake Onego (preliminary results 2020–2021)	100
<i>Leont'yev I.O.</i> Index of erosion for a sandy beach	104
<i>Lokhov A.S., Kravchishina M.D.</i> Grain size of suspended particulate matter in the area of coccolithophore bloom in the Barents Sea	108
<i>Malov G.I., Strakhovenko V.D., Ovdina E.A.</i> Mineralogical and geochemical characteristics of the lake system "Biryuzovoe" (Altai Mountains)	113
<i>Malov V.I., Strakhovenko V.D., Subetto D.A., Belkina N.A.</i> Alteration mineral composition of shungite rocks of Berezovets Island during weathering	118
<i>Migdisova I.A., Starodymova D.P., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Bulokhov A.V.</i> Variability of the composition of sedimentary matter in sedimentation system of the Lofoten basin of the Norwegian Sea	123
<i>Mityaev M.V., Gerasimova M.V.</i> Change in the concentration of	128

insoluble particles in fresh snow in the North-West of the Kola Peninsula in 2018–2021	
<i>Mityaev M.V., Gerasimova M.V.</i> Lithodynamics of sedimentary matter in the bays of the Karelian coast in 2016–2018	133
<i>Ovdina E.A., Strakhovenko V.D., Malov V.I., Malov G.I.</i> The influence of a local gas emission source on the geochemistry and mineralogy of the bottom sediments of Lake Shchuchye Bazovoe (south of Western Siberia)	138
<i>Savenko A.V.</i> Apparent (conditional) non-conservatism of the behavior of calcium and hydrocarbonates in the river mouths of the Black Sea coast of Russia	143
<i>Savenko A.V., Pokrovsky O.S.</i> Regularities of migration of the major ions and dissolved trace elements in the mouth of the Savushkina River (Paramushir Island, Northern Kuriles)	148
<i>Saprunova I.A., Talovskaya A.V.</i> Mineral-material composition of street dust as an indicator of the state of the environment (on the example of the city of Mezhdurechensk, Kemerovo region)	153
<i>Serebryany A.N., Khimchenko E.E., Tarasov L.L., Popov O.E., Kenigsberger G.V., Neshenko I.P.</i> Discharge of suspended matter by the Kodor River to the Black Sea shelf according to ADCP data: continuation of research	158
<i>Sorokina V.V., Kovaleva G.V., Popov Yu.V., Nazarenko A.V., Dyuzhova K.V., Sorokina V.D.</i> Composition of Aeolian particles of dust storms in the Eastern Sub-Azov region in 2019–2020	163
<i>Strakhovenko V.D., Ovdina E.A., Malov V.Yg., Belkina N.A., Potahin M.S., Efremenko N.A.</i> Comparison of the geochemical and mineral composition of river suspension and sedimentary material of sedimentation traps in various areas of Lake Onega. of the Lake Onega	168
<i>Topchaya V.Yu., Kotova E.I., Chechko V.A.</i> The role of local and transboundary atmospheric transport in the anthropogenic pressure on the coastal zone of the Kaliningrad and Arkhangelsk regions	173
<i>Chechko V.A., Topchaya V.Yu., Krivashlyk P.N.</i> Organomineral formations of the Vistula Lagoon of the Baltic Sea	177
<i>Shevchenko V.P., Vinogradova A.A., Golobokova L.P., Kopeikin V.M., Makarov V.I., Novigatsky A.N., Panchenko M.V., Popova S.A., Sakerin S.M., Starodymova D.P., Khodzher T.V.</i> Thirty years of studies of dispersed sedimentary matter in the Arctic	179

atmosphere	
<i>Yushmanova A.V., Glukhovets D.I., Artemiev V.A.</i> Taking into account the stratification of the seawater optical characteristics for calculating the effective values of the spectral absorption coefficient of suspended matter	184
<b>White Sea System, 4-D investigations</b>	
<i>Bakunovich L.I., Belashev B.Z., Sharov N.V.</i> Volumetric model of inhomogeneities in the Earth's crust of Belomorye by complex geological and geophysical data	190
<i>Vakhrameeva E.A., Losyuk G.N.</i> The main characteristics of the composition of the bottom sediments of the relict lake Mogilnoye (Kildin Is., Barents Sea)	194
<i>Gordeev V.V., Novigatsky A.N., Kochenkova A.I.</i> The marginal filter zone of the Severnaya Dvina River influence on the fluxes of suspended matter, iron and manganese to the White Sea open area	199
<i>Demidenko N.A., Alabyan A.M., Panchenko E.D.</i> Suspended sediment dynamics and estuarine sedimentation in the Mezen and Kuloy estuaries of the White Sea	204
<i>Zaretskaya N.E., Korsakova O.P., Baranov D.V., Lugovoy N.N.</i> Late Pleistocene summary section of South-eastern White Sea region	209
<i>Iglin S.M., Korobov V.B.</i> Investigation of the influence of the depth of the navigable canal on its drift during severe storms on the estuary seaside of the Northern Dvina	214
<i>Korobov V.B.</i> Studies of estuarine areas of small rivers of the White Sea by IO RAS in the XXI century	219
<i>Kosevich N.I., Bryantseva G.V., Rysakova M.A.</i> Morphostructures of the bottom of the Velikaya Salma Strait (Kandalaksha Bay of the White Sea)	224
<i>Kotova E.I., Novikova Yu.V., Makhnovich N.M.</i> Algoflora of the snow cover of the White Sea coast in March 2021	229
<i>Krasnova E.D.</i> White Sea isolation basins: on the meromixis genesis	234
<i>Losyuk G.N., Kokryatskaya N.M.</i> Biofiltry Bay – a new object of study of hydrogen sulfide contamination of coastal waters of the White Sea	239
<i>Makhnovich N.M.</i> Distribution of macrozoobenthos on drylands	244

at the mouths of the Letnyaya Zolotitsa and Lopshenga rivers (White Sea basin)	
<i>Miskevich I.V.</i> On the formation of processes of water oversaturation with oxygen at the mouths of the rivers of the White Sea at the end of winter	249
<i>Moseev D.S., Makhnovich N.M., Berezina M.O., Bragin A.V.</i> «Underwater meadows» of <i>Zostera marina</i> L. in the estuaries of the Dvina bay and eastern part of the Onega Bay of the White Sea	253
<i>Moseev D.S., Yakovlev A.E., Futoran P.A.</i> On the marches of the White Sea coast on the Onega Peninsula	258
<i>Nechaev S.Yu., Nikonov A.A.</i> New initial data and characteristics of strong historical earthquake on August 13, 1550 (cataloged under 1542) in the White Sea, Russian North	263
<i>Repkina T.Yu., Zaretskaya N.E., Lugovoy N.N., Shvarev S.V., Shilova O.S., Alyautdinov A.R.</i> Morphodynamics and block uplift and of the mouth area of the river Varzuga in the Holocene (Tersky coast of the White Sea)	268
<i>Repkina T.Yu., Leontiev P.A., Krekhov A.K., Lugovoy N.N., Vyatkin E.G., Orlov A.V., Korsakova O.P.</i> New data on the dynamics of the Zimniy and Abramovskiy coasts of the White Sea in the Holocene	273
<i>Rybalko A.E., Zarezkaya N.E., Repkina T.Yu., Korsakova O.P., Semenova L.R., Subetto D.A.</i> Quaternary deposits of the White Sea - discussions and main paleogeographic dates: results of 65 years of study	278
<i>Chultsova A.L., Kotova E.I.</i> Nutrients in snow on the territory of the Arkhangelsk region in the winter periods 2018–2019 and 2020–2021	283
<i>Shvarev S.V.</i> Tectonic deformations of interglacial sediments of the Kola and Arkhangelsk coasts of the White Sea	287
<i>Shtang A.K., Tatarintseva V.G.</i> Dynamics of the content of photosynthetic pigments of some sphagnum mosses of the Ilas bog massif in summer time	292

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

***MICRO- AND NANOPARTICLES,  
AND MASS AND ENERGY FLUXES  
(АТМО-, СRYО-, 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)

**Диатомовые водоросли в осадочном веществе котловины  
Норвежского моря**

**Agafonova E.A., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D.,  
Novigatsky A.N.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Diatom assemblages in the Norwegian Sea sedimentary matter**

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

Состав диатомовых ассоциаций исследован в осадочном веществе 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. на горизонте 500 м. Данная работа послужит основой для выявления особенностей состава диатомовых ассоциаций осадочного вещества Лофотенской котловины Норвежского моря.

Северная Атлантика относится к району формирования глобальной термогалинной циркуляции, где происходит взаимодействие теплых поверхностных водных масс и холодных полярных вод, перенос и перераспределение мощными квазистационарными струйными течениями осадочного вещества и растворенных элементов [1–3].

Находясь на границе Арктики и Атлантики этот район во многом является ключевым для формирования ледово-гидрологических и климатических условий [4, 5], в большей степени западного сектора Арктики, так как в шельфовых арктических морях изменение гидробиологических условий как в прошлом, так и в настоящем времени определяются главным образом особенностями водообмена в Северо-Атлантическом регионе [6, 7].

На данный момент накоплен обширный материал о составе диатомовых ассоциаций планктонных сообществ [8, 9], поверхностных осадков [10–13] и плейстоцен-голоценовых отложений Северной Атлантики [14–16 и др.]. Однако необходимо более детальное исследование состава диатомовых ассоциаций в осадочном веществе, полученном с помощью седиментационных ловушек, при высокой частоте мониторинга, так как осадочное вещество несет в себе информацию об особенностях осадочного процесса [17], 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 в Лофотенской котловине Норвежского моря за год на горизонте 500 м, при глубине моря 3030 м. Автоматическая глубоководная седиментационная обсерватория с седиментационными ловушками 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. При сборе осадочного вещества флаконы-пробосборники ловушек заполнялись фильтратом морской воды с раствором  $\text{HgCl}_2$  (1 % от насыщенного раствора), соленость которого затем доводилась добавлением  $\text{NaCl}$  до двухкратной солености морской воды на горизонте постановки ловушки (~70 епс) для исключения вымывания фиксирующего раствора из пробосборников. Перед непосредственной подготовкой образцов для диатомового анализа ловушечные пробы просеивали через сито с размером ячеек 1 мм (для удаления свиммеров), а затем фильтровали под вакуумом через предварительно взвешенные ядерные фильтры производства Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна) диаметром 47 мм и размером пор 0.4 мкм. Подготовка проб для диатомового анализа осуществлялась по стандартным методикам [18]. Расчет суммарной годовой концентрации створок диатомей на 1 г сухого осадка (DSK, ств./г) проводился по [19]. На основе данных о потоке осадочного вещества и концентраций диатомей было подсчитано среднее количество створок диатомовых водорослей поступающих на  $\text{м}^2$  в течение суток (ств./ $\text{м}^2$ /сут).

Концентрация диатомей составила 7697 тыс. ств./г, значение потока диатомовых водорослей – 295.8 тыс. ств./ $\text{м}^2$ /сут. В составе диатомовых ассоциаций обнаружено 10 морских планктонных неритических видов, в составе которых доминируют *Neodenticula seminae* (рис. 1а), *Rhizosolenia borealis*, *Thalassiosira antarctica*, *Coscinodiscus radiatus* (рис. 1б), *Shionodiscus oestrupii* (рис. 1в). Последний отражает воздействие теплого североатлантического дрейфа, в то время как *Rhizosolenia borealis* характерен для зон смешения атлантических и арктических водных масс [9, 11].

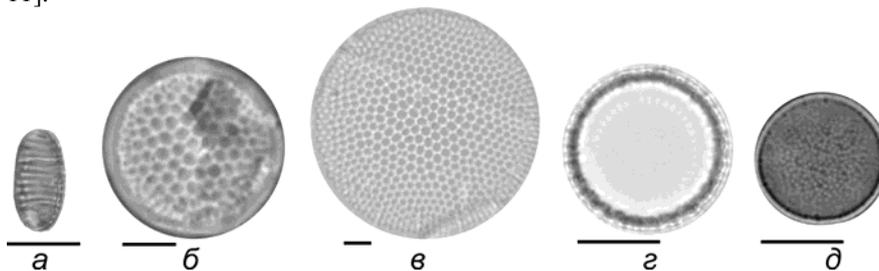


Рис. 1. Микрофотографии обнаруженных видов: а – *Neodenticula seminae*, б – *Shionodiscus oestrupii*, в – *Coscinodiscus radiatus*, г – *Paralia sulcata*, д – *Ehrenbergiulva granulosa*. Размер масштабной линейки – 10  $\mu\text{м}$ .

Обнаруженный в осадочном веществе вид *Neodenticula seminae* является типичным планктонным видом севера Тихого океана [20, 21], который также встречается в планктоне [8, 22] и поверхностных осадках Северной Атлантики [23, 24], единично или в небольших количествах. Считается, что миграция данного вида в воды Северной Атлантики происходит вместе с проникновением теплых северотихоокеанских поверхностных вод через Канадский Арктический архипелаг в периоды минимального развития площади его сезонного ледяного покрова [8, 25]. Также единично встречаются виды *Thalassionema nitzschioides*, *Paralia sulcata* (рис. 1з), *Rhizosolenia hebetata f. hebetata*, *Ehrenbergiulva granulosa* (рис. 1д).

Данная работа послужит основой для выявления особенностей состава диатомовых ассоциаций осадочного вещества Лофотенской котловины Норвежского моря в зависимости от абиотических факторов.

Авторы признательны д.г.н., в.н.с. Е.И. Поляковой за консультации и предоставление ценных определителей диатомей, а также капитану НИС «Академик Мстислав Келдыш» Ю.Н. Горбачу, команде и всему научному составу за помощь в экспедициях. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00787 А).

#### 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., LaCasce 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. Nilsen J.E.Ø., Falck E. Variations of mixed layer properties in the Norwegian Sea for the period 1948–1999 // Progress in Oceanography. 2006. V. 70. № 1. P. 58–90.
5. Volkov D.L., Belonenko T.V., Foux V.R. Puzzling over the dynamics of the Lofoten Basin – a sub-Arctic hotspot of ocean variability // Geophys. Res. Letters. 2013. V. 40. № 4. P. 738–743.
6. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. М.: Научный мир, 1997. 145 с.
7. Иванова Е.В. Глобальная термохалинная палеоциркуляция. М.: Научный мир, 2006. 320 с.
8. 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.
9. Koç N., Miettinen A., Stickley C. Diatom Records. North Atlantic and Arctic // Encyclopedia of Quaternary Science. 2013. P. 562–570.

10. Koç N., Schrader H. Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the Greenland, Iceland and Norwegian Sea // *Paleoceanography*. 1990. V. 5(4). P. 557–580.
11. 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.
12. Justwan A., Koç N. A diatom based transfer function for reconstructing sea ice concentration in the North Atlantic // *Marine Micropaleontology*. 2008. V. 66. P. 264–278.
13. Miettinen A. Diatoms in Arctic regions: Potential tools to decipher environmental changes // *Polar Science*. 2018. V. 18. P. 220–226.
14. 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.
15. Джиноридзе Р.Н. Комплексы диатомовых водорослей из осадков Айс-Фиорда, Шпицберген // *Вестник ЛГУ*. 1986. Сер. 7. № 1. С. 108–111.
16. 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.
17. 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. Лобковского Л.И., Нигматулина Р.И. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.*
18. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.
19. 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.
20. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: АН СССР, 1962. 258 с.
21. 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.
22. 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.
23. 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.

24. 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.
25. 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). This work will serve as a basis for identifying the features of diatom assemblages of sedimentary matter in the Lofoten Basin in the Norwegian Sea, depending on abiotic factors.

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

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

**Состав сообществ диатомовых водорослей в осадочном  
веществе восточной части Баренцева моря**

**Agafonova E.A., Novigatsky A.N., Kravchishina M.D.,  
Klyuvitkin A.A.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Diatom assemblages in eastern Barents Sea sedimentary matter**

Ключевые слова: осадочное вещество, диатомовые водоросли, седиментационные ловушки, Баренцево море

Диатомовые водоросли исследованы в 12 образцах осадочного вещества, полученного с помощью седиментационной ловушки, установленной в северной части Восточно-Баренцевоморской впадины с августа 2017 г. по июль 2018 г., на горизонте 350 м. Выявленные особенности состава и содержания ассоциаций диатомовых водорослей позволили проследить годовую динамику развития фитопланктона в северо-восточной части Баренцева моря.

Уникальное географическое положение Баренцева моря в западной части Евразийского Арктического шельфа обуславливает его связь, как с Северной Атлантикой, так и с Центральным Арктическим бассейном. Баренцево море является одним из наиболее продуктивных среди арктических морей [1].

Исследования фитопланктона Баренцева моря проводятся с начала XX в. [2–4 и др.]. На данный момент накоплен обширный материал о составе диатомовых сообществ фитопланктона [5, 6], поверхностных отложений [7, 8] и в неогеновых, плейстоценовых и голоценовых отложениях Баренцева моря [7–11]. В составе фитопланктона диатомовые водоросли являются одной из доминирующих групп. При этом для отложений баренцевоморского шельфа характерны низкие концентрации диатомовых водорослей, а зачастую и полное их отсутствие, связанное главным образом с перераспределением тонкозернистых частиц по элементам рельефа дна и растворением отдельных створок [12, 13]. В связи с этим необходимо более детальное исследование сообществ диатомовых водорослей в рассеянном осадочном веществе, являющимся уникальным источником информации об осадочном процессе, а именно о влиянии природно-климатических и биологических процессов на этапе рассеяния осадочного вещества после его возникновения. В данной работе представлены результаты исследований состава сообществ диатомовых водорослей в осадочном веществе восточной части Баренцева моря.

Материал для анализа был получен методом постановки седиментационной ловушки на буйковой станции, использующейся для изучения вертикальных потоков осадочного вещества, из придонного горизонта (350 м, ст. 5565) Восточно-Баренцевоморской впадины (рис. 1), наименее изученной с точки зрения состава сообществ диатомовых водорослей. Седиментационная ловушка была установлена в августе 2017 г. в рамках 68-ого рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» и поднята в июле 2018 г. в ходе 71-ого рейса этого же НИС. Таким образом, осадочное вещество, собранное с помощью седиментационной ловушки, отражает изменения в составе ассоциаций диатомовых водорослей в осадочном веществе в течение года.

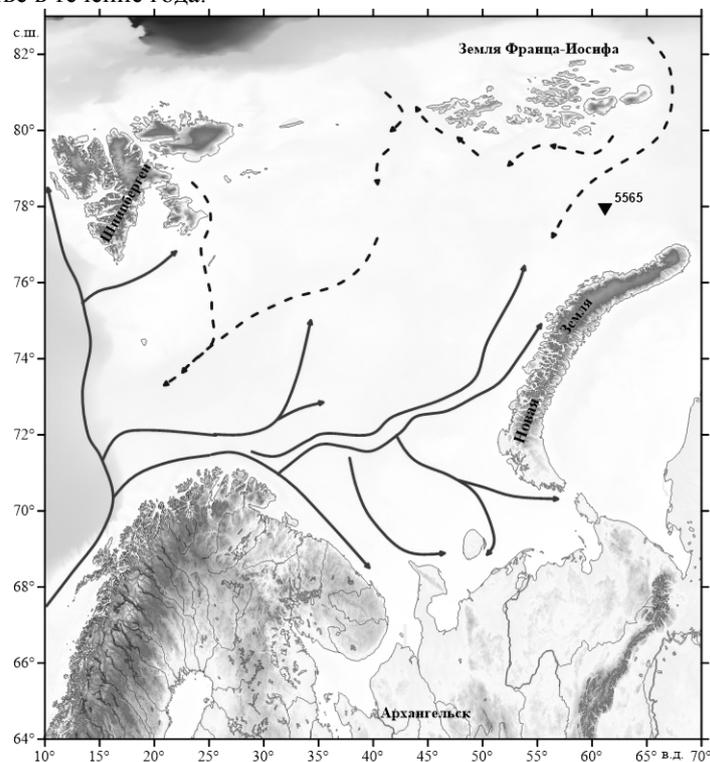


Рис. 1. Расположение седиментационной ловушки на буйковой станции 5565, сплошными линиями показаны направления теплых течений, пунктирными – холодных.

Диатомовый анализ был выполнен для 12 образцов. Вещество на предварительно взвешенных фильтрах термически обрабатывалось в 10% растворе перекиси водорода, с последующей декантацией

дистиллированной водой. Расчет концентрации створок диатомей на 1 г сухого осадка (DSK, ств./г) проводился по Battarbee [14]. Затем на основе данных о потоке осадочного вещества [15] и концентраций диатомей подсчитывалось среднее месячное количество створок диатомовых водорослей, поступающих на м<sup>2</sup> в течение суток (ств./м<sup>2</sup>/сут).

Всего было обнаружено 26 видов диатомей, 23 планктонных и 3 бентосных вида. Среди первых преобладают неритические виды. Концентрации диатомей изменяются от минимальных – 153,5 тыс. ств./г в феврале 2018 г. до максимальных – 9626,1 тыс. ств./г в июле 2018 г (рис. 2). Значение среднемесячного количества створок диатомовых водорослей, поступающих на м<sup>2</sup> в течение суток, максимально в августе 2017 г и составляет 640,9 тыс. ств./м<sup>2</sup>/сут, локальные пики отмечены для марта и июля 2018 г., когда значения этого параметра составили соответственно 162,4 и 216,9 тыс. ств./м<sup>2</sup>/сут.

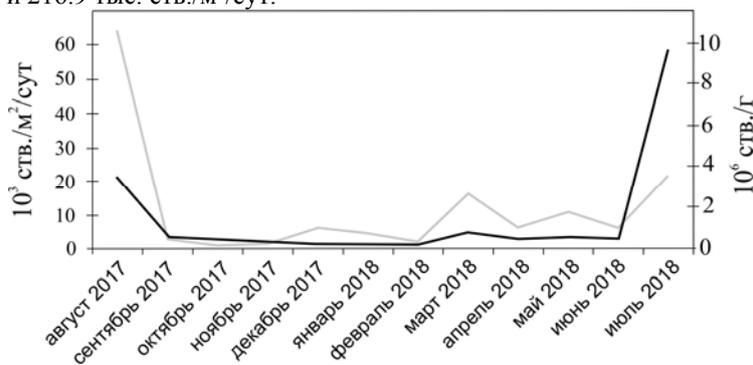


Рис. 2. Концентрации диатомей в осадочном веществе – черная линия, среднее месячное количество створок диатомовых водорослей, поступающих на м<sup>2</sup> в течение суток, – серая линия.

В осенний период концентрации диатомей последовательно уменьшаются от 561,4 тыс. ств./г до 311,1 тыс. ств./г, в составе диатомовых ассоциаций, представленных 12-ю видами, доминирует планктонный неритический вид *Coscinodiscus radiatus* (от 46 до 70%).

Зимой концентрации диатомей в осадочном веществе самые низкие в течение года, уменьшаются от 210,7 тыс. ств./г до 153,5 тыс. ств./г, при этом доля в составе диатомовых ассоциаций *Coscinodiscus radiatus*, индикатора поступления атлантических вод в западноарктические моря [16], снижается с 64 до 23%. В осадочном веществе января и февраля появляются типичные планктонные холодноводные аркто-бореальные виды *Thalassiosira antarctica* и *Bacterosira bathyomphala* [3, 17]. Последний не характерен для состава диатомовых ассоциаций осадочного вещества других месяцев года, в то время как *Th. antarctica* был обнаружен в осадочном веществе вплоть до июня.

В осадочном веществе, накопленном в течение весенних месяцев, концентрации диатомей увеличиваются до 753.5 тыс. ств./г. В составе диатомовых ассоциаций доминируют планктонные неритические виды *Coscinodiscus radiatus*, *Thalassiosira baltica*, *Shionodiscus oestrupii*, *Thalassionema nitzschioides*, вместе с тем появляются створки пресноводных видов планктонных – *Aulacoseira subarctica*, *A. ambigua*, *Stephanodiscus rotula* и бентосных – *Eunotia inflata*, *Hantzschia abundans* и *Cocconeis placentula*, последний встречается как в пресноводных водоемах, так и на литорали морей.

Максимальные концентрации, достигающие 9626.1 тыс. ств./г, соответствуют весеннему пику цветения, приходящемуся в Баренцевом море на июнь – конец июля и связанному с процессом ледотаяния и формированием обогащенной биогенными элементами прикромочной зоны [18]. Основу диатомовых ассоциаций составляют холодноводные морские планктонные виды *Chaetoceros furcellatus* и *Ch. holsaticus*, также появляются морские планктонные *Thalassiosira nordenskioldii* и *Rhizosolenia hebetata f. hebetata*, единично встречаются ледово-морские виды *Nitzschia frigida*, *Fragilariopsis oceanica*. Пресноводные виды *Aulacoseira* sp. обнаружены единично.

Выявленные особенности состава и содержания ассоциаций диатомовых водорослей в осадочном веществе северо-восточной части Баренцева моря послужат методической основой палеорекоkonструкций голоцена, в том числе адвекции атлантических вод в Северный Ледовитый океан и изменений ее интенсивности в прошлом, так как диатомеи являются одними из основных биологических индикаторов изменения интенсивности проникновения атлантических вод [8].

Авторы признательны д.г.н., в.н.с. Е.И. Поляковой за консультации и предоставление ценных определителей диатомей. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-50090).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rat'kova T., Wassmann P. Seasonal variation and spatial distribution of phytoplankton protozooplankton in the central Barents Sea // Journ. Marine Syst. 2002. V. 38. P. 47–75.
2. Киселев И.А. К распределению и составу фитопланктона в Баренцевом море // Труды Института по изучению Севера. 1928. Т. 37. С. 28–42.
3. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.
4. Кузнецов А.А., Шошина Е.В. Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. 308 с.
5. Роухийнен М.И. Вертикальное распределение фитопланктона в южной части Баренцева моря // Состав и распределение планктона и бентоса

- южной части Баренцева моря. М.–Л.: Наука, 1966. С. 24–33.
6. Ardyna M., Babin M., Gosselin M., Devred E., Rainville L. Fall Phytoplankton Blooms // *Geophys. Res. Lett.* 2014. V. 41. P. 6207–6212.
  7. Полякова Е.И., Павлидис Ю.А., Левин А.И. Особенности формирования танатоценозов диатомей в поверхностном слое донных осадков шельфа Баренцева моря // *Океанология.* 1992. Т. 32. № 1. С. 58–63.
  8. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. М.: Научный мир, 1997. 145 с.
  9. Джиноридзе Р.Н. Диатомеи в донных осадках Баренцева моря // *Морская микропалеонтология: диатомеи, радиолярии, силикофлагелляты, фораминиферы и известковый нанопланктон.* М.: Наука, 1978. С. 41–44.
  10. Каган Л.Я. Диатомовый анализ отложений позднего кайнозоя арктических морей // *Новейшие отложения и палеогеография северных морей.* Апатиты, 1989. С. 83–93.
  11. Polyakova Y.I. Late Cenozoic evolution of northern Eurasian marginal seas based on the diatom record // *Polarforschung.* 2001. V. 69. P. 211–220. DOI: 10.2312/polarforschung.69.211.
  12. Кленова М.В. Геология Баренцова моря. М.–Л.: АН СССР, 1960. 367 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 / Под ред. А.П. Лисицына.* М.: ГЕОС, 2021. С. 64–95.
  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. Новигатский А.Н., Лисицын А.П., Шевченко В.П., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Политова Н.В. Вертикальные потоки вещества в Северном Ледовитом океане // *Система Баренцева моря / Под ред. А.П. Лисицына.* М.: ГЕОС, 2021. С. 278–286.
  16. Полякова Е.И. Особенности формирования диатомовых танатоценозов в осадках Арктических морей Евразии // *Океанология.* 1994. Т. 34. № 3. С. 444–453.
  17. Мельников И.А., Дикарев С.Н., Егоров В.Г. и др. Структура прибрежной экосистемы льда в зоне взаимодействия река–море // *Океанология.* 2005. Т. 45. № 4. С. 542–550.
  18. Паутова Л.А. Фитопланктон Баренцева моря // *Система Баренцева моря / Под ред. А.П. Лисицына.* М.: ГЕОС, 2021. С. 317–330.

Diatoms were studied in 12 samples of sedimentary matter obtained using a sedimentation trap in the East Barents Sea depression (horizont 350 m, August 2017 – July 2018). The revealed features of diatom assemblages in the sedimentary matter made it possible to trace the annual dynamics of phytoplankton development in the northeastern Barents Sea.

**Белкина Н.А.<sup>1</sup>, Страховенко В.Д.<sup>2</sup>, Субетто Д.А.<sup>1</sup>,  
Кулик Н.В.<sup>1</sup>, Ефременко Н.А.<sup>1</sup>, Здоровеннова Г.Э.<sup>1</sup>,  
Лудикова А.В.<sup>3</sup>, Гатальская Е.В.<sup>1</sup>, Здоровеннов Р.Э.<sup>1</sup>,  
Потахин М.С.<sup>1</sup>, Рябинкин А.В.<sup>1</sup>, Кухарев В.И.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: bel110863@mail.ru; <sup>2</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск; <sup>3</sup>Институт озероведения РАН<sup>3</sup>, г. Санкт-Петербург)

### **Изучение современной седиментационной обстановки в Онежском озере**

**Belkina N.A.<sup>1</sup>, Strahovenko V.D.<sup>2</sup>, Subetto D.A.<sup>1</sup>, Kulik N.V.<sup>1</sup>,  
Efremenko N.A.<sup>1</sup>, Zdorovenнова G.E.<sup>1</sup>, Ludikova A.E.<sup>3</sup>,  
Gatalskaja E.V.<sup>1</sup>, Zdorovenнов R.E.<sup>1</sup>, Potakhin M.S.<sup>1</sup>,  
Ryabinkin A.V.<sup>1</sup>, Kukharev V.I.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Institute on Northern Water Problems of Karelian RC RAS, Petrozavodsk; <sup>2</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk; <sup>3</sup>Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

### **The study of the modern sedimentation situation in Lake Onego**

Ключевые слова: седиментогенез, осадочное вещество, Онежское озеро.

Разработана программа исследований современного седиментационного режима Онежского озера. Изучалось поступление взвесей с речным стоком, распределение взвешенного вещества в водной массе и поступление седиментационного материала на дно. Исследовался качественный и количественный состав воды и осадочного вещества.

Пристальное внимание к большим озерам, где сосредоточен основной запас пресных вод Европейской территории России диктует необходимость детального изучения закономерностей их функционирования в современных условиях. Процессам седиментогенеза в лимнологии уделяется мало внимания.

На основе анализа известной информации о разных источниках поступления вещества в Онежское озеро и особенностях формирования донных отложений водоема [1–14] была сформирована сеть наблюдений, к которой относятся устья впадающих водотоков и исток из озера, береговые точечные антропогенные источники и районы сброса сточных вод на акватории водоема, аккумуляционные и склоновые участки дна озера, выбранные в соответствие с морфологическими особенностями котловины и т.д. (рисунок). В 2018–2020 гг. изучался состав вещества, поступающего в Онежское озеро с речным стоком, распределение и состав взвешенного вещества в водной толще, и вещественный состав осадка из седиментационных ловушек. Аналитические работы были выполнены на

базе ЦКП КарНЦ РАН (химический анализ воды, взвешенного вещества и донных отложений, гранулометрический состав осадков), Аналитического центра ИГМ СО РАН (минералогический и геохимический анализ твердого вещества) и ИОЗ РАН (диатомовый анализ). Задачи исследования также потребовали модификации методик отбора проб и выделения взвешенного вещества разных фракций. Был сконструирован новый упрощенный вариант седиментационной ловушки, разработана уникальная схема их постановки и подъема.

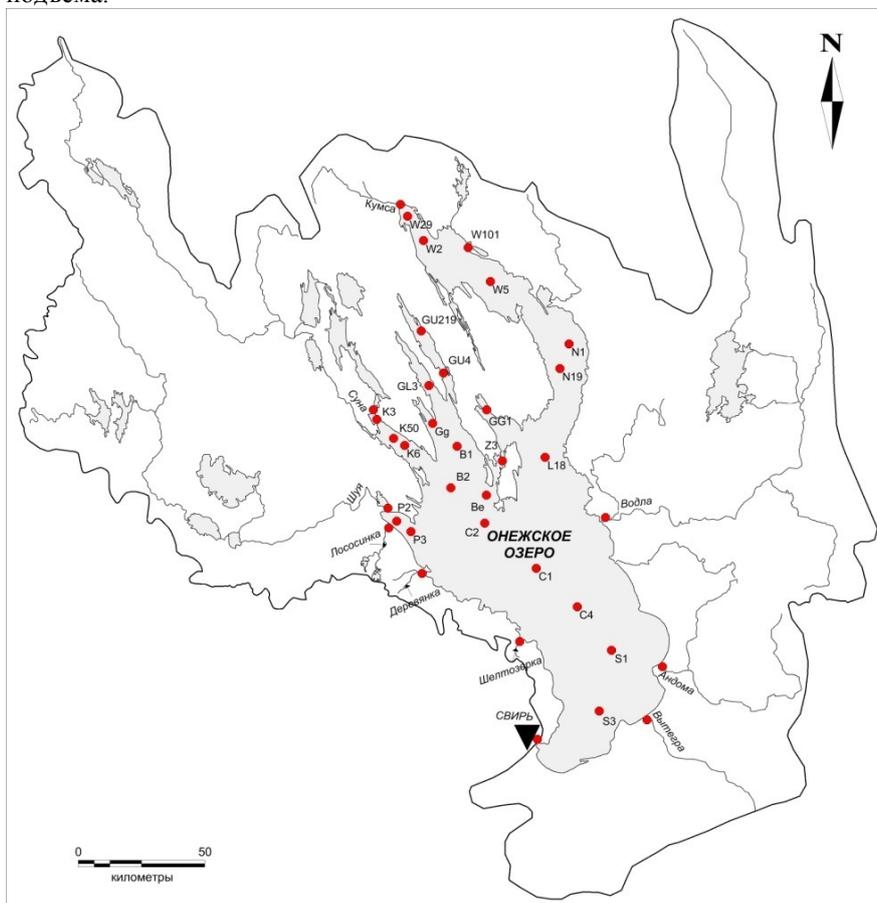


Рисунок. Схема расположения станций наблюдения за седиментационным режимом Онежского озера.

Результаты исследований показали, что главным поставщиком взвешенных веществ в Онежское озеро являются реки. Неоднородность геологического и геоморфологического строения бассейна, особенностей

его гидрографии и распределении антропогенной нагрузки обуславливают отличие химического состава вод притоков в содержании растворенных и взвешенных веществ (органического вещества, биогенных элементов, Fe, Mn). Во взвешенном веществе преобладают частицы размером более 0,8 мкм. Минеральная часть обломочного материала в основном состоит из кварца и полевых шпатов.

Анализ данных вертикальных зондирований водной толщи в разных районах озера в разные годы и сезоны позволил установить ряд особенностей распределения взвешенного вещества. Было зафиксировано, что повышенные значения мутности характерны для мелководных прибрежных районов заливов и в местах впадения рек. Неглубокие, хорошо перемешиваемые губы, например, Кижская и Великая характеризуются повышенными значениями мутности по всему водному столбу. В более глубоких заливах (Горской и Лижемской губах) мутность увеличивается с глубиной. В Кондопожской губе выявлена выраженная неоднородность распределения мутности по водному столбу, обусловленная распространением загрязненных вод Кондопожского ЦБК. В Петрозаводской и Уницкой губах и Повенецком заливе выявлена связь сезонного и межгодового изменения мутности с развитием фитопланктона. В тоже время глубоководные центральные районы озера (Большое и Центральное Онего, глубины до 100 м) характеризуются максимальной прозрачностью. Значения мутности здесь, как правило, повышаются с глубиной. В Южном Онего (глубины до 40 м) межгодовая изменчивость мутности связана с ветровым воздействием на мелководные участки и речным стоком.

Изучение химического состава воды и взвешенного вещества показало, что содержание металлов в воде и водной взвеси в различных районах Онежского озера находится намного ниже уровня региональных фоновых величин для Карелии. Выявлено, что в водах придонных горизонтов Mn и Al находятся преимущественно во взвешенной форме, а Cu и Ni – в растворенной. Соотношение взвешенной и растворенной форм для Fe и Zn изменяется в зависимости от района озера. Взвешенная форма металлов, как правило, преобладает в заливах, подверженных антропогенной нагрузке (Петрозаводская и Кондопожская губы озера). Терригенная составляющая взвеси из разных частей озера имеет сходный состав: представлена обломками крупных и мелких зерен кварца, полевых шпатов, мусковита, хлорита (в составе которых соотношение  $Fe \approx Mg$ ) и многочисленных мелких зерен акцессорных минералов.

Наблюдения за скоростью накопления веществ в седиментационных ловушках показали разные скорости седиментации в зависимости от района (от 0.2 мм в Повенецком заливе до 3 см в Кондопожской губе).

Основную массу взвешенного вещества Онежского озера слагают скелеты диатомовых водорослей. В составе вещества из седиментационных

ловушек преобладают планктонные диатомеи (61–92%: из них *Aulacoseira islandica* от 16 до 45% и *A. subarctica* от 13 до 42%), что отражает доминирующую роль диатомовых водорослей в составе онежского фитопланктона. Диатомеи бентоса представлены преимущественно обрастателями (8–32% от общей суммы диатомей, где на *Tabellaria fenestrata* приходится максимум). Виды-индикаторы эвтрофирования составляют 1%.

Исследование минерального состава свежесосажденной взвеси выявило приблизительно одинаковый спектр минералов материала из ловушек и донного осадка: вещество обогащено кварцем, полевыми шпатами (альбитом, олигоклазом, калиевым полевым шпатом), слюдами (мусковитом, биотитом), гидроокислами железа, иллитом и хлоритом. Среди крупных обломков минералов и их сростков присутствуют амфибол (роговая обманка, тремолит), пироксен (диопсид), эпидот, апатит, доломит и акцессорные минералы – магнетит, ильменит, циркон, рутил, монацит и др. Установлено, что состав взвеси отличается от состава донных отложений более высокими концентрациями органического вещества и биогенных элементов, и более низкие значения содержаний Mn.

Таким образом, результаты исследования дают представление о неравномерном распределении количественного и качественного состава осадочного материала в озере и разных скоростях его накопления в донных отложениях. Указывают на важную роль биогеохимических процессов, протекающих в водной толще, в формировании новых минеральных фаз железа, марганца и кремния и в переносе микроэлементов на дно.

Авторы признательны Селивановой Е.А. и к.б.н. Георгиеву А.П. за помощь в проведении исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания КарНЦ РАН, РФФИ 19-17-00035 и проекта РНФ 18-17-00176.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенович Н.И. Донные отложения Онежского озера. Л.: Наука, 1973. 102 с.
2. Васильева Е.П. Донные отложения // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л., 1990. С. 147–175.
3. Васильева Е.П., Давыдова Н.Н., Белкина Н.А. Особенности формирования донных отложений // Онежское озеро, экологические проблемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 109–145.
4. Лукашов А.Д. Новейшая тектоника Карелии. Л.: 1976. 109 с.
5. Крупнейшие озера – водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменение экосистем при климатических и антропогенных воздействиях // Под ред. Филатова Н.Н., Калинкиной Н.М., Куликовой Т.П., Литвиненко А.В., Лозовика П.А. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 375 с.
6. Белкина Н.А. Фосфор в донных отложениях Онежского озера //

Известия Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. 2015. № 173. С. 97–109.

7. Subetto D., Rybalko A., Strakhovenko V., Belkina N., Tokarev M., Potakhin M., Aleshin M., Belyaev P., Dubois M., Kuznetsov V., Korost D., Loktev A., Shalaeva N., Kiskina A., Kostromina N., Kublitskiy Yu., Orlov A. Structure of Late Pleistocene and Holocene Sediments in the Petrozavodsk Bay, Lake Onego (NW Russia) // Minerals. 2020. V. 10 (11). Is. 964. 20 p.

8. Strakhovenko V.D., Subetto D.A., Ovdina E.A., Belkina N.A., Efremenko N.A., Maslov A.V. Modern Bottom Sediments of Lake Onega: Structure, Mineralogical Composition, and Systematization of Rare–Earth Elements // Doklady Earth Sciences. 2018. V. 481. № 2. P. 988–992.

9. Кулик Н.В., Белкина Н.А., Ефременко Н.А. Поступление, трансформация и распределение марганца в Онежском озере // Московский экономический журнал. 2020. № 1. С. 13.

10. Белкина Н.А. Ретроспективная оценка донных отложений Кондопожской губы Онежского озера // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 6. С. 689–699.

11. Лозовик П.А., Кулик Н.В., Сабылина А.В. Внешняя нагрузка на Ладожское и Онежское озера и их устойчивость к антропогенному воздействию // Всероссийская конференция по крупным внутренним водоемам: сборник научных трудов конференции (V Ладожский симпозиум), Санкт-Петербург, 9–11 ноября 2016 г. СПб.: Лема, 2016. С. 229–235.

12. Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н.Н. Филатов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 151 с.

13. Сабылина А.В., Лозовик П. А., Зобков М. Б. Химический состав воды Онежского озера и его притоков как индикатор экологического состояния // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 6. С. 717–772.

14. Белкина Н.А. Изменение окислительно-восстановительного состояния озерных донных отложений под влиянием антропогенных факторов (на примере Ладожского и Онежского озер) // Общество. Среда. Развитие. 2014. № 3. С. 152–158.

The program of studies of the modern sedimentation regime of Lake Onego has been developed. In the Lake, the entry of suspended solids with river runoff, the distribution of suspended matter in the water mass and the deposition of sedimentation material to the bottom were studied. The qualitative and quantitative compositions of sedimentary matter were studied.

**Беспалова А.И., Таловская А.В., Белошейкина А.В.**

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, e-mail: [bespalova.nastena@mail.ru](mailto:bespalova.nastena@mail.ru))

**Сравнительная характеристика минерально-вещественного состава проб твердой фазы снегового покрова в промышленных районах (бассейны р. Томь и р. Бюря)**

**Bespalova A.I., Talovskaya A.V., Belosheykina A.V.**

(National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk)

**Comparative characteristics of mineral-phase composition of samples of the solid phase of the snow cover in industrial areas (basins of the Tom and Burya rivers)**

Ключевые слова: Снеговой покров, минерально-вещественный состав, техногенные микрочастицы, дифрактометрия, методы микроскопии

Работа посвящена сравнительной характеристике состава проб твердой фазы снегового покрова с городской территории (г. Томск) с пробами, отобранными на территориях, подвергающихся воздействию горнодобывающей промышленности (г. Сорск и Сорский ГОК). Анализ минерально-вещественного состава показал наличие как схожих техногенных и природных частиц, так и специфичных для каждой территории.

Развитие разных отраслей промышленности способствует образованию огромного количества аэрозолей, являющихся одним из загрязнителей атмосферного воздуха. Перенос аэрозольных частиц воздушными потоками от промышленных центров вносит вклад в атмосферное загрязнение над поверхностью морей, а также в морское осадконакопление [1]. Для выявления специфики состава аэрозолей используется снеговой покров – индикатор состояния окружающей среды, который обладает высокой сорбционной способностью. При таянии снегового покрова происходит перенос загрязняющих веществ в компоненты природной среды – почвенный покров, подземные воды, поверхностные реки, что впоследствии может привести к попаданию веществ на Арктические территории.

Для исследования были выбраны г. Томск, подвергающийся воздействию промышленных предприятий различных отраслей производства, и г. Сорск, находящийся в зоне воздействия горнодобывающей промышленности.

Город Томск расположен в Томской области на правом берегу р. Томь, входящей в территорию водосбора р. Оби. Томск подвергается воздействию таких промышленных производств, как теплоэнергетика, производство строительных материалов, машиностроение и металлообработка, нефтехимическое производство [2].

Сорский горно-обогатительный комбинат находится в Республике Хакасия, в непосредственной близости от г. Сорска. Сорский ГОК является одним из крупнейших горнодобывающих предприятий в России, специализируется на добыче медно-молибденовой руды. Территория относится к бассейну р. Бюря, которая в свою очередь является притоком р. Енисей [3]. Во время буровзрывных работ, транспортировке руды, процессов обогащения, пыления с отвалов и хвостохранилищ происходит рассеяние материала в атмосферный воздух.

В работе представлена сравнительная характеристика минерально-вещественного состава твердой фазы снегового покрова, отобранного на промышленных территориях г. Томска (бассейн р. Томь) с составом проб, находящихся в зоне влияния горнодобывающей промышленности Сорского ГОКа (бассейн р. Бюря).

Отбор проводился по стандартной методике [4] в г. Томске и в зоне влияния Сорского ГОКа. Всего отобрано и обработано 100 проб снегового покрова на территории г. Томска и 35 проб – в г. Сорске и Сорском ГОКе.

Пробы твердой фазы снега были изучены на бинокулярном стереоскопическом микроскопе (Leica EZ4D) с видео приставкой согласно запатентованной методике (патент № 2229737) сотрудников каф. ГЭГХ (в н.в. отделение геологии) ТПУ [5], и на рентгеновском дифрактометре (Bruker Phaser D2) в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» ТПУ.

Исследование на бинокулярном микроскопе показало наличие в пробах минеральных и техногенных частиц [6]. Природные минеральные частицы в данном случае представляют собой кварц, полевые шпаты, слюды, а на территории г. Сорска и Сорского ГОКа еще амфиболы, пирит и другие рудные и нерудные минералы. К техногенным образованиям здесь отнесены угольная пыль, шлак, сажа, металлические и алюмосиликатные микросферы и др. Сравнение минерально-вещественного состава проб снегового покрова промышленной и горнодобывающей территорий более подробно представлено в таблице.

По данным таблицы видно, что основную часть изученных проб твердого осадка снега с зоны влияния Сорского ГОК составляют минеральные образования (70–80%), на техногенные образования приходится около 20%. В г. Томске ситуация обратная – преобладают техногенные частицы (52%), минеральная фаза формирует около 48% вещества. Наблюдается отличие техногенной фазы проб снегового покрова г. Томска в 2.4 раза от проб, отобранных с территории г. Сорска и Сорского ГОКа. Это объясняется ветровым переносом частиц из выбросов многопрофильных промышленных предприятий г. Томска. В то время как Сорский ГОК является монопрофильным, главным индикатором считается присутствие рудных минералов, в частности молибденита в пробах.

Таблица. Минерально-вещественный состав проб твердой фазы снегового покрова на территории г. Томска, г. Сорска и Сорского ГОКа, %

Тип частиц	Территория				
	Промышленная		Горнодобывающая		
	г. Томск	Фон [2]	г. Сорск	Сорский ГОК	Фон
<i>Природные частицы:</i>	48	79	70	80	85
кварц	22	30	22	23	28
полевые шпаты	18	27	25	24	30
слюды	3	6	8	6	7
карбонаты	2	4	5	4	4
амфиболы	–	–	5	9	6
пирит	–	–	2	5	–
халькопирит	–	–	–	5	–
молибденит	–	–	1	2	–
биогенные частицы	3	12	2	2	10
<i>Техногенные частицы:</i>	52	21	30	20	15
угольная пыль	16	10	12	11	8
шлак, сажа	18	7	15	9	7
Al-Si сферулы	7	2	–	–	–
ферросферулы	6	1	–	–	–
кирпичная крошка	2	–	–	–	–
микропластик	1	–	1	–	–
синтетические волокна	2	1	2	–	–

Примечание: данные бинокулярной микроскопии; «–» – не обнаружено

Анализ проб методом рентгеновской дифрактометрии подтвердил полученные результаты и показал наличие в пробах кристаллической и аморфной фазы.

Кристаллическая фаза проб Сорского ГОК составляет 80%, в районах расположения разнопрофильных предприятий г. Томска – 65%. В зоне влияния Сорского ГОК в пробах из кристаллической фазы преобладают кварц (33%), альбит (28%), мусковит (13%), а также присутствует маркерный минерал территории – молибденит (0.5%). Обнаруженные минералы характеризуют состав вскрышных пород и рудных полезных ископаемых месторождения, переносимых вследствие горнодобывающих работ [7]. В пробах из районов расположения промышленных предприятий

г. Томска доминирующими минералами являются кварц (53%), альбит (30%), муллит (12%) [8]. Повышенное содержание муллита в пробах обусловлено спецификой промышленных отраслей, таких как теплоэлектростанция (например, ГРЭС-2) [8].

Аморфная фаза составила 20% в пробах из зон влияния Сорского ГОКа и 35% из районов расположения предприятий г. Томска. Присутствие угольных частиц, сажи, шлаков в виде аморфной фазы может быть следствием выбросов теплоэнергетики. Кроме того, обнаружены специфичные техногенные образования – металлические и алюмосиликатные микросферы, частицы кирпичной крошки в пробах территории г. Томске.

Таким образом, была произведена сравнительная характеристика горнодобывающей монопрофильной территории (Сорский ГОК) и промышленной многопрофильной (г. Томск). Были обнаружены схожие минеральные частицы, такие как кварц, полевые шпаты, слюдистые минералы, а также выявлены специфические особенности вещественного состава. Вещественный состав частиц может указывать на их происхождение и специфику, позволяет выявить источник их поступления, что является необходимой частью в наблюдениях за ветровым переносом частиц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
2. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 264 с.
3. Рихванов Л.П., Язиков Е.Г., Арбузов С.И. и др. Путеводитель по району геоэкологической практики в Хакасии: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 91 с.
4. Белошейкина А.В., Таловская А.В. Оценка загрязнения территории Сорского горно-обогатительного комбината (Республика Хакасия) по данным исследования снежного покрова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина, Томск, 3–7 апреля 2017 г.: в 2 т. Томск: Изд-во ТПУ, 2017. Т. 1. С. 701–702.
5. Патент 2229737 Россия, 27.05.2004 / Е.Г. Язиков, А.Ю. Шатилов, А.В. Таловская. Способ определения загрязненности снегового покрова техногенными компонентами // Патент России № 2002127851.
6. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Минералогия техногенных образований: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 160 с.

7. Беспалова А.И., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Оценка уровня пылевого загрязнения снегового покрова на территории горно-обогатительного комбината (Республика Хакасия) // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону – Таганрог, 2020. С. 61–65.

8. Филимоненко Е.А. Эколого-геохимическая обстановка в районах расположения объектов теплоэнергетики по данным изучения нерастворимой и растворимой фаз снега (на примере Томской области): диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: спец. 25.00.36 Томск: 2015.

The work is devoted to the comparative characteristics of the mineral-phase composition of samples of the solid phase of the snow cover from the urban area (Tomsk) with the samples taken in the territories affected by the mining industry (Sorsk and Sorsk GOK). Analysis of mineral-phase composition showed the presence of both similar technogenic and natural particles, as well as specific for each territory.

## **Бобров В.А.**

(Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,  
e-mail: bobr@igm.nsc.ru)

### **История развития и особенности концентрирования химических элементов в разрезе торфяника Выдринский (Южное Прибайкалье)**

## **Bobrov V.A.**

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

### **History of the formation and concentration of chemical elements in the Vydrinsky peat bog (Southern Baikal region)**

Ключевые слова: торфяник, голоцен, геохимические индикаторы, палеоклимат

Исследование торфяника Выдринское показало многократные смены его растительного покрова и характера распределения элементов, которые отражают климатические изменения на территории Прибайкалья в голоцене. Установлено наступление периода с влажным и мягким климатом ~9–7 кал. тыс. л.н. (оптимум голоцена), за которым последовал период усиления континентальности климата.

Объектом исследования является голоценовый разрез верхового болота Выдринское, находящегося на территории Байкальского биосферного заповедника в 3-х километрах от устья р. Выдриной. Заболачивание территории в исследованном районе происходило на минеральном субстрате примерно 14–13.1 кал. тыс. л. н. на глубине 446–440 см (рис. 1). Торфяная залежь болота имеет мощность 440 см и начала формироваться в послеледниковую эпоху на границе плейстоцена и голоцена. Нижняя часть торфяника (440–360 см) образовалась примерно 13.1–9.5 кал. тыс. л. н. в условиях неустойчивого водного режима, что подтверждается разнообразием (слоистостью) и частой сменой ботанического состава торфа. Этот интервал характеризуется доминированием в районе торфяника безлесных ландшафтов и очень низкими скоростями накопления зольного и органического вещества (ОВ) торфа на уровне 0.1–0.34 и 1.2–3.2 мг/см<sup>2</sup> год, соответственно (рис. 1). На стадии формирования торфяника ~13 кал. тыс. л. н. в условиях теплого климата особенно интенсивно накапливались Cu, Zn, Mo (преобладание окислительных обстановок), Y, Zr, Ca, Sr, As, незначительно — Rb и Y (рис. 2). Похолодание и рост увлажненности ~12 кал. тыс. л. н., способствовал преобладанию в торфе сфагновых (до 80%) и исчезновение гипновых мхов, резким падением содержаний Sr, Ca, Ba, Y, Rb, I, Cu, Zn, La, Zr. Следующее потепление около 11 кал. тыс. л. н. охарактеризовалось увеличением содержаний Sr, Sn, Y, La, Cu, Mo, незначительном ростом Ca, Rb, I, As, Zn, As, Zr.

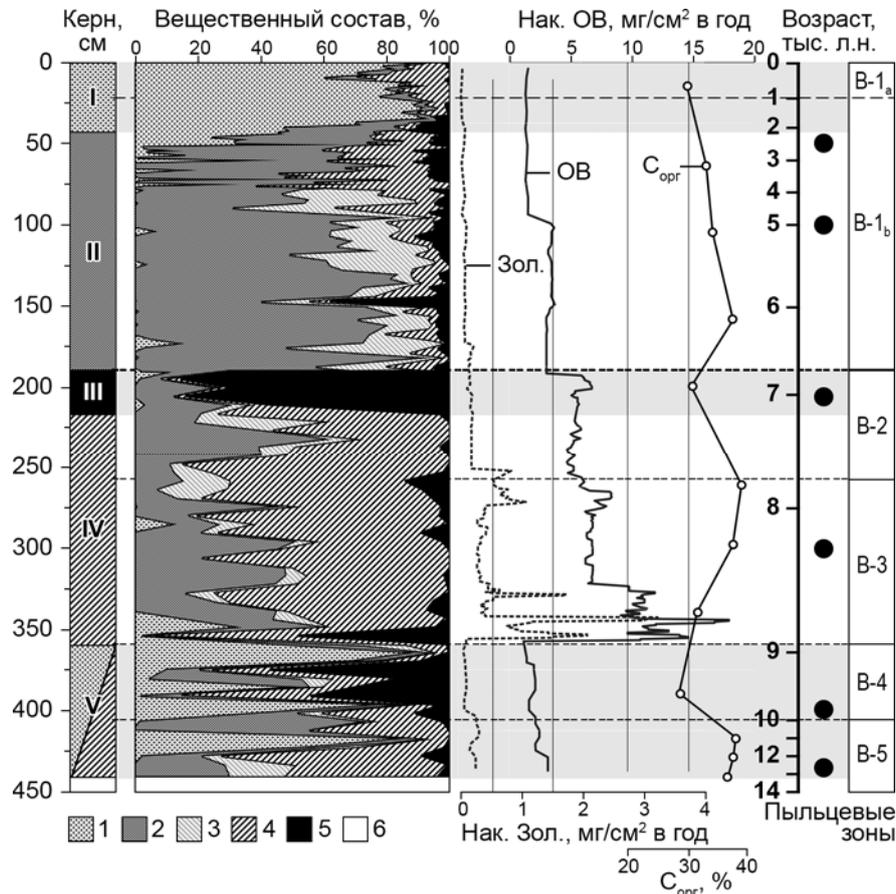


Рис. 1. Строение разреза торфяника Выдринский: I. 0–40 см — сфагновый торф с небольшим количеством остатков кустарничков и трав. II. 40–180 см — торф преимущественно травянистого или кустарничково-травянистого состава с незначительным участием древесных и кустарниковых остатков. III. 180–220 см — в торфе доминируют остатки зеленых мхов с небольшим участием остатков кустарничков и трав. IV. 220–360 см — древесный торф с прослоями травянистого торфа. V. 360–440 см — слоистый торф с изменчивым составом. Бот.состав торфа: 1. сфагновые мхи, 2. разнотравье, 3. кустарники, 4. деревья: хвойные и лиственные, 5. гипновые мхи, 6. подстилающие отложения (глины). Скорости накопления органического вещества (Нак. ОВ), зольности (Нак. Зол.) и распределение  $C_{орг}$ . Черные круги на временной шкале — положение датированных уровней. Пыльцевые зоны (B1–B5) даны по [1].

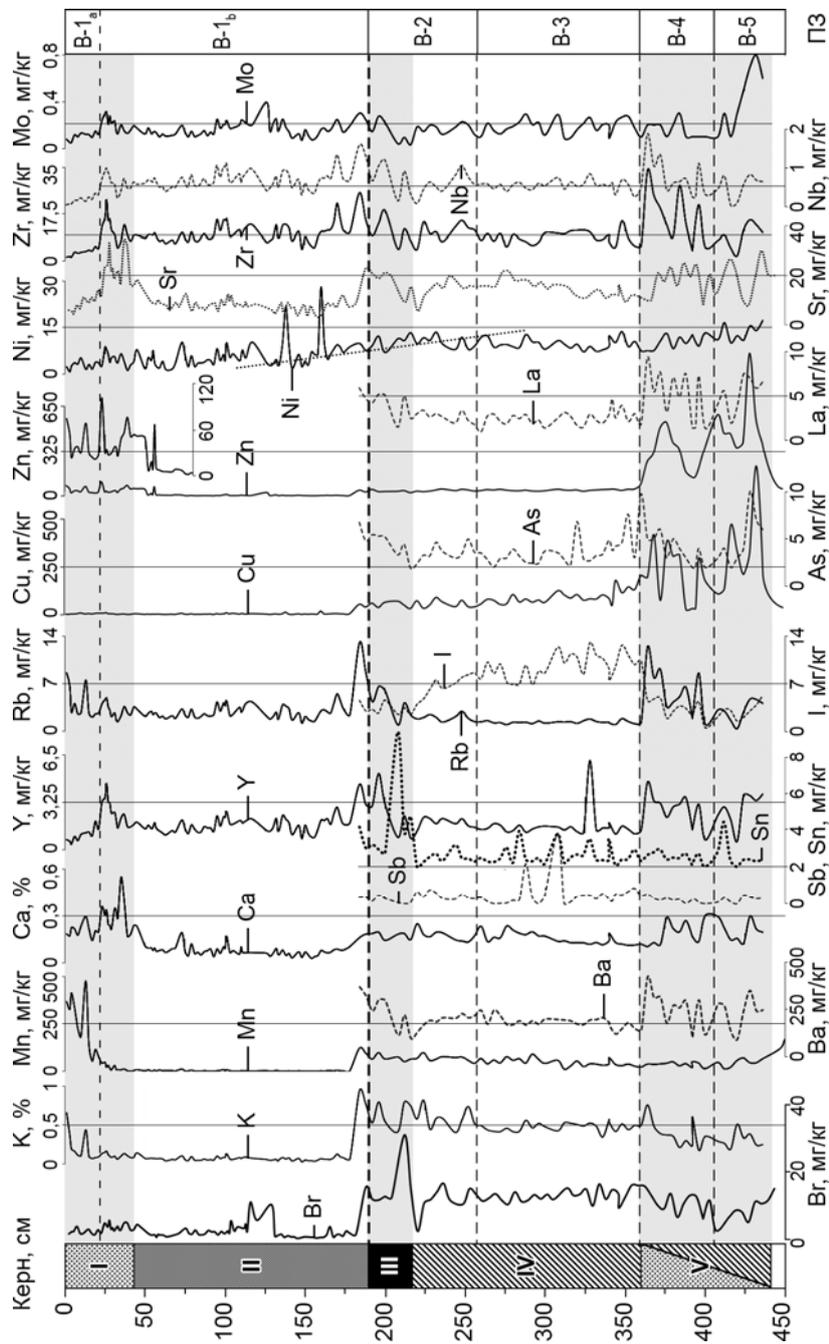


Рис. 2. Геохимические индикаторы условий торфонакопления в верховом болоте Выдринское в голоцене

Около 10 кал. тыс. л. н. происходит пересыхание болота и перерыв в торфонакоплении, что приводит к полному исчезновению сфагновых и резкому снижению гипновых мхов. Пыльцевая зона В-4 (10–9 кал. тыс. л. н.) характеризуется залесением болота, снижением уровня грунтовых вод, сильным падением скоростей торфонакопления, сопровождающееся ростом доли гипновых мхов до 20–50% и содержаний Ва, Y, Rb, La, Zr.

В среднем голоцене в формировании торфяных отложений болота Выдринское произошло два этапа коренной смены растительности. Примерно 8.8–6.8 кал. тыс. л. н. в районе исследования произошло наступление влажностного оптимума голоцена. Для этого участка торфяника характерно резкое увеличение скоростей накопления зольного и ОВ торфа до 0.34–3.25 и 5.1–14.6 и мг/см<sup>2</sup> год, соответственно (рис. 1) и ростом средних значений Вг (индикатор теплых периодов) до 0.5–1.0 мг/кг (рис. 2). Поздние 6.8 тыс. л. н. приходятся на завершение влажностного оптимума голоцена южного Прибайкалья и наступление континентального климата с резко выраженной сезонной контрастностью температур и снижением атмосферного увлажнения. Это сопровождается резким снижением скоростей накопления зольности и ОВ до 0.07–0.12 и 1.56–3.68 мг/см<sup>2</sup> год, соответственно. В целом, для пыльцевых зон В-2 и В-3 характерно резкое увеличение средних значений I с 3.48 до 9.42 мг/кг на фоне снижения средних содержаний Rb с 5.72 до 1.44 мг/кг.

Выше отметки 180 см торф представлен остатками преимущественно травянистых и кустарничковых растений с незначительным участием древесных и кустарниковых (рис. 1). Здесь отмечается падение скоростей накопления зольности и ОВ торфа. Для этого участка характерны очень низкие средние содержания К на уровне 0.06%, а также Mn и Cu (рис. 2).

На основе характера распределения химических элементов по разрезу торфяника было выделено 5 стадий его развития (рис. 3). Исходными данными для построения кривых послужили содержания элементов, нормированные на интервал изменений {0–1} (y). Перед осреднением записи приводились к нормальному виду (для каждого значения сначала вычиталась соответствующая средняя величина и полученный результат относился к стандартному отклонению записи), после чего усреднялись согласно [2]. Это позволило очистить суммарный сигнал от случайных шумов и усилить общие во всех записях закономерности. Стек I хорошо отбивает друг от друга первые 3 стадии развития торфяника и охватывает временной интервал в 13–7 кал. тыс. л. н. (рис. 3а), а стек II отбивает 2 завершающие стадии торфонакопления, охватывая временной интервал с 7 кал. тыс. л. н. по наши дни (рис. 3б). Жирная кривая для стека I получена осреднением записей: Y, Rb, Zr, La, Ва и зольности, для стека II — К, Вг, Sr, Са, Mn, Sn. Характер распределения данных кривых хорошо совпадает со сменой ботанического состава торфа, а выделенные 5 стадий развития торфяника накладываются на участки с разным ботсоставом (рис. 1).

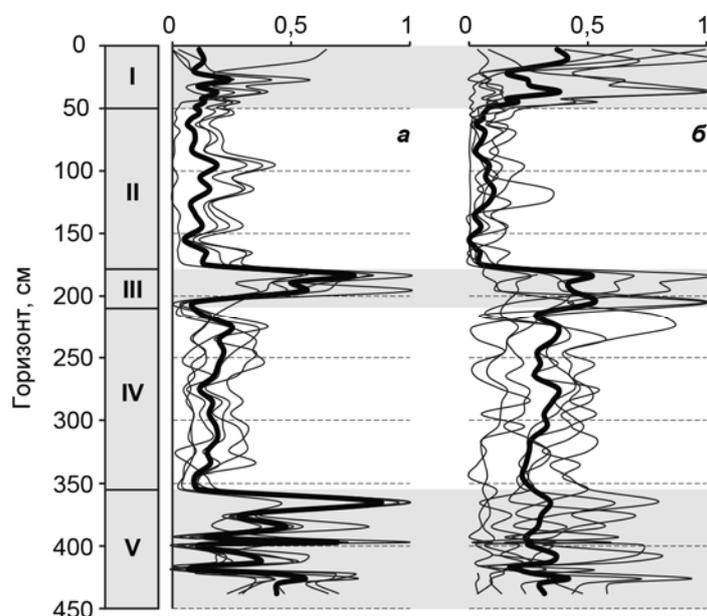


Рис. 3. Геохимические профили и выделенные стадии эволюции торфяника Выдринский. *а.* Y, Rb, Zr, La, Ba, зольность; *б.* K, Br, Sr, Ca, Mn, Sn, Ca/Fe; жирная линия — средние значения. Данные представлены величинами  $y$  (см. в тексте), содержания даны в относительных единицах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 11-05-00655 А, 19-05-00403 А и 18-35-00072 мол а. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарова О.Г., Безрукова Е.В., Летунова П.П. Растительность и климат Танхойской подгорной равнины (южное побережье оз. Байкал) в позднеледниковье и голоцене // Известия Иркутского Государственного Университета. 2015. Т. 11. С. 86–102.
2. Гольдберг Е.Л., Федорин М.А., Грачев М.А., Золотарев К.В., Хлыстов О.М. Геохимические индикаторы изменений палеоклимата в осадках озера Байкал // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 1–2. С. 76–86.

The study of the Vydrinskoe peat bog showed multiple changes in its vegetation cover and the nature of the distribution of elements, which reflect climatic changes in the territory of the Baikal region in the Holocene. The onset of a period with a humid and mild climate of ~ 9–7 (Holocene optimum), followed by a period of increasing continental climate.

**Будаева Ю.С.<sup>1</sup>, Таловская А.В.<sup>1</sup>, Язиков Е.Г.<sup>1</sup>, Торосян Е.С.<sup>2</sup>**  
(<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, e-mail: julia.empler@yandex.ru, <sup>2</sup>Юргинский технологический институт Томского политехнического университета)

**Анализ вещественного состава твердого осадка снега на территории г. Юрга (Кемеровская область)**

**Budaeva Y.S.<sup>1</sup>, Talovskaya A.V.<sup>1</sup>, Yazikov E.G.<sup>1</sup>, Torosyan E.S.<sup>2</sup>**  
(<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, <sup>2</sup>Yurga Technological Institute of Tomsk Polytechnic University)

**Analysis of the material composition of solid snow sediment on the territory of the city of Yurga (Kemerovo region)**

Ключевые слова: твердые частицы, снеговой покров, загрязнение, химические элементы

Приведены результаты изучения вещественного состав проб твердого осадка снега на территории г. Юрга. Выявлены различные типы техногенных частиц, элементный анализ которых позволил сделать вывод об их происхождении, особенности распространения некоторых химических элементов в районе расположения предприятий машиностроительной и теплоэнергетической отрасли.

Атмосферный воздух промышленно развитых городов подвергается загрязнению от производственных комплексов на их территории. В муниципальных образованиях Кемеровской области важными отраслями экономики являются теплоэнергетика и обрабатывающие производства, на которые приходится более 30% выбросов твердых веществ, которые включены во взвешенные частицы, представляющие опасность для здоровья органов дыхания и кровеносной системы людей, проживающих там [1–3].

Твердые частицы концентрируют химические элементы в зависимости от происхождения. При сжигании угля на теплоэлектростанциях в составе золы уноса в воздух поступают тяжелые, редкоземельные и радиоактивные металлы [4, 5]. Сварочные работы металлообрабатывающих производств являются источником оксидов, фторидов и соединений тяжелых металлов [6]. Производство горно-шахтного оборудования на машиностроительных комплексах сопровождается выбросами в виде аэрозолей соединений щелочных и щелочноземельных металлов, оксидов марганца, хрома и никеля [7]. Таким образом, исследование воздействия промышленных производств на воздух территории их размещения является актуальной задачей и, в особенности, на территории городов Западной Сибири с длительным зимним периодом накопления материала в снеге и равномерными условиями его перемещения.

Промышленный сектор экономики г. Юрги представлен металлообрабатывающими предприятиями: машиностроительным и

ферросплавными заводами, а также ТЭЦ, на долю которых приходится 85.9 и 6.5% выбросов загрязняющих веществ от их общего количества. Данные предприятия образуют промышленную зону на севере города [8].

Контроль за состоянием атмосферного воздуха в г. Юрга ведется в маршрутных постах в жилой и промышленной зоне города, а также на границах СЗЗ. Содержание взвешенных веществ находилось на уровне ниже величины санитарно-гигиенических нормативов [9].

В данной работе проводятся результаты исследования вещественного твердого осадка снега (минерально-вещественной и химической состав) на территории г. Юрга. Пробы снегового покрова отобраны по методу шурфа на всю мощность снега с исключением 5 см слоя над уровнем почв. Всего было отобрано 46 проб. Подготовка проб осуществлялась в соответствии с методическими рекомендациями [10].

Анализ содержания 28 химических элементов в пробах проводился инструментальным нейтронно-активационным методом на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т НИ ТПУ (аналитики: Судыко А.Ф., Богутская Л.В.). Исследование минерально-вещественного состава проб проводилось на бинокулярном микроскопе LeicaZN 4D с видеоприставкой в соответствии с запатентованной методикой сотрудников отделения геологии и электронном сканирующем микроскопе Hitachi S-3400N с ЭДС Bruker XFlash 4010 (консультант – к.г.-м.н., старший преподаватель отделения геологии ИШПР ТПУ С.С. Ильенок).

Обработка данных осуществлялась в программе MS Excel, а статистический анализ – в ПО «Statistica». Построение карт пространственного распределения элементов по геохимическим показателям проводилось в программе Surfer методом Kriging от средних величин содержаний по выборке.

Ранее нами был выполнен минерально-вещественный анализ твердого осадка снега. Выявлены ореолы высоких содержаний техногенных частиц в окрестностях промзоны города и в районе частного сектора в западной части города. Наиболее часто встречающимися типами техногенных частиц являются угольные частицы, алюмосиликатные и металлические микросферулы, а также частицы металлообработки [11]. Они перемещаются из районов расположения источников в отдаленные части города.

Суммарный показатель загрязнения в г. Юрга в среднем составляет 179, что соответствует высокой степени загрязнения согласно [12]. Для промышленной зоны СПЗ немного выше и равен 182, причем наибольший вклад в него вносят редкоземельные, радиоактивные и отдельные тяжелые элементы, привнос которых связан с промышленным производством и повсеместным использованием угля в качестве основного топливного ресурса.

Содержание железа в твердом осадке снега г. Юрга составляет 3.4–13 мг/кг. Преобладающими формами нахождения являются оксидная и

металлическая [11]. Ореолы высоких содержаний отмечаются в окрестностях промышленной зоны г. Юрга и западной части частного сектора (рис. 3). Поступление твердых частиц, содержащих железо, в промзоне связано с металлообработкой на ферросплавном и машиностроительном заводах, а в частном секторе может быть обусловлено близостью к железной дороге [11]. Металлические микросферулы, содержащие железо, могут иметь в составе также примеси тяжелых металлов, например, титана (рис. 1), а за счет небольшого размера частиц, поступать в тело человека при вдыхании [3].

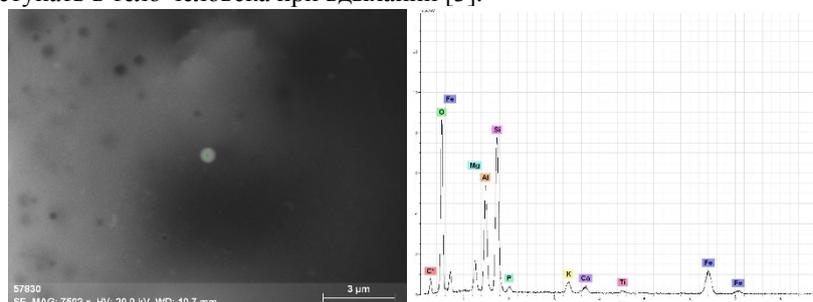


Рис. 1. Снимок и энергодисперсионный спектр металлической микросферулы размером менее 1 мкм по данным сканирующей электронной микроскопии

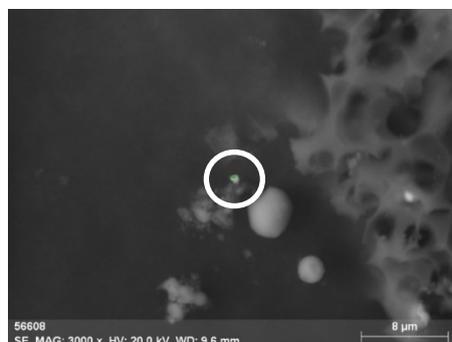


Рис. 2. Снимок микрочастицы цериевых фосфатов размером 1 мкм по данным сканирующей электронной микроскопии

Продукты сжигания угля на ТЭЦ – частицы шлаков и угольной пыли могут содержать фосфаты редкоземельных элементов (рис. 2) [5].

Содержание лантана в твердом осадке снега г. Юрга колеблется от 37.9 до 78.4 мг/кг, что превышает фоновое содержание от 13 до 28 раз. Геохимический ореол распространения лантана простирается от промышленного узла на северо-востоке и западе города к его жилым

центральной и южной районам (рис. 3). Частицы данного элемента небольшого размера способны быстро всасываться в легкие и оказывать на них негативное влияние [13].

Для снижения техногенного воздействия на атмосферный воздух города и, вместе с тем влияния на здоровье его жителей, необходимо усиливать контроль за природоохранной деятельностью заводов, привлекать инвестиции в реконструкцию очистного оборудования на ТЭЦ машзавода и переводить жителей частного сектора на центральное отопление.

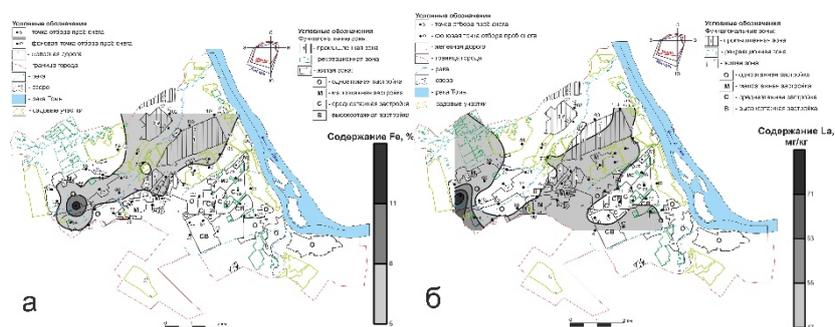


Рис. 3. Карта-схема пространственного распределения содержаний Fe (а) в % и La (б) в мг/кг в снеговом покрове на территории г. Юрга

Примечание: промышленные предприятия промзоны (1–6): 1, 5 – машиностроительный завод, 2 – ТЭЦ, 3 – ферросплавный завод, 4 – абразивный завод (закрылся в 2012 г.), 6 – завод по производству минеральной ваты и теплоизоляционных материалов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2019 году. Администрация Кемеровской области. Кемерово, 2020. 479 с.
2. Петров Б.С. Эколого-эпидемиологическая оценка влияния взвешенных веществ в атмосферном воздухе на развитие болезней системы кровообращения // Экология человека. Архангельск, 2011. № 6. С. 3–7.
3. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Минералогия техногенных образований: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 160 с.
4. Артамонова С.Ю. Уран и торий в аэрозольных выпадениях г. Новосибирска и его окрестностей (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. 2020. Т. 331. № 7. С. 212–223.
5. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 311. № 1. С. 77–83.
6. Гришагин В.М., Еремин Л.П., Деменкова Л.Г. Образование газообразной составляющей сварочного аэрозоля при сварке горно-шахтного оборудования и ее воздействие на организм человека // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 3. С. 400–407.

7. Гришагин В.М., Еремин Л.П., Деменкова Л.Г. Процессы образования и состав твердой фазы сварочного аэрозоля как наиболее вредного фактора при сварке горно-шахтного оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 3. С. 412–422.
8. Инвестиционный паспорт города Юрги. Юрга, 2016. 28 с.
9. Данные филиала ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области» в г. Юрга, 2016 г.
10. Будаева Ю.С., Таловская А.В. Техногенные частицы в твердом осадке снега как индикаторы загрязнения городской территории (г. Юрга, Кемеровская область) // Геоэкология: теория и практика: сборник научных трудов Всероссийской студенческой конференции с международным участием. М: РУДН, 2020. С. 72–80.
11. Методические рекомендации, по геохимической оценке, загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
12. Будаева Ю.С. Геохимические особенности твердой фазы снегового покрова городской территории (на примере г. Юрга) // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 5–9 апреля 2021 г.: в 2 т. Томск: Изд-во ТПУ, 2021. Т. 1. С. 344–346.
13. Lim C. H. Toxicity of two different sized lanthanum oxides in cultured cells and sprague-dawley rats // Official Journal of Korean Society of Toxicology. 2015. V. 31. № 2. P. 181–189.

Results of studying the material composition of solid snow sediment samples on the territory of Yurga are presented in work. Various types of technogenic particles were identified, the elemental analysis of which made it possible to make a conclusion about their origin and peculiarities of the distribution of some chemical elements in the area of the location enterprises of the machine-building and heat-and-power industries.

## **Виноградова А.А.**

(Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, e-mail: anvinograd@yandex.ru)

### **Черный углерод в атмосфере на острове Врангеля: вклады антропогенных источников и пожаров Евразии и Америки**

## **Vinogradova A.A.**

(A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow)

### **Black carbon in the Wrangel Island atmosphere: contributions of anthropogenic sources and fires of Eurasia and America**

Ключевые слова: атмосфера, загрязнение, черный углерод, остров Врангеля, дальний перенос, источники черного углерода

Анализ дальнего атмосферного переноса черного углерода (BC) в район о. Врангеля в летние месяцы 2015–2017 гг. показал, что вклад российских источников в концентрацию BC в приземном воздухе на о. Врангеля абсолютно преобладает над вкладом американских источников. Летом в среднем вклады пожаров и антропогенных источников (суммарно, не разделяя их по территориям) относятся как 5:3 соответственно.

Природные экосистемы тихоокеанского сектора Арктики, в том числе самые северо-восточные территории России, находятся под влиянием воздушных масс и содержащихся в них веществ, поступающих не только из Евразии, но также в результате трансграничного атмосферного переноса из Северной Америки [1]. В последние десятилетия, в связи с очевидными климатическими изменениями на планете, обострился интерес к атмосферным примесям, влияющим на энергетический баланс системы «атмосфера-подстилающая поверхность», в частности, к черному углероду (black carbon, далее BC). Эта примесь попадает в атмосферу в результате человеческой деятельности при неполном сгорании различных углеродсодержащих топлив, а также при горении биомассы во время лесных и сельскохозяйственных пожаров [2, 3]. Появлений в последние годы на ряде сайтов (например, [4, 5]) надежных сведения о положении, мощности и генезисе источников выбросов BC в атмосферу (как результат обобщения данных инвентаризации источников и дистанционного зондирования) позволило применить разработанную ранее методику модельных расчетов дальнего переноса аэрозольных примесей на субмикронном аэрозоле [6] для черного углерода и района о. Врангеля.

Дальний перенос воздушных масс к точке с координатами 71.0° с.ш., 175.5° з.д., расположенной на о. Врангеля (далее – ВР), изучался с помощью ежесуточных обратных траекторий движения воздушных масс, рассчитанных на сайте Лаборатории воздушных ресурсов ARL NOAA [7] (программа HYSPLIT), для трех летних месяцев 2015–2017 гг. Практически все траектории, по которым воздух поступает к рассматриваемой точке,

располагаются над территорией в пределах координат  $(52-74)^\circ$  с.ш. $\times(110-245)^\circ$  в.д. Для простоты математической обработки материала нами использована только восточная долгота, продолженная за меридиан  $180^\circ$  в.д., разделяющий Восточное и Западное полушария. Эта территория была условно разделена по меридиану  $190^\circ$  в.д. на две части, далее называемые RUS и AMER, (рис. 1). Отношение площадей RUS/AMER равно примерно 1.5.

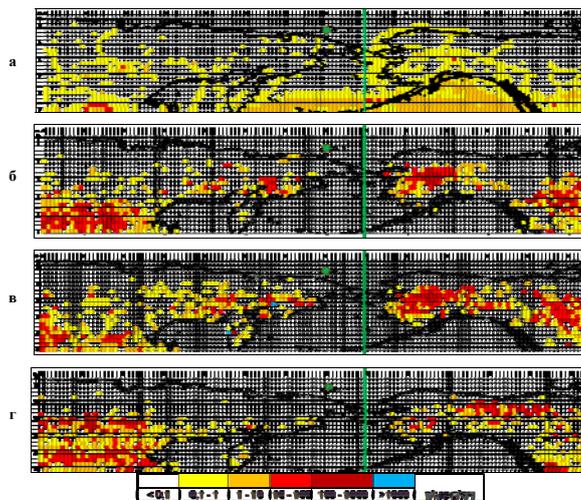


Рис. 1. Пространственные распределения (ячейки  $1\times 1$  градус) эмиссий ВС на территориях RUS и AMER (слева и справа от зеленой вертикали, соответственно) – в среднем за летние месяцы, т/мес/яч: а – антропогенные эмиссии; б–г – эмиссии от пожаров в 2015-2017 гг. соответственно, по данным сайтов [4, 5]

В рассматриваемые летние месяцы процессы циркуляции атмосферы были очень изменчивы от месяца к месяцу, в результате чего соотношение частот поступления воздуха с территорий RUS и AMER сильно менялось. По оценкам [2], источниками ВС, дающими максимальные вклады в содержание ВС в атмосфере над Арктикой, являются (как в России, так и в Америке и Канаде) травяные и лесные пожары, а также – из антропогенных источников – открытое сжигание газа (факелы) при нефте- и газодобыче, транспорт и бытовое оборудование.

Расположение источников антропогенных эмиссий ВС изменяется в течение года незначительно, а их мощность на территориях RUS и AMER менялась в пределах 10% от месяца к месяцу, составляя летом в среднем за три года 611 т/мес. и 834 т/мес., соответственно. Пространственное распределение антропогенных эмиссий на рассматриваемых территориях

России и Америки показано на рис. 1а, считая их одинаковыми как по величине, так и по пространственному распределению для всех девяти рассматриваемых летних месяцев.

Эмиссии от пожаров значительно более изменчивы как в пространстве, так и во времени (рис. 1б-1г и рис. 3). Средние суммарные величины летних пожарных эмиссий ВС с рассматриваемых территорий RUS и AMER в 2015–17 гг. почти одинаковы и составляют 8790 т/мес. и 8760 т/мес., соответственно. Таким образом, летом в среднем в течение рассматриваемых трех лет эмиссии от пожаров на порядок и более превышали антропогенные эмиссии ВС в атмосферу. При этом изменчивость эмиссий ВС от пожаров как внутри летних сезонов, так и от года к году велика (рис. 2).

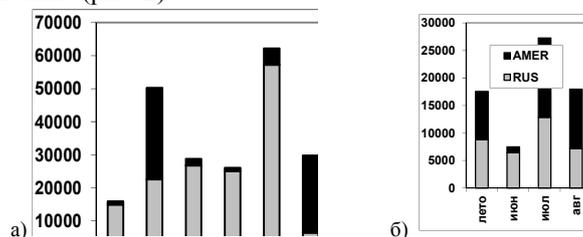


Рис. 2. Изменчивость эмиссий ВС от пожаров (т/мес) на рассматриваемых территориях RUS и AMER: а – в разные летние месяцы; б – в среднем (за три года) по месяцам и за лето в целом.

Для оценки концентрации ВС в воздухе в районе ВР применялась методика, ранее разработанная авторами и подробно описанная в [6]. Для каждого изучаемого месяца для пункта ВР были рассчитаны распределения функции чувствительности  $Z_{ij}$  к эмиссиям примеси с пространственным разрешением  $1 \times 1$  градус широты и долготы ( $i \times j$ ). Эти распределения далее умножаются в соответствующих ячейках на распределения эмиссий ВС в атмосферу  $Q_{ij}$  (рис. 1). В результате получаем пространственное распределение вкладов источников ВС, расположенных в различных ячейках сетки, в концентрацию ВС в районе ВР. Суммирование по территории, откуда поступают воздушные массы и загрязнение, дает концентрацию ВС в изучаемой точке ВР, создаваемую источниками, расположенными на этой территории.

По рис. 3а можно сравнить соотношения вкладов антропогенных источников территорий России и Америки в концентрацию ВС в приземном воздухе на о. Врангеля в рассматриваемые месяцы. Вариации от месяца к месяцу отражают только изменения процессов циркуляции атмосферы в регионе тихоокеанской Арктики. В целом в летнее время вклад российских антропогенных источников ВС в приземную концентрацию ВС в изучаемом районе на два порядка превосходит вклад антропогенных источников Америки. Такие сильные различия связаны не столько с большей площадью

рассматриваемой российской территории или с преимущественным переносом воздуха с территории России, сколько с большей удаленностью источников ВС на территории Америки от пункта ВР, а также с большей скоростью осаждения примеси на водную поверхность, чем на сушу. Американские источники вносили значимую долю (почти 7%) в концентрацию антропогенного ВС в воздухе на о. Врангеля лишь в августе 2015 г. (рис. 3а).

Заметим, что аналогичные оценки, выполненные нами для зимних месяцев (когда источники ВС только антропогенные), дали значения концентрации ВС заметно выше и с меньшими относительными вариациями –  $(30.5 \pm 9.6)$  нг/м<sup>3</sup>, что хорошо соответствует измерениям в течение многих лет на ближайшей арктической станции наблюдений Barrow, Alaska в холодные месяцы года [2]. Как уже отмечалось, более высокие концентрации ВС зимой обусловлены большим временем жизни примеси в атмосфере над заснеженной/заледенелой поверхностью в холодную часть года [6]. При этом зимой и средний вклад более удаленных американских источников выше – 16%.

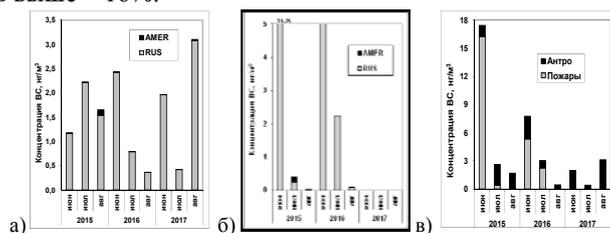


Рис. 3. Соотношение вкладов источников в концентрацию ВС в приземном воздухе в районе ВР: расположенных на территориях RUS и AMER антропогенных источников (а) и пожаров (б), а также антропогенных источников и пожаров в целом (в) без разделения их по территориям.

Соотношения концентрации ВС от пожаров в воздухе на о. Врангеля, формируются вариациями (по месяцам) как циркуляционных процессов (рис. 2), так и расположения пожаров и интенсивности выбросов ВС от них в атмосферу (рис. 1б-г и рис. 2). Вклады пожаров на территории России значительно превышают вклады американских пожаров (рис. 3б). Лишь в июле 2015 г. вклад пожаров с территории Америки был чуть выше 37%, хотя в среднем (по данным за девять рассматриваемых летних месяцев) вклад пожарных эмиссий ВС с территории Америки формирует лишь около 0.7% концентрации ВС, создаваемой пожарами в воздухе на о. Врангеля. Оценки, представленные на рис. 3б, хорошо соответствуют величинам приземной концентрации ВС, измеренной в летние месяцы на станции наблюдений Barrow, Alaska [2].

Если сравнивать влияние источников ВС различного генезиса (антропогенных и пожарных), не различая их по территориям

происхождения, их вклады изменяются по месяцам очень сильно (рис. 3в). Но в среднем летом 2015–2017 гг. антропогенные источники и пожары создавали на о. Врангеля мало различающиеся концентрации ВС:  $(1.6 \pm 1.0)$  нг/м<sup>3</sup> и  $(2.7 \pm 5.4)$  нг/м<sup>3</sup> соответственно, с отношением около 3:5.

Однако среднемесячные оценки концентрации ВС в воздухе не являются актуальными для радиационных расчетов и прогнозов, поскольку вариации среднесуточных величин концентрации ВС летом могут быть на 2–3 порядка больше среднемесячного значения, например, на станции Тикси [8], заметно повышая температуру воздуха в отдельные дни. В эти же дни принципиально меняются оптические и микрофизические свойства атмосферы, формируя ее аномальные радиационные характеристики [9].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-60183).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hirdman D., Sodemann H., Eckhardt S. et al. Source identification of short-lived air pollutants in the Arctic using statistical analysis of measurement data and particle dispersion model output // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. V. 10. № 2. P. 669–693.
2. AMAP Assessment 2015: Black carbon and ozone as Arctic climate forcers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway, 2015. 116 p. ISBN 978-82-7971-092-9
3. Evangeliou N., Balkanski Y., Hao W.M. et al. Wildfires in northern Eurasia affect the budget of black carbon in the Arctic – a 12-year retrospective synopsis (2002–2013) // *Atmos. Chem. Phys.* 2016. V. 16. № 12. P. 7587–7604.
4. EDGAR. Emissions database for Global Atmospheric Research. URL: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=431>
5. GFED. Global Fire Emissions Database. URL: <http://www.globalfiredata.org>
6. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // *Геофизические процессы и биосфера.* 2014. Т. 13. № 4. С. 5–20.
7. ARL NOAA. Air Resources Laboratory. URL: <http://www.arl.noaa.gov/ready/>
8. Виноградова А.А., Титкова Т.Б. Температура воздуха и концентрация черного углерода в приземной атмосфере в районе Тикси, Якутия // *Геофизические процессы и биосфера.* 2019. Т. 18. № 4. С. 15–21.
9. Журавлева Т.Б., Насртдинов И.М., Виноградова А.А. Прямые радиационные эффекты дымового аэрозоля в районе ст. Тикси (Российская Арктика): предварительные результаты // *Оптика атмосферы и океана.* 2019. Т. 32. № 1. С. 29–38.

Analysis of long-range atmospheric transport of black carbon (BC) to the area of Wrangel Island in the summer months of 2015–2017 showed that the contribution of Russian sources to near surface BC concentration at Wrangel Island absolutely prevails over the contribution of American sources. In summer, on the average, the ratio of contributions of fires and anthropogenic sources (in total, without dividing them by Eurasian and American territories) is near 5:3 respectively.

**Глазырин Е.А., Алешин Б.Н.**

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

**К выявлению субмаринной разгрузки подземных вод на восточном секторе Черного моря России**

**Glazyrin E.A., Aleshin B.N.**

(JSC «Yuzhmorgeologiya», Gelendzhik)

**To identifying submarine groundwater discharge in the eastern sector of the Russian Black Sea**

Ключевые слова: субмаринная разгрузка подземных вод, Черное море

Выделено несколько предполагаемых и установленных типов субмаринной разгрузки подземных вод, присутствующих на восточном секторе Черного моря России: подрусловый сток, линейный вдоль водопроницаемых зон, площадной на выходах водоносных горизонтов, карстовый, грязевулканический и газофлюидный, техногенный.

Субмаринная разгрузка подземных вод активно исследуется в последние годы [1–6 и др.]. Субмаринная разгрузка восточного сектора Черного моря России изучена весьма слабо. В условиях интенсивного рекреационного и хозяйственного использования кавказского и таманского побережья Черного моря, проектирования и строительства инженерной инфраструктуры на морском дне (портовые сооружения, трубопроводы, кабели, коллекторы, подходные каналы и пр.) данное обстоятельство вряд ли следует считать допустимым. Имеются приближенные оценочные сведения о субмаринной разгрузке на шельфе Крыма и Кавказа [7, 8]. Более изученным районом в отношении субмаринной разгрузки Черного моря выступает шельф Крыма, информация по которому дана в ряде публикаций [2, 7–14 и др.].

Для выявления и прогнозирования субмаринной разгрузки подземных вод в восточном секторе Черного моря России выполнен анализ результатов морских мониторинговых работ, опубликованной литературы и материалов геолого-съёмочных работ. В частности использованы:

- прямые наблюдения подводными аппаратами;
- результаты гидрохимического опробования придонных вод в виде кремниевого эквивалента (содержание кремния (Si, мг/л)/соленость (‰)), как потенциального индикатора пресной разгрузки;
- сведения по выявленным погребенным палеодолинам по данным сейсмоакустического профилирования и гидрозодирования;
- сведения по подводному грязевому вулканизму и газо-флюидной разгрузке;
- имеющиеся гидрогеологические схемы по сопредельной суше, составленные в рамках государственного геологического картирования

масштаба 1:200 000;

- государственные геологические карты масштаба 1:200 000 и 1:1 000 000;

- сведения по разгрузке подземных вод (родники) в прибрежной части с топографических карт масштабов 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000 для выделения водопроницаемых структур.

Участки субмаринной разгрузки подземных вод предполагаются по геофизическим данным (врезы погребенных речных палеодолин), гидрозондированию, а также выявлены прямыми наблюдениями.

По результатам анализа на площади выявлено и предполагается несколько типов разгрузки подземных вод:

- подрусловый сток подземных вод;
- линейный вдоль водопроницаемых зон разломов и трещинных зон;
- площадной (рассредоточенный) на выходах водоносных горизонтов;
- карстовый;
- грязевулканический и газофлюидный;
- техногенный.

Подрусловый сток подземных вод предполагается в пределах подводных авандельт и врезов погребенных речных палеодолин. Существование субмаринной разгрузки в пределах этих участков подтверждено данными гидрозондирования, где в качестве индикатора использовалось значение кремниевого эквивалента. В частности, получены признаки существования разгрузки в пределах палеорула р. Кубань, в авандельте р. Ашамба (Голубая бухта, г. Геленджик) и в авандельтах других рек побережья Кавказа. Так, по данным моделирования [15], разгрузка подземных вод в Черное море в пределах Имеретинской низменности через аллювиально-морскую террасу оценивается в  $18070 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Подводными наблюдениями визуализированы признаки разгрузки подземных вод в прибрежной части Имеретинской низменности. На шельфе в пределах голоценовой авандельты и в бортах каньона, где обнажаются более древние аллювиально-морские отложения, часто встречаются поля белесых пятен, воронки (рис. а, б), свидетельствующие о разгрузке подземных вод.

Линейный тип разгрузки вдоль водопроницаемых разломов и трещинных зон должен иметь широкое распространение на кавказском шельфе. На это указывают частые родники в прибрежной части вдоль водопроницаемых зон разломов. Подводными видеонаблюдениями разгрузки подземных вод зафиксированы в виде зон обеления вдоль тектонических трещин в обнажениях головных частей подводных каньонов Шахе и Мзымты (рис. в).

Площадной тип разгрузки на выходах водоносных горизонтов на морском дне предполагается в связи с наличием бассейна трещинных и трещинно-пластовых вод мезо-кайнозойского комплекса отложений

Большого Кавказа. О наличии таких разгрузок свидетельствуют видеонаблюдения в вершинной части подводного каньона Шахе (рис. г).

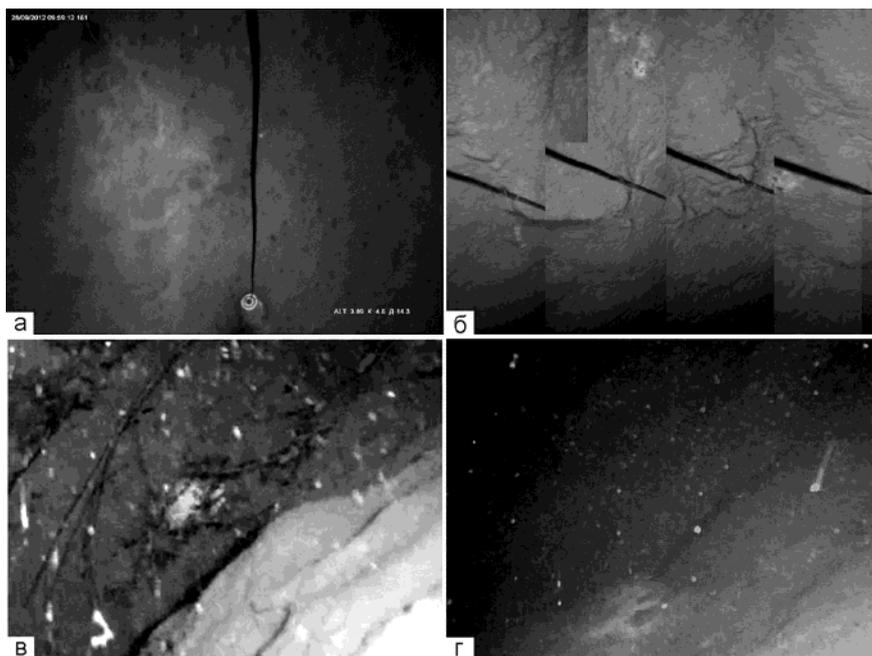


Рисунок. Разгрузка подземных вод (белесые пятна) по данным видеонаблюдений

а – обеление на поверхности современных авандельтовых отложений р. Мзымта у воронки высачивания; б – белесые пятна от разгрузки на вертикальной стенке подводного каньона Мзымты, сложенной кольматированными валунниками, морских отложений (накидной монтаж кадров); в – разгрузка (пятно обеления) по тектонической трещине в подводном каньоне Шахе; г – высачивание подземных вод в понижении морского дна среди выходов терригенных пород, подводный каньон Шахе.

Карстовый тип разгрузки предполагается на морской части выходов закарстованных известняков по аналогии с установленной таковой на крымском и абхазском шельфе [7, 14].

Грязевулканический и газофлюидный тип разгрузки присутствует на Керченско-Таманском шельфе, а также в глубоководной части – в Туапсинском прогибе, вале Шатского и Восточно-Черноморской впадине [1, 16, 17]. Состав воды данной разгрузки соответствует составу сопочных или нефтяных вод, обладающих повышенной минерализацией и аномальными концентрациями нефти, фенолов, полиароматических

углеводородов, ртути и тяжелых металлов [1, 17]. Дебит источников соответствует активности грязевулканических структур. По аналогии с изученной разгрузкой Темрюкского залива Азовского моря и сухопутной части Керченско-Таманской грязевулканической области очагами разгрузки служат подводные грязевые вулканы, замковые части антиклинальных зон с газо-флюидной разгрузкой в диапировых куполах. Так по расчетам Ю.Г. Юровского [14], в результате одного извержения подводного вулкана Голубицкого в 1988 г. в прибрежную зону поступило 40 тыс. м<sup>3</sup> подземных вод.

Субмаринная разгрузка подземных вод также может быть связана с метановыми сипами вне зон площади грязевого вулканизма, в том числе при разложении газогидратов [14, 18].

Техногенный тип разгрузки присутствует на траверсе крупных населенных пунктов. Представлен глубоководными выпусками (коллекторами) с очистных сооружений и вдольбереговыми высачиваниями от утечек из подземных коммуникаций. Вдольбереговые высачивания подземных вод техногенного типа присутствуют на участках береговых станций очистки, где с бассейнов аэрации по зонам трещиноватости они высачиваются на дне моря. Об этих высачиваниях свидетельствуют стабильные поля придонной опалесценции, коагуляции и обрастание дна нитчатками водорослями, обводненность пород берегового клифа.

По результатам исследований составлены карты-схемы субмаринной разгрузки подземных вод масштаба 1:1 000 000 и врезок масштаба 1:200 000. Полученные сведения и составленные карты-схемы могут служить основой для проведения дальнейших исследований субмаринной разгрузки подземных вод региона.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: ГлавМедиа, 2006. 176 с.
2. Юровский Ю.Г., Юровская Т.Н. Субмаринная разгрузка трещинно-карстовых вод в юго-западном Крыму // Геологический журнал. 1986. № 5. С. 58–63.
3. Burnett W.C., Aggarwal P.K., Aureli et al. Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods // Science of the Total Environment. 2006. V. 367 (2–3). P. 498–543.
4. Crusius J., Berg P., Koopmans Dirk J. et al. Eddy correlation measurements of submarine groundwater discharge // Marine Chemistry. 2008. V. 109. P. 77–85.
5. Nuclear and isotopic techniques for the characterization of submarine groundwater discharge in coastal zones. Results of a coordinated research project 2001–2006. IAEA, VIENNA, 2008. IAEA-TECDOC-1595. 199 p.
6. Taniguchi M., Burnett W.C., Cable J.E. et al. Investigation of submarine groundwater discharge // Hydrol. Process. 2002. V. 16. P. 2115–2129.

19. Zektser I. S., Dzamalov R. G. Submarine groundwater. US CRC Press, 2006. 460 p.
7. Дублянский В.Н., Кикнадзе Т.З. Гидрогеология карста Альпийской складчатой области юга СССР. М.: Наука, 1984. 128 с.
8. Шнюков Е.Ф., Иноземцев Ю.И., Лялько В.И. и др. Геология шельфа УССР. Твердые полезные ископаемые. Киев: Наук. думка, 1983. 200 с.
9. Коротков А.И., Павлов А.Н., Юровский Ю.Г. Гидрогеология шельфовых областей. Л.: Недра, 1990. 219 с.
10. Лялько В.И., Шнюков Е.Ф. О субмариной разгрузке подземных вод на шельфе украинского Причерноморья // Геологический журнал. 1980. № 3. С. 48–54.
11. Пасынков А.А., Пасынкова Л.А. Палеореки и каньоны крымского сектора Черного моря. Теория и методы современной геоморфологии // Материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН. 3–8 октября 2016 г. Т. 1. С. 258–262.
12. Пасынков А.А., Вахрушев Б.А. Субмаринные источники пресных вод юго-восточного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2017. Т. 3 (69). № 3. Ч. 2. С. 250–263.
13. Шнюков Е.Ф., Клещенко С.А., Митин Л.И. Исследования в подводных каньонах как новый метод поисков субмаринных источников // Геологический журнал. 1989. № 6. Т. 49. С. 63–73.
14. Юровский Ю. Г. Подземные воды шельфа. Задачи и методы изучения. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. 260 с.
15. Громов В.Е., Пашковский И.С. Геофильтрационная модель Имеретинской низменности для проектирования инженерной защиты территории и олимпийских объектов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 3. С. 214–227.
16. Андреев В.М., Туголесов Д.Д., Хренов С.Н. Грязевые вулканы и нефтепроявления российского сектора Черного моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2006. № 2. С. 50–59.
17. 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.
18. Кутас Р.И. Геотектонические и геотермические условия зон флюидной и газовой разгрузки в Черном море // Геофизический журнал. 2020. № 5. Т. 42. С. 16–52.

Several hypothetical and established types of submarine discharge of groundwater present in the eastern sector of the Black Sea of Russia have been identified: under-channel runoff, linear along permeable zones, areal at the outlets of aquifers, karst, mud volcanic and gas-fluid, technogenic.

**Глазырина Н.В., Шейков А.А.**

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

**Особенности химического состава четвертичных донных  
отложений юго-восточной части Российского сектора  
Черного моря**

**Glazyrina N.V., Sheykov A.A.**

(JSC «Yuzhmorgeologiya», Gelendzhik)

**Features of the chemical composition of Quaternary bottom  
sediments in the southeastern part of the Russian sector of the  
Black Sea**

Ключевые слова: донные отложения, химический состав, Черное море, Азовское море

Рассмотрены особенности химического состава четвертичных донных отложений юго-восточной части Российского сектора Черного моря, произведено их сравнение с донными отложениями Азовского моря. Для этого использованы стандартные петрохимические модули, показатели и индексы.

Характеристика особенностей химического состава выполнена на основе 30 силикатных анализов проб из грунтовых колонок и драгированного материала юго-восточной части Российского сектора Черного моря, полученных в рамках геолого-съёмочных работ на площади листов 37-IX, X, XVI. Они характеризуют четвертичные донные отложения нижней части континентального склона и котловины Черного моря на глубинах 1000–2129 м (рис. 1). Дополнительно привлечены 12 анализов неоплейстоцен-голоценовой части разреза ближайшей с запада глубоководной скважины 379А Glomar Challenger [1]. Для сравнительной характеристики использованы анализы четвертичных донных отложений Азовского моря: 21 анализ из опубликованных данных [2] и 25 проб из картировочных скважин, пробуренных при геолого-съёмочных работах на площади морской части листов L-37-IX, X.

Для характеристики использованы стандартные петрохимические модули и показатели [3]: гидролизатный модуль  $ГМ=(Al_2O_3+TiO_2+Fe_2O_3+FeO)/SiO_2$ , алюмокремневый модуль  $АМ=Al_2O_3/SiO_2$ , фемический модуль  $ФМ=(FeO+Fe_2O_3+MgO)/SiO_2$ , титановый модуль  $ТМ=TiO_2/Al_2O_3$ , натриевый модуль  $НМ=Na_2O/Al_2O_3$ , калиевый модуль  $КМ=K_2O/Al_2O_3$ , щелочной модуль  $ЩМ=Na_2O/K_2O$ , общая нормативная щелочность  $ОНЩ=(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ , железный модуль  $ЖМ=(FeO+Fe_2O_3+MnO)/(Al_2O_3+TiO_2)$ , плагиоклазовый модуль  $ПМ=(Na_2O+CaO)/K_2O$ , показатель зрелости материала пород областей сноса

$A = Al_2O_3 / (SiO_2 + MgO + K_2O + Na_2O)$ , показатель степени дифференциации осадков  $S = SiO_2 / (K_2O + Na_2O)$ , а также индекс изменения состава  $ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2) / Al_2O_3$  по [4].

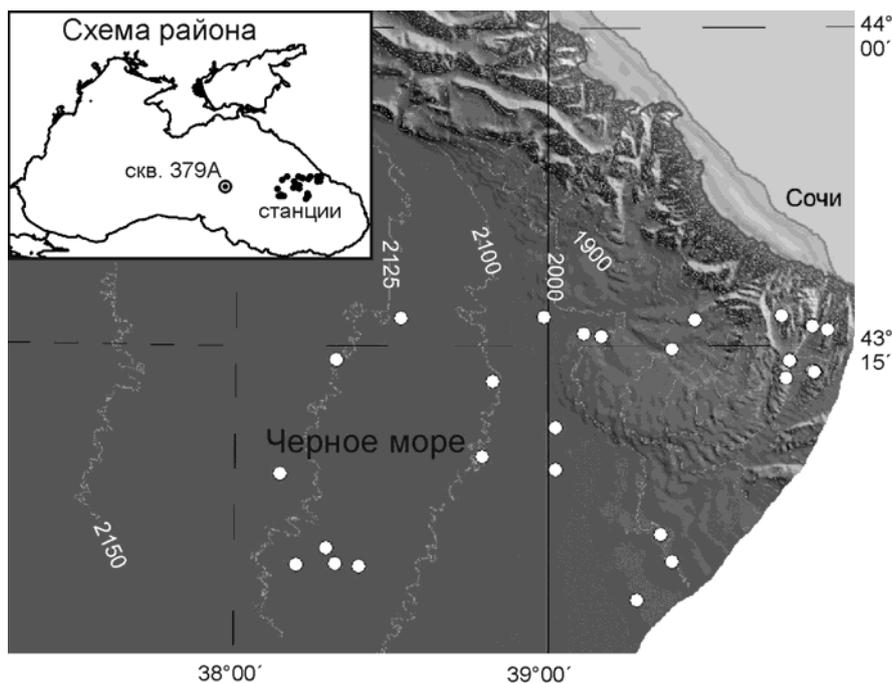


Рис. 1. Расположения станций опробования и скважины 379А, светотеневая модель рельефа морского дна

Анализ петрохимических показателей донных отложений Черного моря и их сравнение с таковыми Азовского моря (табл.), рассмотрение многочисленных диаграмм бинарных комбинаций петрохимических показателей позволяет выделить ряд закономерностей.

Наиболее значимо донные отложения Черного моря дифференцируются по гидролизатному (ГМ), алюмокремневому (АМ), фемическому (ФМ) модулям, показателю зрелости материала пород областей сноса (А) и показателю степени дифференциации осадков (S). Значения у крайних членов литодинамической дифференциации – алевропесчаных и пелитовых осадков – отличаются в 1.6–2 раза, что указывает на весьма слабо выраженный характер дифференциации и типично граувакковый характер алевропесчаных отложений. У донных отложений Азовского моря эти различия значительно резче – показатели у алевропесчаных осадков и пелитовых различаются практически на порядок. Донные отложения

Азовского моря заметно отличаются от изученных черноморских не только по относительным вариациям показателей, но и по абсолютным значениям. Некоторое перекрытие значений петрохимических показателей присутствует между изученными алевропесчаными отложениями Черного моря и пелитовыми Азовского (рис. 2).

Таблица. Значения петрохимических показателей донных отложений

№*	Пара-метр	ГМ	АМ	ФМ	ТМ	НМ	КМ	ЩМ	ОНЩ	ЖМ	ПМ	А	S	ICV
1	X	0.44	0.30	0.18	0.05	0.15	0.16	1.12	0.30	0.41	4,4	0.26	11.38	1.35
	min	0.32	0.21	0.13	0.04	0.10	0.13	0.50	0.26	0.33	1,5	0.19	7.08	0.71
	max	0.50	0.35	0.25	0.06	0.30	0.18	1.66	0.44	0.49	9,8	0.30	15.02	2.19
2	X	0.45	0.29	0.22	0.06	0.10	0.15	1.68	0.26	0.45	13.0	0.26	13.1	2.75
	min	0.40	0.26	0.15	0.04	0.06	0.15	0.96	0.22	0.39	2.7	0.22	9.7	1.10
	max	0.53	0.33	0.26	0.09	0.16	0.16	2.47	0.31	0.51	57.1	0.27	14.6	9.52
3	X	0.44	0.30	0.19	0.05	0.14	0.16	1.23	0.29	0.42	6.0	0.26	11.7	1.62
	min	0.32	0.21	0.13	0.04	0.06	0.13	0.50	0.22	0.33	1.5	0.19	7.1	0.71
	max	0.53	0.35	0.26	0.09	0.30	0.18	2.47	0.44	0.51	57.1	0.30	15.0	9.52
4	X	0.20	0.13	0.08	0.08	0.15	0.22	1.66	0.37	0.44	11.7	0.12	70.7	3.29
	min	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.13	0.33	0.19	0.10	0.8	0.01	10.5	0.76
	max	0.43	0.29	0.18	0.24	0.54	0.37	2.80	0.72	1.19	142	0.25	374	32.07

\*Донные отложения: 1 – листов 37-IX, X, XVI Черного моря; 2 – верхней части разреза скважины 379A Glomar Challenger; 3 – Черного моря по 1, 2; 4 – Азовского моря.

По остальным показателям (ПМ, ТМ, НМ, КМ, ЩМ, ОНЩ, ЖМ, ICV) изученные терригенные донные отложения Черного моря практически не различаются или очень слабо. Их значения для крайних литодинамических дифференциатов – алевропесчаных и пелитовых осадков – близки, с перекрытием значений. Среди этих показателей выделяются ПМ, ОНЩ, ЖМ и ICV, которые информативны на присутствие посторонних примесей в терригенных отложениях – карбонатного или органического вещества.

Так известковистые пелитовые илы и глины Черного моря с содержаниями CaO около 15–18% значения ПМ достигают 7–10, а у карбонатных осадков с содержанием CaO=40% из скважины 379A Glomar Challenger ПМ=57. У Азовских детритовых песков с ракушей (CaO=21–35.5%) значения ПМ составляют 23–142.

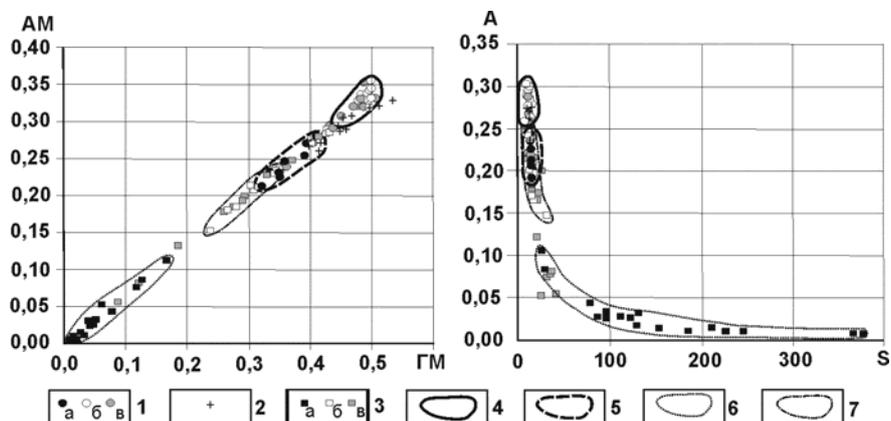


Рис. 2. Бинарные диаграммы петрохимических показателей  
 1–3 – донные отложения (а – алевропесчаные, б – пелитовые, в – алевропелитовые и неопределенные): 1 – листов 37-IX, X, XVI Черного моря, 2 – верхней части разреза скважины 379А Glomar Challenger, 3 – Азовского моря; 4–7 – поля донных отложений крайних членов литодинамической дифференциации: 4 – алевропесчаных листов 37-IX, X, XVI, 5 – пелитовых листов 37-IX, X, XVI, 6 – алевропесчаных Азовского моря, 7 – пелитовых Азовского моря

ICV оказался более информативен в отношении присутствия органического и карбонатного материала, нежели определения степени зрелости поступающей в область седиментации тонкой алюмосиликокластики или показателя климата в области размыва.

По значениям петрохимических показателей изученные донные отложения Черного моря в отличие от азовских обладают небольшими вариациями. В целом рассмотренные донные отложения Черного моря характеризуются как незрелые. Они испытали относительно слабую дифференциацию. Отложения образовались путем периодического отмучивания пелитовой фракции из турбидитных и суспензионных потоков. В результате отмучивания терригенные донные отложения крайних по гранулометрии литодинамических типов – песчаноалевритовых и пелитовых – несколько различаются, но не так выражено, как у более зрелых и дифференцированных отложений, в частности Азовского моря. Алевропесчаные осадки Черного моря относятся к типичным грауваккам, а пелитовые тяготеют уже к гидролизатным продуктам. Алевропелитовые отложения занимают промежуточное положение. Поставщиком терригенного материала служит область активной денудации с выходами не выветрелых коренных пород, отсутствием кор выветривания и относительно холодным климатом. В процессе транспортировки терригенный материал практически не подвержен процессам выветривания.

По значениям КМ в составе донных отложений присутствует ассоциация гидрослюды+хлорит+плагиоклаз.

Различия по петрохимическим показателям крайних по гранулометрии литодинамических типов - алевропесчаных и пелитовых отложений – нарушаются присутствием посторонних примесей – карбонатного (кокколитовый материал) и органического (сапропель) вещества, выявляемых такими показателями, как ПМ, ОНЦ, ЖМ и ICV.

Использованы материалы, полученные по программе Государственного геологического картирования при выполнении контрактов № 15-3/19-1, 44/01/13-56, 31/01/13-39.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. V. 42, Part 2. Washington: U.S. Government Printing Office. 1978. 1260 p.
2. Матишов Г.Г., Польшин В.В., Ильин Г.В. и др. Закономерности литохимии и палинологии современных донных отложений Азовского моря // Вестник Южного Научного Центра РАН. 2006. Т. 2. № 4. С. 38–51.
3. Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород: Справочное пособие. М.: Недра, 1985. 511 с.
4. Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in southwestern United States // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995. V. 59. P. 2919–2940.

The features of the chemical composition of the Quaternary bottom sediments of the southeastern part of the Russian sector of the Black Sea are considered, and they are compared with the bottom sediments of the Sea of Azov. For this, standard petrochemical modules, indicators and indices were used.

**Глазырина Н.В., Шейков А.А.**

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

**Петрографическая характеристика алевропесчаной фракции донных осадков восточной части котловины Черного моря**

**Glazyrina N.V., Sheykov A.A.**

(JSC «Yuzhmorgeologiya», Gelendzhik)

**Petrographic characteristics of the silty-sandy fraction of Quaternary bottom sediments in the eastern part of the Black Sea basin**

Ключевые слова: донные осадки, петрография, Черное море

Изучен петрографический состав алевропесчаной фракции четвертичных донных осадков из грунтовых колонок восточной котловины Черного моря. Терригенный материал алевропесчаной фракции донных осадков по минерально-петрографическому составу соответствует области денудации южного склона Кавказа, а также морского дна.

Пространственные изменения (по площади и в разрезе) состава терригенного материала служат важной информационной базой для реконструкции геологической истории развития седиментационного бассейна (литодинамики, осадконакопления, палеогеографии, геоморфологии, тектоники и пр.). В этом отношении петрографический состав четвертичных алевропесчаных донных осадков котловины Черного моря изучен относительно слабо. Имеются немногочисленные сведения о минеральном составе донных осадков, реже о составе обломков [1–4].

Петрографическому изучению подвергнут алевропесчаный материал из наиболее представительных грунтовых колонок станций № 7, 147, 150 и 163 (рис.), отобранных в 2019 г. при площадном опробовании гравитационными трубками донных отложений восточной котловины Черного моря в рамках геолого-съёмочных работ (листы К-37-VIII, IX). Шлифы изготовлены из алевропесчаного материала голоцен-позднеоплейстоценовых отложений, отмытого от пелитовой фракции:

- станция 7 – глубина моря 2037 м, инт. 55–60 см, пелитовый ил с частыми прослойками алевропелитового ила мощностью до 0.5 см, возраст новочерноморский (джеметинские слои);

- станция 147 – глубина моря 2143 м, инт. 205–210 см, проба взята из нижней части пласта песка мощностью до 40 см градационной слоистости от глинистого алевролита в кровле до среднезернистого песка в подошве, возраст новочерноморский (джеметинские слои);

- станция 150 – глубина моря 2157 м, инт. 120–125 см, проба взята из нижней части пласта песка мощностью 25 см градационной слоистости от глинистого алеврита в кровле до мелкозернистого песка в подошве, возраст новочерноморский (джеметинские слои);

- станция 163 – глубина моря 2163 м, инт. 265–270 см, проба взята из нижней части градационного пласта мощностью 90 см от алевропелитового ила с интракластами сапропелевого ила в кровле до мелкосреднезернистого песка в подошве, возраст новочерноморский (каламитские слои);

- станция 163 – глубина моря 2163 м, инт. 370–375 см, проба взята из нижней части градационного пласта песка мощностью 20 см от алевритистого в верхней части до мелкозернистого в подошве, возраст новозвксинский.

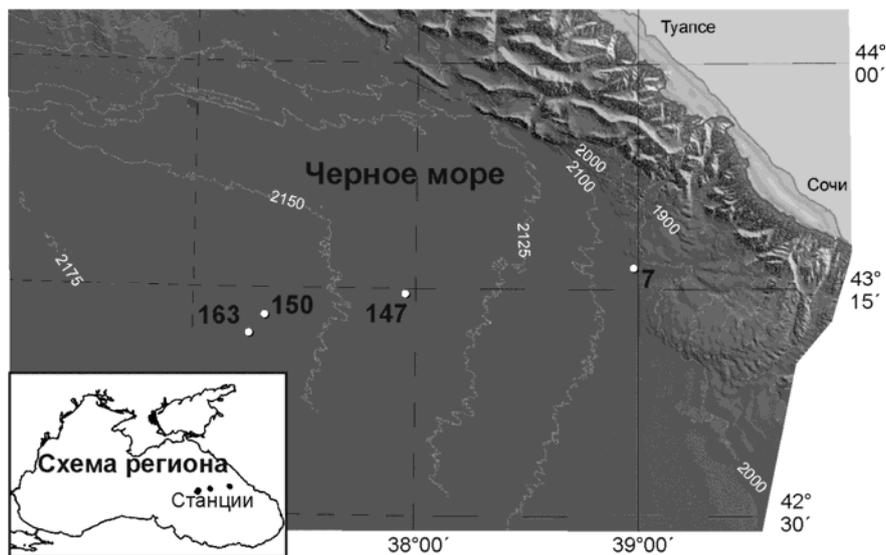


Рисунок. Схема расположения станций опробования на светотеневой модели рельефа морского дна

В современном виде станция 7 характеризует материал дистальной части денудационно-литодинамической каньонной системы Шахе с ее морскими декливиальными (оползневые и дефлюкционные фации) и турбидитными (потоковые фации) образованиями материкового склона, а станции 147, 150 и 163 – шлейфа разноса на абиссальной равнине морских турбидитов потоковых фаций от каньонных систем Мзымта-Бзыбь, Гудаута, Гумиста-Кодори, Риони-Ингури с преобладанием абхазского питания для станций 150, 163.

Терригенный материал алевропесчаной фракции имеет практически

одинаковый петрографический состав (табл.), что указывает на сходную область сноса. Отмечаются единичные зерна цеолитов, глауконита, коллофана, анкерита и сидерита. Терригенные обломки не окатанные, остроугольные, реже слабо окатанные. Несколько отличается материал станции 7. В нем резко преобладают обломки битуминозных мергелей алевропесчаной размерности (до 2 мм) при присутствии других обломков мелкоалевритового размера. Более крупные размеры обломков мергеля и отсутствие окатанности свидетельствует в пользу их сноса из близко расположенной области денудации. В соответствии с геологическим строением района [5], этому соответствует зона абразии морского дна континентального склона с выходами нефтематеринской майкопской серии.

Обломки минералов имеют оскольчатую форму. Для кальцита характерны кристаллы. Зерна биотита нередко хлоритизированы, зачастую имеют расщепленные по спайности формы, с присутствием в расщеплениях микрозерен рудного минерала. Полевые шпаты представлены в различной степени сосюритизированными плагиоклазами. Редко встречаются калиевые полевые шпаты.

Среди обломков пород интерес представляют битуминозные мергели, как нефтематеринские. Структура мергеля детрито-алевропелитовая. Битуминозные мергели сложены пелитоморфным карбонатом, глинистым веществом, алевритовой примесью терригенного материала, до алевритистого мергеля, аутигенным пиритом и битуминозным веществом. Присутствуют рассеянные карбонатные микросферы нанопланктона, мелкие многокамерные раковинки фораминифер различной морфологии и их детрит. Пелитоморфный карбонат частично перекристаллизован до микро- и мелкозернистого. Терригенный материал представлен остроугольными зернами кварца, полевого шпата и чешуйками мусковита. Пирит густо рассеян в матриксе мергеля в виде фрамбондов и микрозерен, линзовидных микроскоплений. Присутствуют редкие пеллеты овальной формы размером 0.05–0.1 мм, выполненные глауконитом или коричневатожелтым коллофаном.

Органическое вещество в мергеле представлено битумом и, реже, рассеянным углефицированным атритом. Редко встречаются относительно крупные включения углефицированной древесины. Битумное вещество пигментирует основной матрикс мергеля, придавая породе коричневатый цвет, и выделяется в виде диффузно-линзовидных пятен, в полостях микрофоссилий и в виде различной степени расплывающихся округлых микровыделений. В краевой части крупные обломки мергеля нередко обеднены битуминозным веществом за счет его эмиграции.

Обломки глинистых сланцев и филлитов имеют выраженную уплощенную форму, содержат непросвечивающее углеродистое вещество, примесь алевритового материала с переходом в алевролиты. По своим признакам сланцы и филлиты соотносятся с юрскими черными сланцами

Кавказа.

Таблица. Петрографический состав алевропесчаной фракции, % зерен

Компоненты	Содержание компонентов в шлифах станций				
	7	147	150	163*	163**
Кварц	5.2	7.6	14.3	18.8	17.1
Полевой шпат	2.8	2.2	3.6	3.3	8.4
Мусковит	0.2	0.7	4.0	2.5	0.8
Биотит	0.5	0.2	1.7	2.9	2.5
Клинопироксен	1.3	1.3	1.9	1.2	4.4
Апатит	<0.1	<0.1	0.3	0.2	<0.1
Амфибол	0.5	0.1	1.6	3.9	2.1
Кальцит	1.7	2.2	2.2	1.8	1.0
Эпидот-клиноцоизит	0.2	0.2	<0.1	<0.1	3.3
Всего терригенных минералов	12.2	14.4	29.5	34.6	36.3
Известняки	6.3	22.0	8.2	13.5	15.9
Битуминозные мергели	66.1	2.5	11.1	4.1	6.1
Филлиты, глинистые сланцы	3.4	24.7	26.2	18.8	7.3
Вулканиты	1.5	11.7	5.7	5.6	8.8
Кварциты и кремни	0.2	8.1	4.1	3.3	3.1
Алевролиты	0.9	3.7	6.0	5.3	1.9
Уголь	0.3	<0.1	<0.1	0.6	0.2
Измененные породы	0.7	6.5	3.8	4.8	5.2
Всего обломков пород	79.4	79.2	65.1	55.4	48.4
Детрит раковин	2.2	0.7	1.5	3.3	2.1
Аутигенные сульфиды	6.3	5.6	4.0	6.1	9.8

\* интервал 265–270 см;

\*\* интервал 370–375 см.

Обломки известняков представлены преимущественно микробиально-водорослевыми известняками и органогенно-детритовыми со спаритовым карбонатным цементом. По литогенетическим признакам они схожи с известняками верхнеюрско-нижнеэоценового карбонатного разреза Гагро-Джавской (Абхазской) тектонической зоны южного склона Большого Кавказа. Самостоятельные карбонатные комочки микритового сложения имеют округлую форму и, возможно, являются аутигенными.

Обломки вулканитов представлены в различной степени палагонитизированными, карбонатизированными, эпидотизированными и хлоритизированными базальтами, андезибазальтами и их туфами, в т.ч. гиалокластами. Палагонит замещен минералами группы цеолитов, хлоритов, смектитов. Порфиновые вкрапленники представлены плагиоклазом и моноклинным пироксеном. Обломки вулканитов по своему

составу и структурно-текстурным особенностям соответствуют вулканитам порфиритовой серии байосса.

Обломки измененных пород характеризуются сосюритизацией, серицитизацией, карбонатизацией, хлоритизацией и окварцеванием, стирающие первичные признаки пород. Среди них, вероятно, присутствуют обломки измененных интрузивных пород среднекислого состава.

Детрит раковин представлен фрагментами размером до 2 мм тонких (0.05–0.1 мм) карбонатных створок.

Аутигенные сульфиды представлены микрозернистыми и микроглобулярными (фрамбоидальными) микроконкрециями, агрегатами дисульфидов железа (пирит, марказит).

Все составы алевропесчаных осадков относятся к лититовым грауваккам. Вниз по разрезу и удаленности от зоны денудации в них уменьшается содержание обломков пород (с 79% до 48%) с увеличением содержания обломков минералов (с 14% до 36%). Данные закономерности требуют подтверждения на большем числе определений.

Использованы материалы, полученные при выполнении контракта № 15-3/19-1.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения. М.: Наука, 1980. 212 с.
2. Иванников А.В., Иноземцев Ю.И., Сидоренко В.Б. и др. Минеральный состав донных отложений Крымско-Керченского шельфа и глубоководной восточной части Черного моря // Геологический журнал. 2003. № 1. С. 34–39.
3. Огородников В.И., Скаринский А.В., Каневец В.В. и др. Геолого-литологические исследования в восточной глубоководной части Черного моря // Геологический журнал. 1988. № 4. С. 108–112.
4. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. V. 42, Part 2. Washington: U.S. Government Printing Office. 1978. 1260 p.
5. Лаврищев В.А., Шейков А.А., Андреев В.М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Скифская. Лист К-37 (Сочи), К-38 (Махачкала), К-39. Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 431 с.

The petrographic composition of the silty-sandy fraction of Quaternary bottom sediments from the soil columns of the eastern Black Sea basin has been studied. Terrigenous material of the silty-sandy fraction of bottom sediments in terms of mineral and petrographic composition corresponds to the denudation area of the southern slope of the Caucasus, as well as the seabed.

**Дарьин А.В.<sup>1</sup>, Ракшун Я.В.<sup>2</sup>, Дарьин Ф.А.<sup>2</sup>,  
Сороколетов Д.С.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, e-mail: avd@igm.nsc.ru; <sup>2</sup>Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, г. Новосибирск)

**Методика поиска субмикронных частиц в донных осадках с использованием синхротронного излучения**

**Darin A.V.<sup>1</sup>, Rakshun Ya.V.<sup>2</sup>, Darin F.A.<sup>2</sup>, Sorokoletov D.S.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk; <sup>2</sup>Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk)

**A searching technique for submicron particles in bottom sediments using synchrotron radiation**

Ключевые слова: донные осадки, микрочастицы, элементный анализ, синхротронное излучение

Разработана и аттестована методика конфокальной рентгеновской микроскопии с синхротронным излучением. Итогом применения методики является определение концентраций и построение двух и трехмерных карт распределения химических элементов (от К до Мо по К-сериям, Pb, Th и U по L-сериям) в исследуемом образце с пространственным разрешением 10–100 мкм и пределами обнаружения до 0.1 г/т. Методика применена для поиска микрочастиц внеземного происхождения в донных осадках озер Тунгусского природного заповедника.

Использование синхротронного излучения для проведения микро-РФА (μРФА-СИ) исследований значительно расширяет аналитические возможности метода. Снижение пределов обнаружения (в оптимальных условия – до 0.1 г/т) позволяет определять широкий набор следовых элементов в разных природных матрицах. Использование фокусирующей рентгеновской оптики в варианте 2D или 3D сканирования дает возможность поиска и исследования элементного состава отдельных микрочастиц размером 10–15 мкм в различных депонирующих средах – донных осадках, снежных кернах, аэрозольных фильтрах и пр. [1, 2].

Разработана и аттестована методика конфокальной рентгеновской микроскопии с использованием поликапиллярной оптики с возбуждением синхротронным излучением. Методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного сканирующего микроанализа с использованием в качестве рентгеновского источника монохроматизированного синхротронного излучения в диапазоне энергий 12–26 кэВ из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН и рентгеновской концентрирующей оптики осуществляется исследование элементного состава природных и искусственных образцов с пространственным разрешением 10 мкм.

Итогом применения методики является определение концентраций и

построение двух и трехмерных карт распределения химических элементов (от К до Мо по К-сериям, Pb, Th и U по L-сериям) в исследуемом образце с пространственным разрешением 10–100 мкм. Пределы обнаружения составляют величины 0.1–100 г/т в зависимости от набора элементов и условий эксперимента.

Использование конфокального рентгеновского микроскопа (КРМ) (рис. 1) позволяет не только исследовать элементный состав микрочастиц, но и их морфологию и структурные характеристики [3, 4].

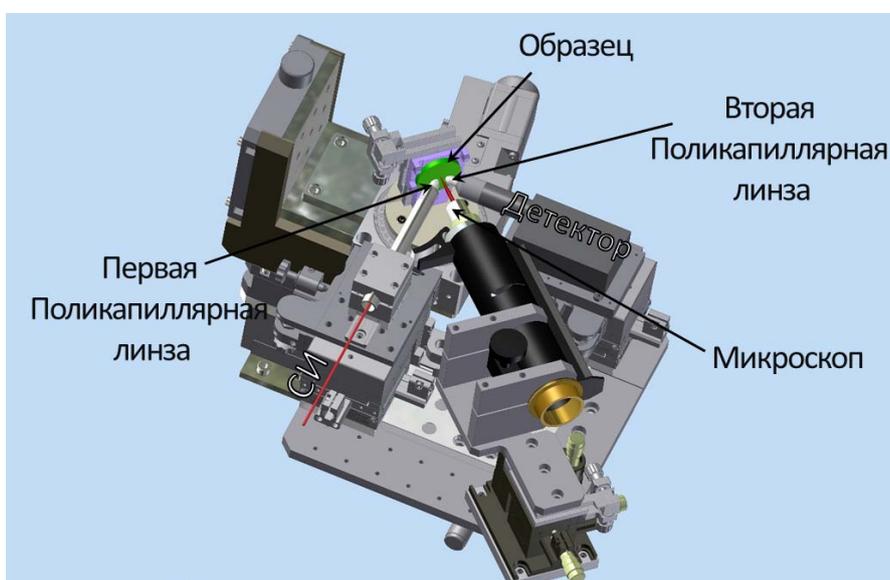


Рис. 1. Схема конфокального рентгеновского микроскопа.

Методика была применена для поиска микрочастиц внеземного происхождения в варвных (содержащих годовые слои) осадках озер Тунгусского природного заповедника. В озере Заповедное был обнаружен визуально выделяющийся слой мощностью 3–5 мм на глубине 165–170 мм от верха керна. Датировкой по распределению изотопов Cs-137 и Pb-210 был определен возраст слоя 1908–10 гг., что совпадает со временем взрыва Тунгусского космического тела (ТКТ) [1].

В результате проведенных исследований образца донных осадков, содержащего датированный годовой слой, по аномально высоким содержаниям Ni, Cu, Ge были обнаружены и 2D картированы две микрочастицы округлой формы диаметром ~ 50 мкм (рис. 2).

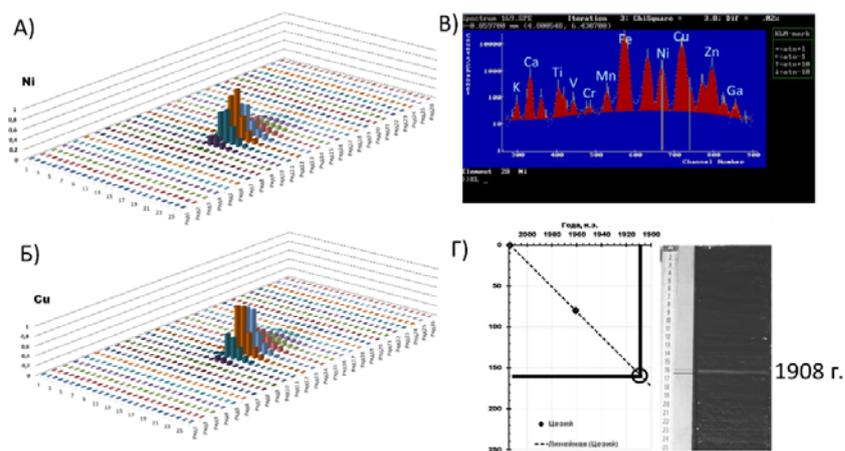


Рис. 2. Интенсивность аналитических линий (относительные единицы) Ni (А) и Cu (Б) в области сканирования  $250 \times 250 \text{ мкм}^2$  образца осадочной породы (кern донных осадков озера Заповедное, Тунгусский заповедник) с выделением медно-никелевой микрочастицы. В) – РФА спектр найденной микрочастицы. Г) – фото поверхности образца керна донных осадков с годовым слоем 1908 г (датировка по распределению активности  $^{137}\text{Cs}$ ).

С большой степенью вероятности обнаруженные частицы имеют взнезное происхождение и могут быть связаны со взрывом ТКТ в 1908 г. Исходя из объема исследованной пробы ( $2 \times 2 \times 0.2 \text{ мм}^3$ ) можно оценить содержание микрочастиц в датированном слое донных осадков озера Заповедное величиной 1 частица в  $0.4\text{--}0.5 \text{ мм}^3$ .

Методика может использоваться в литолого-геохимических, экологических, палеоклиматических и пр. исследованиях донных осадков.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-50046).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дарьин А.В., Рогозин Д.Ю., Мейдус А.В. и др. Следы тунгусского события 1908 г. в донных осадках озера Заповедное по данным сканирующего РФА-СИ // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 2. С. 61–65.
2. Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С. и др. Распределение германия и других элементов в образцах метеорита Челябинск по данным сканирующего рентгенофлуоресцентного микроанализа на источнике синхротронного излучения // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2019. Т. 83. № 11. С. 1568–1571.
3. Darin F., Sorokoletov D., Rakshun I. et al. Search for and analysis of

composition and structure of submicron-size particles in geological and environmental samples // AIP Conference Proceedings. SFR 2020. P. 070001.

4. Darin F., Sorokoletov D., Rakshun I. et al. Micro-xanes (W-L<sub>2</sub>) study of the Sikhote-Alin meteorite Kriventsov // AIP Conference Proceedings. P. 080005.

The technique of confocal X-ray microscopy with synchrotron radiation has been developed and certified. The result of the technique application is the construction of 2D and 3D maps of the chemical elements distribution (from K to Mo by K-series, Pb, Th and U by L-series) with a spatial resolution of 10–100 μm and detection limits of up to 0.1 ppm. The technique was applied to search for micro particles of extraterrestrial origin in the bottom sediments of the Tunguska nature reserve lakes.

**Денисов В.И., Латун В.В.**

(Институт наук о Земле Южного федерального университета, кафедра социально-экономической географии, г. Ростов-на-Дону, e-mail: denisovgeo@yandex.ru)

**Потоки химических элементов в составе осаждающегося взвешенного вещества в зоне маргинального фильтра шельфа Черного моря**

**Denisov V.I., Latun V.V.**

(Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Department of Socio-Economic Geography, Rostov-on-Don)

**Fluxes of chemical elements in the composition of the deposited suspended matter in the marginal filter zone of the Black Sea shelf**

Ключевые слова: потоки химических элементов, взвесь, потоки вещества, устья рек, лиманы, шельф, маргинальный фильтр.

Проанализированы результаты концентраций некоторых химических элементов и их потоки 80 проб взвеси из седиментационных ловушек в различных участках шельфа Черного моря: устьевые области Дуная, лиманы рек Днепр, Южного Буга, Днестра, Керченского пролива, участки устьевых областей рек Кавказского шельфа моря и зона интенсивного воздействия опытных мидийных хозяйств, где осаждающийся взвешенный материал находится под воздействием биофильтрации культивируемых мидий. Различия природных условий седиментогенеза, физико-химических условий воды, солености, рН, воздействия бентоса, фито- и зоопланктона и т.д. приводит к существенным различиям в минеральном составе осаждающейся взвеси и потоков химических элементов в ее составе. Выполнена количественная оценка потоков химических элементов. Аналитика – рентгено-флюоресцентный метод.

Функционирование маргинального фильтра в океане на примере российской Арктики подробно проанализировано в работе А.П.Лисицына [1]. Самая последняя информация о взвешенном веществе открытой части Черного моря представлена в разделе монографии [2]. Исходя из критериев существования многоступенчатого маргинального фильтра (5 основных ступеней) наши данные, полученные методом седиментационных ловушек, были сгруппированы по региональному принципу. Все полевые работы выполнены в шельфовой части Черного моря, в Керченском проливе, в устьевых областях рек северо-западной и кавказской частей шельфа, в лиманах и непосредственно на шельфе моря в отсутствии влияния речного стока (северо-восточное побережье моря) выполнялись по единой методике, с одним типом ловушек на протяжении 35 лет. Все методические и конструктивные особенности, а также материалы наблюдений, глубины районов и горизонты установки ловушек описаны в разделе монографии

5.2. [3]. Все перечисленные районы работ в Черном море являются зоной черноморского маргинального фильтра [1].

Керченский пролив характеризуется зоной смешения азовских и черноморских вод в вертикальной плоскости, это зона транзита вещества, скорости течений достигают значений до 3 м/с. Здесь происходит Интенсивный водообмен как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной. Диапазон солености: от 0 ‰ в устье Кубани до 16–18‰ в черноморском предпроливье.

Район шельфа от Анапы до Южной Озереевки в диапазоне глубин 20–30 м представляет собой зону влияния черноморской воды с соленостью от 15‰ на поверхности до 19‰ на глубине. Данный район имеет слабое влияние речного стока и определяется преимущественным воздействием черноморской воды. Из механизмов маргинального фильтра здесь, кроме волнового, гравитационного, важную роль играет биофильтрация и биоассимиляция.

Участок шельфа от реки Шепси до Туапсе находится под активным влиянием стока рек Шепси, Агой, Шапсухо, Вулан, Пшава и Туапсе. Данные реки имеют средний по объемам сток. Этот участок шельфа характеризуется существенным поступлением взвеси речного стока, что видно по вертикальным потокам вещества – в среднем  $170 \text{ г} \times \text{м}^{-2} \times \text{сут}^{-1}$ . Это выраженная зона лавинной седиментации [1]. Следующие три участка шельфа: устье рек Цусхвадж, Псезуапсе и Аше; устье р. Мзымты и устьевая область р. Ингури, – также можно отнести к участкам сильного воздействия речного стока. Максимальное влияние речного стока и речной (литогенной) взвеси, равно как и потоки осаждающегося материала характерны для устьевых зон рек Дуная, Днестра, Южного Буга и Днепра. Визуальные наблюдения за гидрофронтальными зонами смешения показали сильное влияние процессов смешения вод, где действуют гравитационные процессы осаждения вещества, флокуляция, сорбция, молекулярная и турбулентная диффузия, т.е. весь спектр физико-химических процессов в этом районе. Как выразился А.П. Лисицын, подобные участки устьевых областей – это «биогеохимический и физико-химический реактор маргинального фильтра» [1].

Отдельным участком исследования потоков вещества, его химического состава, а также потоков химических элементов являются взвеси в районе влияния опытных мидийных плантаций в районе мыса Утриш. Несколько лет подряд в период их эксплуатации нами осуществлялись регулярные сборы осаждающегося вещества, обогащенного органикой и трансформированного в процессе биогенной фильтрации в условиях выдвинутого бентосного биофильтра в верхний слой воды. Искусственно выращиваемая мидия на плантации была помещена в верхний 10-метровый слой воды на участке шельфа глубиной 20–30 м. На этом же участке шельфа северо-западнее мыса Утриш устанавливались седиментационные ловушки

для сбора фоновых значений потоков взвеси. Их соотношения приведены отдельной строкой в таблицах 2 и 3. Эти цифры получены на большом массиве данных и представляют интерес о влиянии биологической фильтрации бентосного (мидийного) сообщества на процесс седиментации.

Хорошо видно (таблицы 2 и 3) изъятие всех элементов взвеси кроме стронция и двенадцатикратное возрастание потоков осаждающегося материала как по концентрациям химических элементов, так и по их потокам в составе взвеси.

Таблица 1. Соответствие районов установки седиментационных ловушек и порядковых номеров в таблицах 2 и 3.

№	Район установки, количество СЛ
1.	Керченский пролив (7 шт.)
2.	Мыс Утриш – мыс Колдун (20 шт.)
3.	Район Пшада – Туапсе (7 шт.)
4.	Устье реки Цусхвадж - устье р.Аше (5 шт.)
5.	Устье Мзымты (5 шт.)
6.	Устье р. Ингури (2 шт.)
7.	Северо-западная часть ЧМ вместе с лиманами (5 шт.)
8.	Устья рек с-з части ЧМ (6 шт.)
9.	Мидийный носитель, мыс Утриш (37 шт.)
10.	Биоотложения мидий / взвесь фоновая

В табл. 2 приведены средние данные содержания химических элементов в осаждающейся взвеси (ловушечные данные) [2].

В табл. 3 показаны осредненные данные потоков осаждающегося вещества в размерности  $г \times м^{-2} \times сут.^{-1}$ . Содержание химических элементов определялось рентгено-флюоресцентным методом в Институте геологических наук национальной Академии наук Украины. Концентрация приводится в мкг/г сухого веса.

Биофильтрация, как важный компонент маргинального фильтра существенно преобразует химический состав взвесей, попадающих в биофильтрационный механизм моллюсков.

Концентрации химических элементов и их потоки во взвеси определяются множеством факторов, таких как, физико-химические условия водной среды (температура, соленость, скорость ветра и течений, состав газов в воде), минеральный состав взвесей, биологические трансформации и др. Шельф Черного моря, эстуарии всех рек, лиманы, Керченский пролив – это зона маргинального фильтра по определению А.П. Лисицына [1].

На основе значительного массива данных, полученных в результате длительных работ на шельфе моря, получены данные потоков вещества и ряда химических элементов в составе осаждающейся взвеси.

Таблица 2. Содержание химических элементов в ловушечной взвеси по регионам (преимущественным формам маргинального фильтра)  
(Fe – мг/г; все остальные – мкг/г)

№	Верг. поток вещества $V, \text{г} \times \text{м}^{-2} \times \text{сут}^{-1}$	Fe	Cr	Mn	Cu	Ni	Zn	Pb	Sr	Mo
1.	58.71	3.98	191.7	592.4	18.43	40.1	373.3	87.7	217.0	8.71
2.	4.46	3.72	215.6	1283.6	55.70	70.3	246.8	67.9	490.7	25.45
3.	172.69	1.25	н.д.	186.4	32.9	н.д.	62.9	30.7	253.6	н.д.
4.	83.67	2.60	358.0	490.4	37.6	100.2	162.4	44.6	275.8	30.40
5.	177.74	2.87	101.0	347.0	24.0	70.6	101.8	48.6	192.4	7.00
6.	22.28	6.76	250.0	2047.0	56.0	116.0	496.5	96.0	125.5	16.50
7.	25.76	7.02	490.0	4430.0	176.3	145.8	1000.0	127.6	253.6	36.20
8.	1062.74	4.73	214.5	6909.0	30.2	76.0	195.3	58.3	180.2	14.67
9.	53.01	1.62	151.4	148.4	24.7	46.0	145.6	36.3	606.0	17.10
10.	11.89	0.43	0.70	0.12	0.44	0.65	0.59	0.53	1.24	0.67

Таблица 3. Потоки химических элементов в составе осаждающейся ловушечной взвеси по регионам  
(Fe –  $\text{мг} \times \text{м}^{-2} \times \text{сут}^{-1}$ ; все остальные –  $\text{мкг} \times \text{м}^{-2} \times \text{сут}^{-1}$ ).

№	Fe	Cr	Mn	Cu	Ni	Zn	Pb	Sr	Mo
1.	24.46	1.22	4.67	0.05	0.25	0.73	0.36	1.10	0.07
2.	1.44	0.25	0.40	0.02	0.04	0.09	0.03	0.25	0.01
3.	19.30	н.д.	2.79	0.55	н.д.	0.61	0.46	3.61	н.д.
4.	7.45	2.93	1.26	0.12	0.84	0.47	0.28	2.03	0.25
5.	55.23	1.78	5.49	0.29	1.25	1.64	0.88	2.44	0.12
6.	12.64	0.47	2.99	0.06	0.20	0.67	0.16	0.32	0.02
7.	16.09	0.96	16.98	0.27	0.30	2.04	0.26	0.75	0.07
8.	395.40	14.43	164.54	1.18	7.17	19.43	5.86	18.96	1.27
9.	8.09	0.90	0.76	0.11	0.27	0.78	0.19	3.33	0.10
10.	5.60	3.64	1.92	4.88	6.76	8.78	7.16	13.54	10.02

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
2. Ключиткин А.А., Кравчишина М.Д., Лисицын А.П. и др. Вертикальные потоки рассеянного осадочного вещества в глубоководной части Черного моря // Система Черного моря. Глава 5.1. М.: Научный мир, 2018. С. 350–397.
3. Денисов В.И. Потоки взвешенного вещества в прибрежной части

шельфа в российском секторе Черного моря // Система Черного моря. Глава 5.2. М.: Научный мир, 2018. С. 397–425.

The results of concentrations of some chemical elements and their flows of 80 suspension samples from sedimentation traps in various sections of the Black Sea shelf are analyzed: the estuaries of the Danube, estuaries of the Dnieper, Southern Bug, Dniester, Kerch Strait, sections of the estuaries of the rivers of the Caucasian Sea Shelf and the zone of intensive exposure of experimental mussel farms, where the deposited suspended material is under the influence of biofiltration of cultivated mussels. Differences in the natural conditions of sedimentogenesis, physico-chemical conditions of water, salinity, pH, exposure to benthos, phyto- and zooplankton, etc. leads to significant differences in the mineral composition of the precipitating suspension and the flows of chemical elements in its composition. A quantitative assessment of the flows of chemical elements has been performed. Analytics is an X-ray fluorescence method.

**Дивинский Б.В., Дунаев Н.Н., Косьян Р.Д.**

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

**Климатические особенности вдольбереговых потоков  
донных осадков в прибрежной зоне п-ва Икакос (Куба)**

**Divinsky B.V., Dunaev N.N., Kosyan R.D.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Climatic features of alongshore sediments transport in the  
coastal zone of the Icacos Peninsula (Cuba)**

Ключевые слова: волновой климат, численное моделирование, вдольбереговые потоки, ураганы, Икакос, Куба

Основная цель работы – анализ особенностей вдольберегового транспорта донных осадков в районе п-ва Икакос за период с 1990 по 2019 гг. Установлено, что в среднегодовом (климатическом) выражении величины потоков с востока на запад оцениваются в  $45000 \text{ м}^3/\text{год}$ , с запада на восток – порядка  $11000 \text{ м}^3/\text{год}$ . Вклад отдельных тропических циклонов в годовые потоки может быть весьма значительным и измеряется десятками процентов.

Вдольбереговые потоки вещества во многом ответственны за морфологический облик прибрежной зоны, определяя процессы эрозии или аккумуляции наносов, а также трансформацию береговой линии. Потоки формируются под воздействием множества гидродинамических факторов, основным элементом которых выступает ветровое волнение. Обычной практикой является представление характеристик волнового поля в виде набора интегральных параметров (значительная высота волн, средний период, генеральное направление распространения), что оправдано в условиях однородного поверхностного волнения. В реальных условиях волновой спектр формируется в результате взаимодействия нескольких волновых систем (собственно ветрового волнения и зыби). Разделение волнового поля на отдельные компоненты позволяет более корректно описать пространственно-временную структуру поверхностного волнения, а также существенно уточнить схемы перераспределения и транспорта донных осадков в шельфовой зоне.

Основной целью данной работы является анализ климатической изменчивости параметров ветрового волнения и зыби, а также вдольбереговых потоков донных отложений в прибрежной зоне моря. Объектом исследований выступает прибрежная зона полуострова Икакос в северной части Кубы (рис. 1). П-ов Икакос является полигенетическим образованием и по форме напоминает аккумулятивную косу азовского типа протяженностью 22 км с достаточно широкими, до 50 м, пляжами [1]. Выбор района исследования обусловлен, во-первых, стремлением расширить изучение специфики береговых зон моря в различных

географических и геолого-геоморфологических условиях, их происхождения, современного состояния и перспектив развития; во-вторых, наличием соответствующего материала, имеющегося в распоряжении авторов статьи по предшествующим их работам непосредственно в рассматриваемом районе.

Существенной спецификой района является его расположение на пути тропических циклонов, сопровождаемых мощными ураганами, негативные последствия которых проявляются и в прибрежно-морской зоне. Для поддержания пляжей производятся периодические отсыпки песчаного материала [2]. Проектирование и эффективность подобных мероприятий напрямую зависят от полноты описания исходных литодинамических процессов, в том числе вдольбереговых потоков донных отложений. Оценка самих потоков невозможна без корректного описания влияющих факторов, в качестве которых, в нашем случае, выступают ветровые волны и зыбь. Таким образом, первостепенной по важности является задача получения качественных данных о параметрах поверхностного волнения в прибрежной зоне п-ва Икакос.

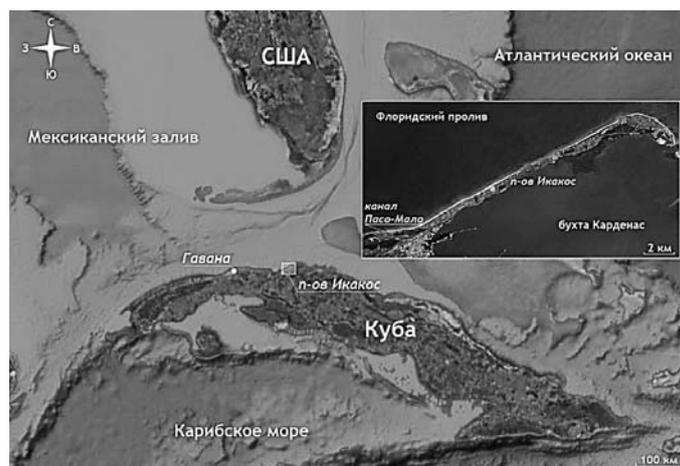


Рис. 1. Местоположение полуострова Икакос.

Основные задачи работы:

- для прибрежной зоны п-ва Икакос расчетным путем получить основные параметры ветровых волн и зыби за последние 30 лет (с 1990 по 2019 гг.);
- проанализировать статистические свойства компонентов поверхностного волнения;
- рассчитать вдольбереговые потоки донных осадков, генерируемые ветровыми волнами и зыбью;
- исследовать климатические особенности потоков и оценить вклад отдельных ураганов в процессы транспорта песка в прибрежной зоне.

Современным средством исследования параметров поверхностного волнения является математическое моделирование. В настоящей работе используется спектральная волновая модель MIKE 21 SW Датского Гидравлического института [3]. Модель реализует основные физические механизмы зарождения, трансформации и затухания ветрового волнения. Спектральная волновая модель успешно верифицирована для акватории Флоридского пролива с привлечением данных спутниковых наблюдений.

Исследования транспорта наносов в прибрежной зоне ведутся с помощью математической модели, позволяющей рассчитывать поток несвязного материала под воздействием течений и ветрового волнения. Основным результатом расчетов являются объемы вдольбереговых потоков наносов как в пределах выбранного штормового события, так и интегрированные за интересующий интервал времени (конкретный календарный год). Расчеты выполнены отдельно для двух основных составляющих поверхностного волнения: ветровых волн и зыби.

Имея в распоряжении рассчитанные параметры ветровых волн и зыби, оценим годовые вдольбереговые потоки донных осадков  $Q$ , придерживаясь следующих обозначений:

- знак (+) указывает на направление потоков с запада на восток, (–) – обратный, с востока на запад;
- $Q_w$  – потоки, сформированные под воздействием ветровых волн,  $Q_s$  – зыби.

Основные результаты:

1. Получен обширный массив данных, состоящий из полей рассчитанных параметров ветрового волнения и зыби в прибрежной зоне п-ва Икакос с временным шагом в 1 час и охватывающий период в 30 лет (с 1990 по 2019 гг.)

2. Рассчитаны вдольбереговые потоки донных осадков, генерируемые ветровыми волнами и зыбью.

3. В прибрежной зоне п-ва Икакос наибольшей повторяемостью обладает ветровое волнение северо-восточных и восточных румбов. Суммарная повторяемость волнения с этих направлений составляет почти 80%. Климатическая повторяемость волн зыби несколько иная, почти 70% волн зыби приходит с севера, 25% – с северо-запада.

4. Наиболее сильное ветровое волнение приходит с северного направления, при этом значительные высоты волн могут превосходить 6 м. Экстремальное ветровое волнение может также наблюдаться при штормах запад-северо-западного направления. По силе воздействия эти два направления (С и ЗСЗ) доминируют. Наиболее сильная зыбь с высотами волн, превышающими 4 м, подходит с северо-западных румбов.

5. В прибрежной зоне п-ва Икакос доминируют вдольбереговые потоки, направленные с востока на запад (рис. 2), в среднем в 4.5 раза превосходящие обратные потоки с запада на восток.

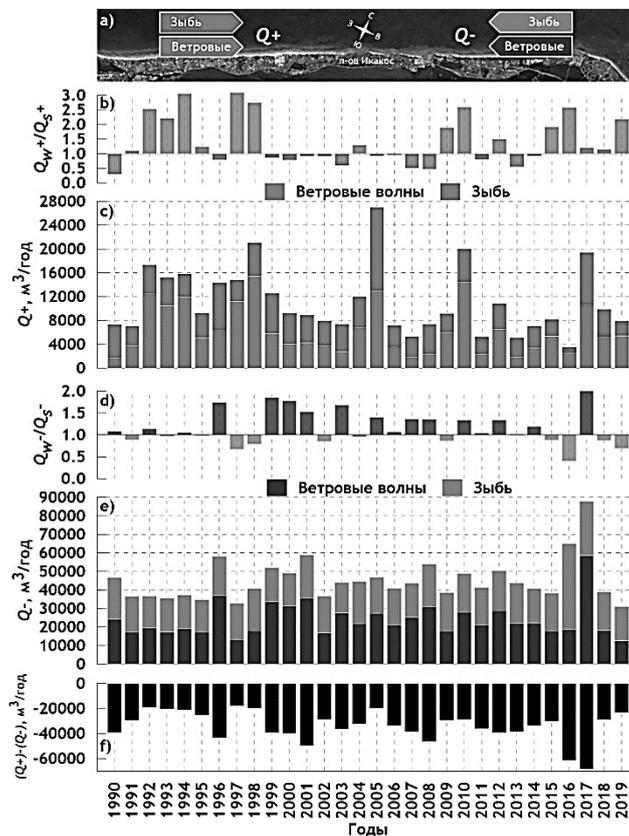


Рис. 2. Общая схема, иллюстрирующая принятые обозначения (а); отношения потоков, сформированных под воздействием ветрового волнения и зыби (b, d); суммарные годовые потоки (c, e); разность между годовыми потоками двух направлений (f)

В среднегодовом (климатическом) выражении величины потоков с востока на запад оцениваются в  $45000 \text{ м}^3/\text{год}$ , с запада на восток – порядка  $11000 \text{ м}^3/\text{год}$ . В структуре потоков преобладают, в целом, компоненты, сформированные под воздействием ветрового волнения. Особенно отчетливо это проявляется в потоках, направленных с запада на восток, в которых доля ветровых волн в 2–3 раза может превышать долю зыби. Тем не менее, в обратных потоках с запада на восток фактор зыби может расцениваться как некий фоновый, т.е. постоянно действующий независимо от местных ветровых условий.

6. Вклад отдельных тропических циклонов в годовые потоки может быть весьма значительным и измеряется десятками процентов.

Заметим также, что представленный в работе подход является несколько упрощенным, поскольку не рассматриваются превышения уровня моря, вызванные штормовыми нагонами. Влияние нагонов может быть учтено подключением гидродинамического модуля и является отдельной задачей со своими нетривиальными вопросами настройки и верификации.

Постановка задачи выполнена в соответствии с темой госзадания № 0128-2021-0004 и в рамках проекта РФФИ № 18-55-34002, анализ экспериментальных данных – благодаря финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-17-00060), математическое моделирование и вычислительная часть – при поддержке грантов РФФИ (№ 19-05-00041, 19-45-230002). Анализ результатов выполнен в рамках проекта РФФИ № 20-05-00009.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дунаев Н.Н., Леонтьев И.О., Marti J.L.J. К проблеме защиты берегов курорта Варadero (Куба) искусственным пляжем // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 4. С. 622–628. DOI: 10.31857/S0030157420040085.
2. Дунаев Н.Н., Леонтьев И.О., Репкина Т.Ю., Эррера Х.Ф. Геоэкологическая обстановка района международного курорта Варadero (Куба) // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2018. Т. 50. С. 152–169.
3. DHI Water & Environment. 2007. MIKE 21, Spectral Wave Module.

The paper presents the results of the climatic features of alongshore flows of bottom sediments analysis. The object of research is the Icacos Peninsula coastal zone in the northern part of Cuba. It was found that in average annual (climatic) terms, the values of flows from east to west are estimated at 45000 m<sup>3</sup>/year, from west to east – about 11000 m<sup>3</sup>/year. The contribution of individual tropical cyclones to annual flows can be very significant and is measured in tens of percent.

**Килесо А.В.<sup>1,2</sup>, Куприянова А.Е.<sup>1,2</sup>, Гриценко В.А.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, <sup>2</sup>Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград, e-mail: aleksandr.kilesso@gmail.com, anastasiya@mail.ru, gritsenko-vl-al@mail.ru)

**Гидродинамическая неустойчивость Рэлея-Тэйлора и изменчивость береговой морфосистемы Калининградского полуострова**

**Kilesso A.V.<sup>1,2</sup>, Kupriyanova A.E.<sup>1,2</sup>, Gritsenko V.A.<sup>1,2</sup>**

(<sup>1</sup>Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, <sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad)

**Raylay-Taylor hydrodynamic instability and variability of the shore morphosystem of the Kaliningrad peninsula**

Ключевые слова: неустойчивость Рэлея-Тэйлора, береговая морфосистема, юго-восточная Балтика, Калининградский полуостров, разрушение берега

Выполнено исследование влияния морфологических особенностей рельефа подводного берегового склона, а также возможности возникновения гидродинамической неустойчивости Рэлея-Тэйлора на литодинамические процессы в прибрежной зоне море. Показано, что гидродинамическая неустойчивость типа Рэлея-Тэйлора может играть стабилизирующую роль в стабильности существования береговой морфосистемы Калининградского полуострова

Динамика вод в барьерной зоне суша-море достаточно разнообразна: ветровые волны и их обрушение, дрейфовые и стоковые течения, сгоны и нагоны вод, приливы, движения конвективной природы и др. [1–3]. Проявления гидродинамической неустойчивости типа Рэлея-Тэйлора натурные наблюдения традиционно фиксируют при сезонном выхолаживании морских вод с поверхности [4]. Известно [5], что при этом над склоном дна возможно формирование каскадинга движений неоднородной по плотности воды в виде погружающихся термиком с отрицательной плавучестью, некоторые из которых могут достигать склона дна и «объединяться» в придонное течение (рис. 1).

Очевидно, что таким образом формирующиеся течения в условиях Балтийских берегов со слабым уклоном дна не могут иметь больших скоростей и обладать заметной способностью к переносу взвешенного материала [3, 6]. Как известно [5], такого рода вдольсклоновые течения конвективной природы оказывают влияние, главным образом, на термохалинную структуру вод Балтийского моря и, косвенно, на гидрохимические показатели морских вод.

Цель работы состоит в демонстрации еще одной возможности возникновения гидродинамической неустойчивости Рэлея-Тэйлора, имеющей прямое отношение к литодинамическим процессам в прибрежной

зоне моря.

При изучении время от времени происходящих «уходов» песка с пляжа Светлогорской бухты (вплоть до начала разрушения собственно берега) были обнаружены некоторые особенности динамики прибрежных вод, происходящие в условиях сильных и продолжительных штормов.

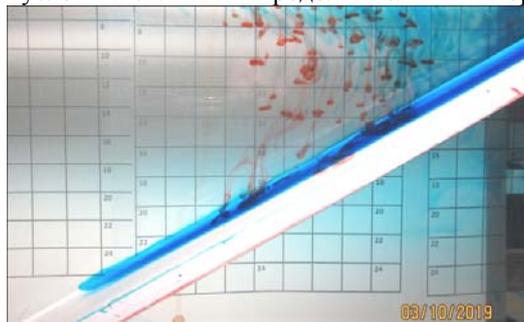


Рис. 1. Картина формирования вдольсклонового плотностного течения, порождаемого при выхолаживании воды с поверхности. Эксперимент проведен в гидрлотке лаборатории физики моря ИО РАН (Атлантическое отделение, г. Калининград). Перепад плотности между соленой воды на поверхности и заполняющей лоток пресной составляет  $0.0001 \text{ г/см}^3$ . Размеры ячеек сетки на заднем плане  $2 \times 2 \text{ см}$ .

Как оказалось [7], морфологические особенности рельефа подводного берегового склона в виде канавки или гряды (рис. 2) провоцировали возникновение в условиях сильных и продолжительных штормов устойчивых кросс-склоновых взвесенесущих придонных течений, осуществляющих вынос песка во вне зоны обрушения волн и ветроволнового воздействия донные осадки.



Рис. 2. Рассчитанная кривизна поверхности для используемой цифровой модели рельефа для Светлогорской бухты (от мыса Таран до г. Пионерский)  
(а) Красными овалами выделены районы с характерными морфологическими особенностями Синие цвет соответствует вогнутым участкам поверхности, красный цвет – выпуклым. Желтый цвет обозначает участки выровненной поверхности.

Линзы «свежего» песка на глубинах 30–40 м были обнаружены во время ряда экспедиционных наблюдений АО ИО РАН.

Вместе с тем на других участках берега Калининградского полуострова, несмотря на то же самое штормовое воздействие, пляж и поверхность берегового склона находились в квазистационарном состоянии. Очевидно, что на этих участках берега над склоном дна в условиях шторма также возникали большие объемы воды со значительным содержанием в себе взвешенного материала. Однако, стабильность пляжей и береговой линии свидетельствовали об отсутствии выноса больших объемов песка из приурезовой зоны. Разумным объяснением происходящего может служить следующая цепочка обстоятельств. Итак, в рассматриваемом случае относительно гладкая поверхность склона дна может создавать условия для возникновения неустойчивости типа Рэля-Тэйлора, проявляющееся в виде системы малых по своему объему «язычков» взвесенесущих вод (рис. 3), быстро угасающих в своем движении и не способных осуществить вынос песка на значительные расстояния.

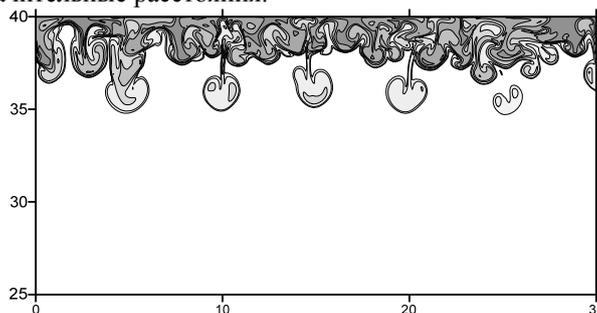


Рис. 3. Пример возникновения неустойчивости Рэля-Тэйлора для модельного течения. Расчет выполнен на модели динамики неоднородной по плотности жидкости [8]. Распределения изолиний плотности приведено только для части расчетного пространства, полные размеры которого составляли  $[0.0, 30.0] \times [0.0, 40.0]$ .

В отличие от классического «вертикального» варианта, в штормовых условиях возникновение неустойчивости Рэля-Тэйлора происходит на наклонной поверхности берегового склона, а в качестве дестабилизирующей силы выступает вдольсклоновая компонента ускорения силы тяжести. Неустойчивость движений взвесенесущей воды противодействует возникновению среднего течения и, соответственно, переносу взвешенного в воде материала во вне зоны ветро-волнового воздействия на поверхность склона дна.

Все это позволяет предположить, что гидродинамическая неустойчивость типа Рэля-Тэйлора может играть стабилизирующую роль в стабильности существования береговой морфосистемы Калининградского

полуострова.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00717 (лабораторные эксперименты) и госзадания № 0128-2021-0012 (модельные расчеты).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. М.: Мир, 1988. 324 с.
2. Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане: Осадко- и рудообразование, геоэкология. Калининград: Янтарный сказ. 1998. 416 с.
3. Зацепин А.Г., Гриценко В.А., Кременецкий В.В. и др. Лабораторное и численное исследование процесса распространения плотностных течений по склону дна // Океанология. 2005. Т. 45. № 1. С. 5–15.
4. Килесо А.В., Демидов А.Н., Гриценко В.А. Орографический фактор в формировании вдоль склоновых течений в юго-восточной Балтике // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2020. № 3. С. 100–107.
5. Косьян Р.Д., Пыхов Н.В. Гидрогенные перемещения осадков в береговой зоне моря. М.: Наука. 1991. 280 с.
6. Леонтьев И.О. Динамика прибойной зоны. М. ИО РАН. 1989. 184 с.
7. Самолюбов Б.И. Плотностные течения и диффузия примесей. М.: Из-во ЛКИ, 2007. 352 с.
8. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкостях. М.: Мир, 1977. 431 с.
9. Триттон Д.Дж., Дэвис П.А. Неустойчивости в геофизической гидродинамике // Гидродинамические неустойчивости и переход к турбулентности. М.: Мир, 1984. С. 271–316.
10. Чубаренко И.П. Горизонтальная конвекция над подводными склонами. Калининград: Terra Балтика. 2010. 256 с.

The study of the influence of the morphological features of the relief of the underwater coastal slope, as well as the possibility of the occurrence of Rayleigh-Taylor hydrodynamic instability on lithodynamic processes in the coastal zone of the sea, has been carried out. It is shown that hydrodynamic instability of the Rayleigh-Taylor type can play a stabilizing role in the stability of the existence of the coastal morphosystem of the Kaliningrad Peninsula.

**Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н.,  
Булохов А.В.**

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

**Вертикальные потоки осадочного вещества на северном  
сегменте хребта Мона (Норвежское море) по данным АГОС  
2019–2020 гг.**

**Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatsky A.N.,  
Bulokhov A.V.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Vertical particle fluxes at northern part of the Mohns Ridge  
(Norwegian Sea) according to ADOS data of 2019–2020**

Ключевые слова: седиментационные ловушки, осадочное вещество, вертикальный поток, гидротермальный плюм.

Представлены результаты исследований вертикальных потоков осадочного вещества в Норвежском море на периферии гидротермального поля Локи Касл в северо-восточной части хребта Мона по материалам годовой работы автоматической глубоководной седиментационной обсерватории (АГОС) в 2019–2020 гг.

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 настоящей работы собирался в течение 426 суток с 11.06.2019 г. по 10.08.2020 г. с помощью автоматической глубоководной седиментационной обсерватории (АГОС) с целью исследования условий седиментации под влиянием гидротермальных флюидов на субарктическом участке Срединно-Атлантического хребта (рис. 1). Район исследования – склон осевого вулканического поднятия рифтовой долины северо-восточной части хребта Мона [2], находящегося под влиянием теплого Северо-Атлантического течения. Для сбора осаждающегося материала использовались 12-стаканные седиментационные ловушки «Лотос-3» с площадью сбора 0.5 м<sup>2</sup> производства ОКБ ОТ РАН, которые позволяют получить непрерывный во времени ряд проб осаждающегося вещества с заданной экспозицией (1 месяц). «Лотос-3» были установлены под верхним

деятельным слоем (550 м) и в глубинном слое (2490 м от дна) над зоной распространения придонного нефелоидного слоя. В качестве фиксирующего раствора для первичного заполнения пробосборников применялся фильтрат морской воды с раствором  $HgCl_2$  (1% от насыщенного раствора) с соленостью 45 епс.

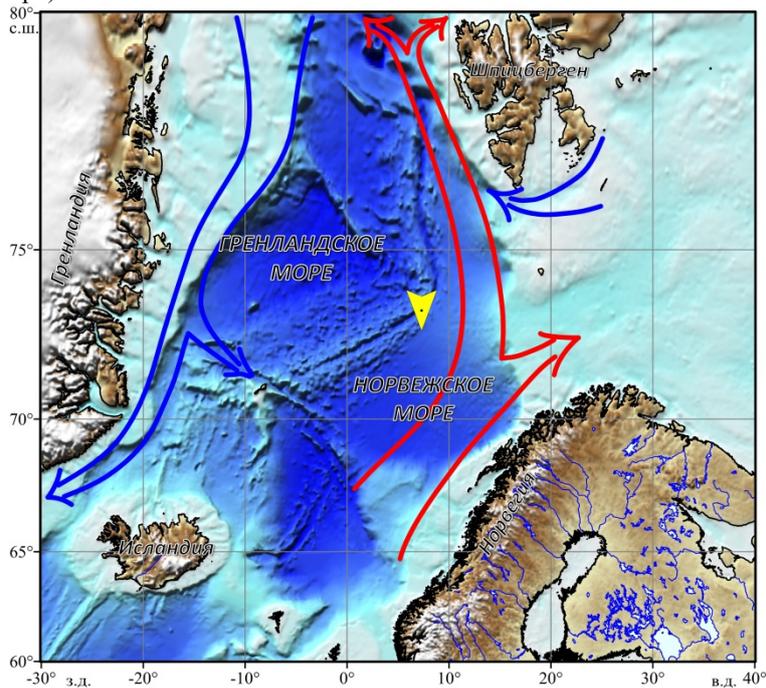


Рис. 1. Карта-схема района расположения АГОС.

СТД-зондирования водной толщи при постановке и подъеме АГОС показали, что верхние 500 м водной толщи занимает атлантическая вода, более теплая ( $0-5^{\circ}C$ ) и соленая (34.92–35.05 епс) по сравнению с нижележащими слоями ( $-0.7-0^{\circ}C$  и около 34.91 епс соответственно).

Анализ данных профилографов параметров среды в составе АГОС показал, что формирование потока частиц проходило под воздействием генерального переноса водных масс в северо-северо-восточном направлении (рис. 2). Суммарное накопленное перемещение водных масс в подповерхностном слое составило 437 км, в глубинном – 170 км. Скорость течения в подповерхностном слое изменялась от 0 до 32.3 см/с при среднем значении 7.48 см/с. В глубинном слое течения не превышали 11.8 см/с при среднем значении 2.64 см/с. Отмечено увеличение скоростей течения практически синхронно на обоих горизонтах (550 и 2490 м) в марте-апреле 2020 г., при этом преобладали течения северных направлений.

Первичная обработка полученных проб показала в подповерхностном (500 м) и глубинном (2490 м) слоях выраженный годовой ход потоков вещества. Наибольшие потоки приходятся на июнь–сентябрь с абсолютным максимумом в июле (274 мг/м<sup>2</sup>/сут). С декабря по март потоки минимальны, отмечается совсем небольшое увеличение количества осаждающегося вещества в апреле и мае в подповерхностном слое. При этом в глубинном слое в апреле потоки резко возрастают (256 мг/м<sup>2</sup>/сут) и почти достигают летнего максимума. Интересно, что визуальное количество вещества возрастает не так сильно, т.е. апрельское вещество имеет большую плотность по сравнению с июльским и, соответственно, другой состав. Можно предположить, что июльский пик обусловлен поступлением вещества из подповерхностного слоя в результате сезонного возрастания первичной продукции, а апрельский пик связан с изменением гидрологической обстановки и, в результате, повышением активности придонного нефелоидного слоя.

Годовой ход потоков отражается и в изменчивости коэффициента обратного рассеяния звука взвесью по данным акустических доплеровских измерителей течений Nortek Aquadopp (рис. 2). При этом на горизонте 2490 м выделяются отдельные локальные максимумы (июнь, январь–февраль, апрель), визуальное не связанные с изменчивостью остальных параметров водной толщи (температура, скорость и направление течения). Очевидно, сказывается влияние гидротермального плюма, который уже фиксировался ранее в слое 1660–2180 м в этой части рифтовой долины [2]. Неравномерное распределение по вертикали объемной концентрации взвеси с локальными аномалиями в глубинной водной толще по данным зондирования лазерным анализатором частиц LISST-Deer также может говорить в пользу выдвигаемого предположения.

Анализ материала, собранного интегральными ловушками на 6 горизонтах (рис. 3), выявил максимум осаждающегося вещества в подповерхностном слое (107 мг/м<sup>2</sup>/сут), минимум в толще (54–61 мг/м<sup>2</sup>/сут) и плавное увеличение потока с глубиной до максимальных 273 мг/м<sup>2</sup>/сут в придонном нефелоидном слое. Увеличение мутности здесь также фиксировалось нефелометром в составе судового зондирующего комплекса при постановке АГОС и лазерным анализатором частиц LISST-Deer при ее подъеме. При этом в составе вещества верхних слоев (500 м и 1630 м) наблюдается много «свиммеров» зоопланктона (рачки и др.). В глубинных слоях, начиная с 2060 м и до дна, присутствует только плотный осадок коричневого цвета с низким содержанием детрита.

Авторы признательны капитану НИС «Академик Мстислав Келдыш» Ю.Н. Горбачу, команде и всему научному составу за помощь в экспедициях.

Сбор и анализ проб выполнены при финансовой поддержке РФФ, проект № 20-17-00157. Работа АГОС обеспечена грантом РФФИ № 19-05-00787.

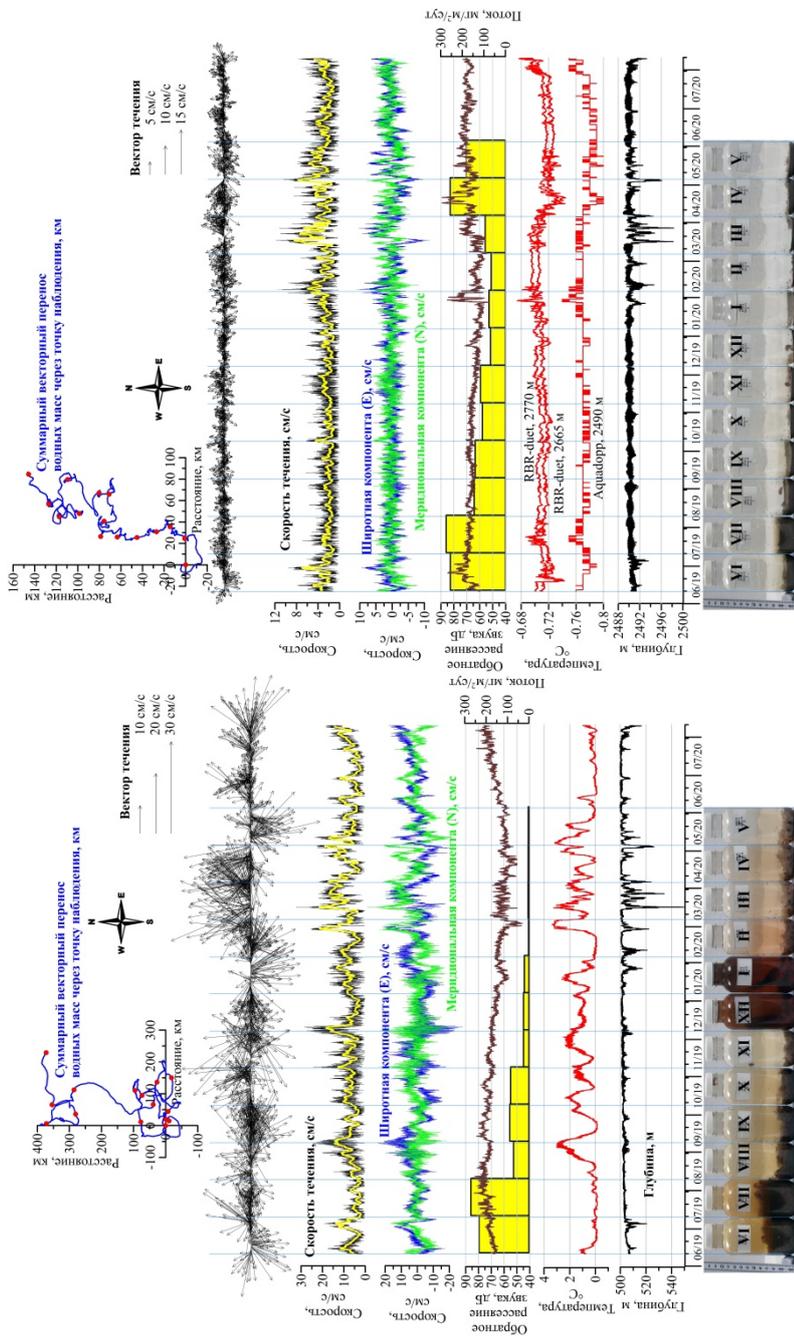


Рис. 2. Вертикальные потоки и распределение осадочного материала по пробоборникам в течение года, а также скорость и направление течений, температура, обратное рассеяние звука вверху и глубина нахождения приборов. Римскими цифрами показаны месяцы, в которые проходил сбор материала.

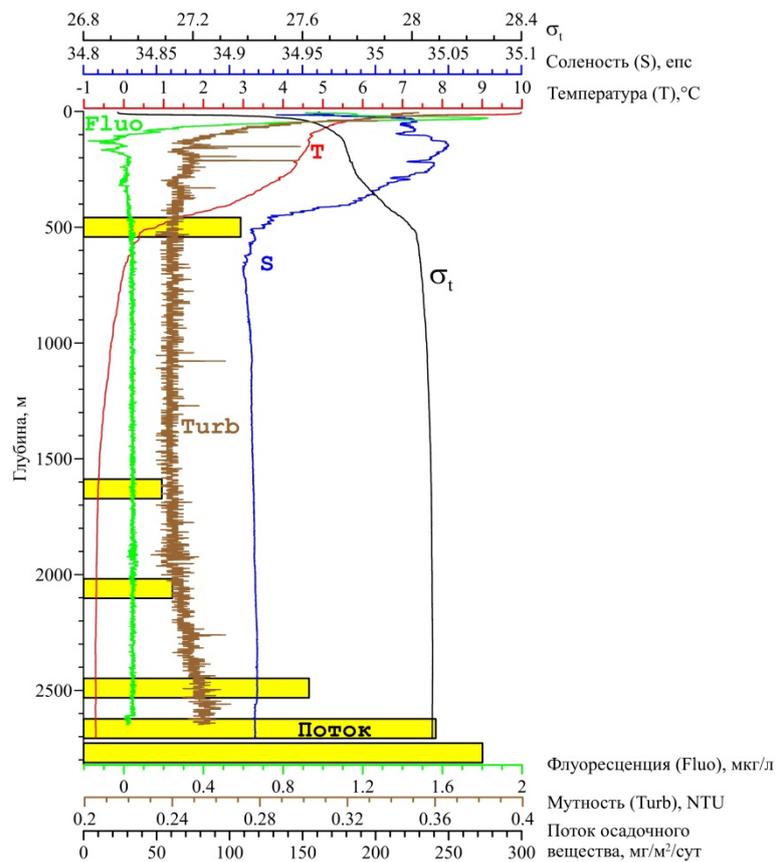


Рис. 3. Распределение интегральных потоков вещества и основных характеристик водного столба по данным зондирований при постановке и подъеме АГОС.

### 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. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
2. Богданов Ю.А., Сагалевиц А.М., Галкин С.В. и др. Геологические и биологические исследования в северной части хребта Мона (Норвежское море) // Океанология. 1997. Т. 37. № 4. С. 609–616.

The paper presents the results of studies of vertical fluxes of sedimentary matter in the Norwegian Sea at the periphery of the Loki Castle hydrothermal vent field in the north-eastern part of the Mona Ridge based on the materials of the annual operation of the Automatic Deep-Water Sedimentary Observatory (ADOS) in 2019–2020.

**Ковалев В.В.**

(Южный Федеральный Университет, Институт наук о Земле, г. Ростов-на-Дону, e-mail: dek\_geo@sfnedu.ru)

**Закономерности распределения взвешенного вещества в водной толще Каспийского моря**

**Kovalev V.V.**

(Southern Federal University, Institute of Earth Sciences, Rostov-na-Donu)

**Distribution of the suspended particle matter in the water column of the Caspian Sea**

Ключевые слова: осадочное вещество, взвешенное вещество, эоловый перенос, речной сток, Каспийское море

Впервые приводится описание распределения взвешенного материала по всей площади Каспийского моря.

Изучением пространственного распределения взвеси в водах Каспия занимались мало и нерегулярно. Все эти исследования проводились точно или по отдельным разрезам и не могли дать полной пространственной характеристики распределения взвешенного вещества в Каспийском море [1–5]. В настоящей работе, на основании многолетних исследований, проводимых Ростовским государственным университетом, приведены данные по распределению взвеси на всей акватории Каспийского моря. Всего было проанализировано 514 проб воды на предмет получения концентраций взвеси и определения вещественного состава.

Основная масса взвешенного вещества представлена аморфными детритными комками размером 0.2–0.5 мм. С глубиной они уменьшаются из-за интенсивного растворения скелетов диатомовых и частичного разложения. Кристаллическая часть проб состоит из обломочных, глинистых и карбонатных минералов. Окраска взвеси обусловлена интенсивностью аэрации водной толщи, количеством карбоната кальция, органического вещества и длительностью его пребывания в воде. В составе взвешенного вещества преобладают фракции алевритовой и пелитовой размерности. Минеральная часть взвеси состоит из зерен кварца, полевого шпата, обломков горных пород, субколлоидных минералов, аутигенного и терригенного кальцита. Преобладающей формой является пелитоморфный (игольчатый) кальцит хемогенного происхождения, количество карбоната кальция во взвеси колеблется от 1.16 до 95%. Значительную роль в составе взвешенного материала Каспия играют органические компоненты.

Огромные массы пелитовых и алевритовых частиц, поступающих с речным стоком Волги, Урала и Терека на акваторию Северного Каспия, определили высокие концентрации взвеси на участках, расположенных в непосредственной близости от предустьевых пространств. Резкому

уменьшению взвеси в морской части акватории способствуют процессы коагуляции терригенной кластики на стыке речных пресных и морских соленых вод. По мере удаления от источников поступления седиментационного материала в центральные районы Северного Каспия происходит последовательное уменьшение концентраций взвеси сначала до значений 10–30 мг/л, а затем до 5–10 мг/л. Эти величины являются доминирующими и занимают большую площадь.

Максимальные содержания взвеси в наддонном горизонте Северного Каспия (более 30 мг/л) приурочены к предустьевым пространствам рек Волги, Урала и Терека. Если в поверхностном горизонте на авандельте Терека такие и даже большие величины не фиксировались, то в наддонном они прослеживаются до области распространения экстремальных значений, доминирующих на предустьевом пространстве Волги. В общем, для придонных слоев вод характерно увеличение количества взвеси по сравнению с поверхностными водами, в основном за счет гидродинамических процессов, обеспечивающих на мелководье, даже при слабом волнении, взмучивание алеврито-пелитовых разностей донных осадков. Как и на поверхности, у дна наблюдается тенденция уменьшения концентрации взвешенного вещества от периферии по направлению к центральному району Северного и к акватории Среднего Каспия.

Основная часть осадочного материала, поступающего с речным стоком Волги, Урала и Терека, дифференцируясь в процессе механического действия дрейфовых течений и волнений, оседает на дно в пределах ложа Северного Каспия; оставшаяся часть, представленная более мелкими терригенными и биогенными частичками, выносится на акваторию Среднего Каспия. Северный Каспий представляет собой как бы большой геологический лоток, на котором непрерывно отмываются осадки равнинных рек, а Средний и Южный Каспий служат гигантскими отстойниками, аккумулирующими более тонкий и подвижный кластический материал. В Среднем Каспии концентрация взвеси изменяется в более узком диапазоне величин, чем в Северном Каспии: на поверхности от 0.4 до 21.2 мг/л, в среднем 5 мг/л, у дна от 0.2 до 18.8 мг/л, в среднем 4.1 мг/л.

Высокие содержания взвешенного вещества в поверхностном горизонте (10–30 мг/л) приурочены к западному побережью на участке от Аграханского полуострова до г. Махачкалы, находящегося в зоне влияния Северо-Каспийского течения, и реки Сулак, поставляющей терригенный материал. Максимальные значения взвеси для данного района составляют 15.2–21.2 мг/л. По-видимому, основной причиной обогащения взвесью до 20 мг/л морских вод, омывающих западное побережье Среднего Каспия, является течение, приносящее тонкий кластический материал из Северного Каспия, а также поступление продуктов разрушения горных пород с речным стоком и абразией берегов Дагестана и Азербайджана. Считается, что роль абразии в седиментационном балансе моря невелика и в прибрежной части

перемывается главным образом современные, переотложенные осадки. По одним данным, зона взмучивания располагается примерно до глубины 40 м, по другим она ограничена изобатой 50 м. В юго-западной прибрежной части Среднего Каспия выделяется еще один участок повышенных концентраций взвеси (5–10 мг/л), который образовался за счет поступлений с малыми реками терригенных кластических частиц и развития некоторых видов планктонных организмов.

Характер распределения взвеси в поверхностном горизонте у восточного побережья более разнообразный, чем у западного. Здесь наблюдается три полу изолированных ареала повышенной мутности, которые возникли главным образом в результате поступления тонкодисперсных эоловых частиц с материка. Наличие обширных пустынных песчаных областей в зонах аридного климата, высокие скорости ветра и беспрепятственность воздушной транспортировки материала, измельченного до размерности пелита, дают огромную возможность воздушного переноса материала для процесса морского осадкообразования. Первый из выделенных участков высоких концентраций взвеси (10–30 мг/л) расположен южнее полуострова Тюб-Караган, второй приурочен к далеко вдающемуся в море Песчаному мысу, третий, характеризующийся повышенными значениями (5–10 мг/л), находится в юго-восточной части исследуемой акватории моря. Немаловажное воздействие на увеличение количеств взвеси у восточного побережья Среднего Каспия оказали биологические причины, в частности, развитие зоопланктона в районах подъема холодных глубинных вод, а также поступление седиментационного вещества с Южно-Каспийским течением. Всю остальную, в основном, пелагическую область Среднего Каспия занимают значения взвеси менее 5 мг/л. Как в поверхностном, так и в наддонном горизонте Среднего Каспия размещение основных ареалов повышенных концентраций взвеси фактически приурочено к одним и тем же местам прибрежной зоны. Вдоль западного и восточного берега прослеживается, почти непрерывно на всем их протяжении, узкая полоса значений взвешенного вещества от 5 до 10 мг/л. Только в единственном месте, от Песчаного мыса далеко в центральную часть моря вдается ареал высоких содержаний взвеси (10–30 мг/л), происхождение которого, по-видимому, связано с интенсивными эоловыми поступлениями тонкодисперсных терригенных частичек, а направление определяется одной из придонных ветвей циклонального течения. В наддонном горизонте основную площадь Среднего Каспия занимают максимальные концентрации взвешенного вещества (менее 5 мг/л. Если в водной толще Северного Каспия от поверхностного к наддонному слою намечается увеличение количества взвеси (об этом можно судить по средним величинам 19.4 и 22.2 мг/л соответственно на поверхности и у дна), в основном, вследствие взмучивания на мелководье пелитовых и алевроитовых частиц донных осадков, то в глубоководном Среднем Каспии отмечается

другой характер поведения взвеси. Здесь уменьшение средних значений мутности от поверхности (5 мг/л) к наддонному горизонту (4.1 мг/л) указывает на общее ее снижение по мере оседания седиментационного материала. В нижележащих горизонтах происходит постепенное уменьшение содержания взвеси почти до самого дна, с несколькими локальными подъемами в промежуточных водах. В наддонном слое намечается весьма заметный рост значений мутности, вследствие различных гидродинамических и геологических (например, суспензионные потоки и оползни) причин.

По интенсивности и гидродинамического воздействия и питания осадочным материалом всю водную толщу можно разбить на три характерные зоны. Первая – прибрежная (от уреза до изобаты 50 м) – является зоной интенсивного волнового воздействия на берег и донные осадки, сюда поступают наибольшие количества терригенного материала с твердым стоком рек и золовыми наносами. Вторая – область внутреннего шельфа (от 50 до 200 м) – переходная, определяется, в основном, господствующими течениями и конвергенцией по периферии исследуемой части моря. Третья – область глубоководной впадины (от 200 м до дна) – халистазы, где изменение концентрации взвешенного вещества идет за счет интенсивности развития автохтонного фито- и зоопланктона и дивергенции вод из глубоководных слоев Среднего Каспия

Еще более сложным представляется поведение взвеси в центральной глубоководной области Среднего Каспия. Среднее значение взвеси равно 4.2 мг/л. На глубине 50 м происходит уменьшение концентрации взвешенного материала до 3.3 мг/л за счет деструкции органического вещества. В промежуточном слое от 100 до 400 м содержание взвеси увеличивается, (максимум приходится на глубины 100–200 м – от 3.9 до 3.8 мг/л) вследствие образования тонких гидроокислов железа и марганца, а также развития некоторых глубоководных видов зоопланктона (веслоногих рачков и мизид).. В батипелагиали (от 500 до 700 м) происходит уменьшение концентраций взвешенного материала (от 2.6 до 3.4 мг/л) из-за частичного разрушения гидроокислов железа и марганца, отмирания и разложения зоопланктонных видов организмов. К наддонному горизонту, как во второй зоне, по той же причине намечается рост средних значений взвеси до 4.0 мг/л.

Средняя концентрация взвеси для всей водной толщи составляет 3.7 мг/л. Колебания средних содержаний взвеси вполне допустимы. Из года в год, даже из сезона в сезон, в зависимости от климатического состояния и режима погод над смежными с морем областями суши и непосредственно над акваториями Среднего и Северного Каспия будет изменяться интенсивность поступления терригенного материала с твердым стоком рек, золовыми наносами, гидродинамическая активность, обуславливающая абразию берегов и дна, направление перемещения тонкодисперсных частиц

под действием течений из одних в другие районы моря. На поступление и динамику взвеси в глобальном, а в некоторых частях моря и в локальном масштабах оказывают влияние биологические причины, в частности, развитие фито- и зоопланктона, геологические – деятельность мутьевых (суспензионных) потоков и оползней, подводных грязевых вулканов и геохимические – образование и разрушение гидроокислов железа и марганца. Временные последствия изменения количества и качества взвешенного вещества влекут за собой преобразование геохимического облика всей водной толщи.

Основными закономерностями распределения взвеси в поверхностном и наддонном горизонте Северного Каспия являются: увеличение абсолютных концентраций на участках, приуроченных к главным источникам поступления осадочного материала – рекам (прежде всего Волги), и поступление содержания по направлению от прибрежных районов к центральным открытым пространствам моря. В Среднем Каспии максимальные концентрации сосредотачиваются в прибрежной зоне, а максимальные – в центральной пелагической части халистазы. В мелководном Северном Каспии наблюдается увеличение, а в глубоководном Среднем Каспии, наоборот, уменьшение содержания взвеси от поверхностных к наддонным слоям вод.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалев В.В., Парада С.Г. Распределение концентраций взвеси в водной толще Каспийского моря по данным рейсов 1989–1990 гг. // Наука Юга России. 2019. Т. 15. № 1. С. 60–70.
2. Кравчишина М.Д., Ключиткин А.А., Лукашин В.Н. и др. Распределение взвешенного вещества в Каспийском море // Метеорология и гидрология. 2018. № 10. С. 96–107.
3. Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества и загрязнений в Мировом океане и методы глобального мониторинга // Вехи кризиса. М.: Наука, 2004. Вып. 2. С. 133–193.
4. Лукашин В.Н., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. и др. Вертикальные потоки вещества в Каспийском море // VII Всероссийское литологическое совещание 28–31 октября 2013.
5. Лукашин В.Н., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. и др. О вертикальных потоках вещества в Каспийском море // Океанология. 2014. Т. 54. № 2. С. 216–225.

For the first time, a description of the distribution of suspended material over the entire area of the Caspian Sea is given.

**Котова Е.И.<sup>1,2</sup>, Коробов В.Б.<sup>1</sup>, Стародымова Д.П.<sup>1</sup>,  
Шевченко В.П.<sup>1</sup>, Титова К.В.<sup>2</sup>**

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

**Влияние мезорельефа на состав снежного покрова**

**Kotova E.I.<sup>1,2</sup>, Korobov V.B.<sup>1</sup>, Starodymova D.P.<sup>1</sup>,  
Shevchenko V.P.<sup>1</sup>, Titova K.V.<sup>2</sup>**

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

**Effect of mesorelief on snow cover composition**

Ключевые слова: снежный покров, ионный состав, тяжелые металлы, рельеф, долина реки

Изучалось влияние мезоформ рельефа на формирование состава снежного покрова. Отмечено накопление загрязнения в русловой части реки Северная Двина, особенно у подножья коренного берега. Накопление микроэлементов по склону холма отмечается в верхней и нижней его части.

Распределение вещества по земной поверхности неравномерно. Заметную роль в данном процессе играет рельеф. При этом влияние оказывают формы не только макрорельефа, но и мезорельефа, высоты которого не превышают нескольких десятков метров. Мезорельеф вызывает перераспределение влаги в снежном покрове [1], определяет миграцию растворимых веществ и мелкозема. В данной работе исследовано изменение состава снежного покрова с учетом некоторых мезоформ рельефа: долина реки и склон холма.

Первый участок отбора проб представляет собой долину реки Северная Двина (участок «Лявля»). Данная территория подвержена воздействию атмосферных выбросов Архангельского ЦБК, на территории которого расположена ТЭЦ, обеспечивающая нужды г. Новодвинск, предприятий г. Архангельск и частного сектора [2]. Перепад высот составлял 37 м. Второй участок расположен в чистом районе – территория государственного природного заповедника «Пинежский» (участок «Голубино» – Г). Здесь перепад высот равен 64 м. Схема отбора проб представлена на рис. 1.

Отбор проб снежного покрова проводили в период максимального снегонакопления (10–18 марта 2021 г.) в пластиковую тару с помощью пластикового пробоотборника на всю глубину залегания снежного покрова (исключая нижние 5 см). Пробы растапливали при комнатной температуре и фильтровали через предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0.45 мкм. После высушивания фильтры

повторно взвешивали и определяли весовую концентрацию нерастворимых частиц (взвешенных веществ). Анализ фильтрата на ионный состав (ионы хлора, сульфат-ионы, ионы натрия, кальция и магния) осуществлялся хроматографическим методом на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence с кондуктометрическими детекторами. Анализ проб на металлы проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent 7500.

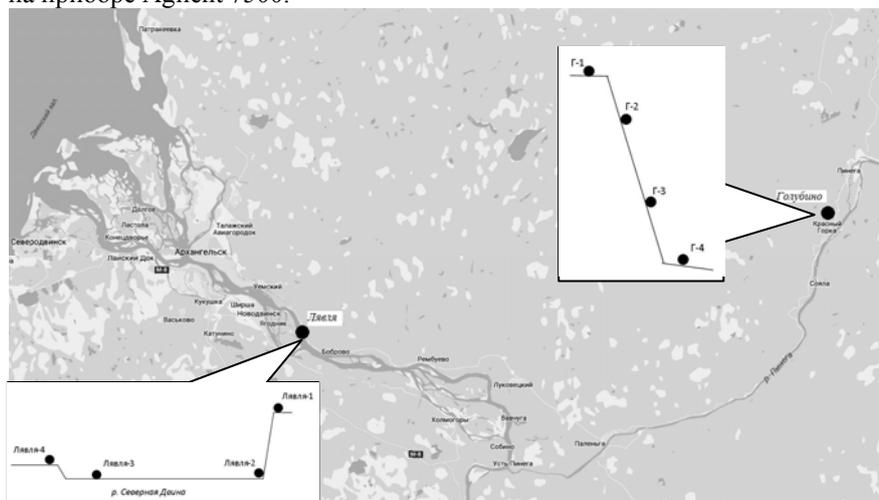


Рис. 1. Схема отбора проб

Таблица 1. Ионный состав снежного покрова на участке Лявля

Точка	Высота над уровнем моря, м	Высота снежного покрова, см	pH, ед. pH	Минерализация, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	Хлорид-ионы, мг/л	Сульфат-ионы, мг/л	Ионы натрия, мг/л	Ионы кальция, мг/л	Ионы магния, мг/л
Лявля-1	33	34	6.32	8	7.8	0.29	1.15	0.30	0.64	0.08
Лявля-2	-4	41	6.7	14	17.8	0.82	2.01	0.86	1.26	0.40
Лявля-3	-1	24	6.6	18	5.2	0.55	3.68	0.83	1.26	0.78
Лявля-4	0	31	5.92	8	7.1	0.19	0.97	0.23	0.49	0.06

На участке «Лявля» более высокое содержание ионов прослеживается непосредственно в русле реки (табл.1., Лявля–2 и Лявля–3). На правом берегу концентрации ионов немного выше, чем на островной территории. Этому может способствовать большая его освоенность: здесь расположены населенные пункты, проходит дорога регионального значения. Накопление взвешенных веществ в снежном покрове отмечено у подножья правого берега реки Северная Двина (Лявля–2), где концентрация взвешенных веществ составила 17.8 мг/л. В остальных пробах значения были в диапазоне 5.2–7.8 мг/л. Эти значения незначительно превышают фоновые для водосбора Белого моря значения [3]. В составе взвеси у подножья правого берега (Лявля–2) определены наибольшие концентрации цинка (229 мкг/г), меди (72.6 мкг/г), кобальта (35.3 мкг/г), молибдена (3.9 мкг/г), кадмия (1.6 мкг/г).

Таблица 2. Ионный состав снежного покрова на участке Голубино

Точка	Высота над уровнем моря, м	Высота снежного покрова, см	pH, ед. pH	Минерализация, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	Хлорид-ионы, мг/л	Сульфат-ионы, мг/л	Ионы натрия, мг/л	Ионы кальция, мг/л	Ионы магния, мг/л
Г-1	131	65	5.53	7	2.2	0.15	0.83	0.18	0.83	0.04
Г-2	110	70	7.70	5	2.8	–*	–	–	–	–
Г-3	87	70	5.98	8	2.3	0.12	0.67	0.19	0.52	0.03
Г-4	67	69	5.65	7	2.6	0.15	0.61	0.19	0.76	0.05

\* - проба на ионный состав была испорчена

В отдаленном от промышленных источников районе значимых различий в ионном составе снежного покрова по склону не отмечается (табл. 2). Несколько выше на вершине холма содержание сульфатов и ионов кальция. В целом содержание ионов в снежном покрове на участке Голубино ниже, чем вблизи г. Архангельск (район Лявля). Значения pH снежного покрова на данном участке соответствует уровню pH незагрязненных атмосферных осадков (5.6 ед. pH) [4, 5], за исключением точки Г-2. Концентрации растворимых форм никеля, мышьяка и цинка на участке Голубино выше в верхней части склона (т. 1, т. 2). Концентрации меди и алюминия в растворимой форме были ниже предела обнаружения. В нижней части

склона наблюдается увеличение концентраций растворимых форм кадмия, марганца, кобальта, железа, свинца и хрома. Содержание взвешенных веществ в снеге незначительно. Наибольшее содержание марганца, железа, свинца, никеля, кобальта, меди, цинка во взвеси на данном участке определено в верхней части склона (Г-1). В нижней части склона (Г-4) также получены высокие значения концентраций во взвеси марганца, железа и никеля, кроме того, здесь определены максимальные значения содержания во взвеси алюминия и хрома.

Таким образом, мезоформы рельефа оказывают влияние на формирование состава снежного покрова территории. Для установления причин этого явления необходимо продолжить исследования на самых разнообразных формах мезорельефа с увеличением объема проб на каждом участке.

Исследования были проведены при поддержке РФФИ (грант № 19-05-00938-а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Callaghan T.V., Johansson M., Brown R.D. et al. Changing snow cover and its impacts // Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): Climate Change and the Cryosphere. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme, 2011. P. 4.1–4.58.
2. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П., Иглин С.М. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море) // Успехи современного естествознания. 2020. № 5. С. 121–129.
3. Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А. и др. Эоловый материал в природных архивах // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2012. С. 70–107.
4. Василенко Н.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 182 с.
5. Ветров В.А., Кузовкин В.В., Манзон Д.А. Кислотность атмосферных осадков и выпадение серы и азота на территории Российской Федерации по данным мониторинга химического состава снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 44–53.

The influence of relief mesoforms on the formation of snow cover composition was studied. Accumulation of pollutants in the channel part of the Northern Dvina River, especially at the foot of the bedrock bank was noted. Accumulation of trace elements was noted in the upper and lower parts of the hillside.

**Котова Е.И.<sup>1,2</sup>, Стародымова Д.П.<sup>1</sup>, Шевченко В.П.<sup>1</sup>,  
Титова К.В.<sup>2</sup>**

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

**Состав атмосферных осадков, выпадающих на территории  
Архангельской области в зимний период**

**Kotova E.I.<sup>1,2</sup>, Starodymova D.P.<sup>1</sup>, Shevchenko V.P.<sup>1</sup>,  
Titova K.V.<sup>2</sup>**

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

**The composition of atmospheric precipitation of the  
Arkhangelsk region in winter**

Ключевые слова: атмосферные осадки, тяжелые металлы, ионный состав, Белое море, Архангельская область

Изучался состав атмосферных осадков Архангельской области зимнего периода 2019/2020 и 2020/2021. Отмечается тенденция роста концентраций ионов и микроэлементов в течение зимнего периода. Концентрация Cr, Ni, Co, Cu в атмосферных осадках на уровне фоновых значений. Среднее содержание металлов в осадках и снеге одного порядка, за исключением марганца, меди и цинка.

Атмосферные осадки являются индикатором антропогенной нагрузки, поскольку вымывают из атмосферы химические соединения, в том числе загрязняющие вещества. Разные территории характеризуются неоднородным химическим составом вещества, вовлеченного в водную и атмосферную миграцию. В результате рассеянные элементы, в том числе тяжелые металлы, неравномерно распределяются по суше. В северных широтах наблюдается разгрузка воздушных потоков от тех загрязнений, которые они накопили в среднеширотных районах, и это также способствует перераспределению микроэлементов по поверхности. Состав атмосферных осадков зимнего периода, когда территория покрыта снегом и литогенный источник поступления аэрозолей в атмосферу сведен к минимуму, в основном формируется под влиянием антропогенных источников. Работы по изучению роли атмосферных выпадений в формировании состава компонентов окружающей среды водосборного бассейна Белого моря проводятся сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова с 2001 г. [1, 2]. В данной работе рассмотрены концентрации растворенных форм тяжелых металлов в атмосферных осадках холодного периода года.

Пробы атмосферных осадков отбирались с ноября по апрель зимних периодов 2019/2020 и 2020/2021 гг. Осадкоборники были установлены в

трех точках Архангельской области: Онега (Онежский залив Белого моря), Северодвинск (Двинский залив Белого моря), Заборье (бассейн р. Северная Двина, 260 км от моря). Одна пробоотборная установка в течение всего месяца было открыта, вторая открывалась на период выпадения осадков. Каждая проба представляет собой суммарную пробу за месяц. В период максимального снегозалежания (март 2020 года, февраль 2021 года) вблизи каждой точки была отобрана проба снежного покрова. После отбора осадки и снег растапливали и фильтровали через предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм. Полученный фильтрат анализировался методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent 7500 на содержание Cr, V, Cd, Pb, Ni, Co, As, Mn, Cu, Zn. Определение ионов хлоридов, сульфатов, натрия, кальция и магния в фильтрате проводилось хроматографическим методом на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence с кондуктометрическими детекторами.



Рисунок. Схема расположения станций пробоотбора

За рассматриваемый период основная масса твердых осадков выпадала в

период ноябрь-январь. Зимний период 2020/2021 гг. характеризовался малым количеством осадков (1.5–2 раза меньше, чем за аналогичный период предыдущего сезона) и менее продолжительным периодом залегания снежного покрова. В этот год в прибрежных районах осадков выпало в 1.5 раза больше, чем на станции Заборье.

Высота снежного покрова на побережье составляла 32–48 см, на станции Заборье – 55–59 см. В 2021 г., несмотря на меньшее количество осадков, высота снежного покрова была незначительно ниже предыдущего года. Это связано с отсутствием оттепелей, наличие которых в 2020 г. приводило к подтаиванию снега и уменьшению высоты снежного покрова.

По ионному составу осадков и снежного покрова выделяется станция Северодвинск, расположенная вблизи моря. Здесь прослеживается влияние морских аэрозолей на состав атмосферных осадков и снега. Несмотря на то, что акватория покрыта льдом, в зимний период в Двинском заливе нередки нагонные явления, вследствие которых происходит выход морской воды на лед. Содержание хлоридов (ионов натрия) в осадках Северодвинска составило 4.8 мг/л (3.1 мг/л), в снежном покрове – 38.63 мг/л (19.7 мг/л). В осадках двух других станций концентрации хлоридов и ионов натрия были на уровне 0.4–0.9 мг/л, в снежном покрове – 0.2 мг/л. В районе с. Заборья отмечается повышенное относительно других станций содержание кальция в снежном покрове: 2.2 мг/л (0.6–1.6 мг/л в прибрежном районе).

Полученные нами данные о концентрациях тяжелых металлов в атмосферных осадках сравнивались с концентрациями в дождевых осадках над континентами в целом [3], в прибрежных районах Баренцева моря [4], в окрестностях заповедника "Пасвик" Мурманской области [5].

Концентрация растворенных форм Cr, Ni, Co, Cu в наших пробах атмосферных осадков на уровне значений, полученных в окрестностях заповедника «Пасвик». Содержание Cd и Pb выше, чем в районе заповедника, но ниже значений прибрежных районов Баренцева моря. Концентрации ванадия и мышьяка ниже минимальных значений в дождевых осадках над континентами.

Среднее значение концентрации марганца в атмосферных осадках с. Заборье (3.1 мкг/л) и станции Северодвинск (5.9 мкг/л) соответствовали уровню значений в дождевых осадках над континентами. На станции Онега концентрации марганца были выше, изменялись в диапазоне 2.8–35.9 мкг/л при среднем значении 12.2 мкг/л. Здесь же выше содержание кадмия и свинца. Среднее содержание цинка в атмосферных осадках прибрежных станций определено на уровне 15 мкг/л, что выше, чем на отдаленной станции Заборье – 9 мкг/л.

Следует отметить, что кобальт, мышьяк и хром присутствует в определяемых количествах не во всех пробах осадков и снега. Чаще всего данные микроэлементы были выявлены в атмосферных осадках и снежном покрове Северодвинска. Кроме того, здесь повышено содержание в

атмосферных осадках ванадия, никеля и меди.

Отмечается тенденция роста концентраций и микроэлементов в течение зимнего периода. Одной из причин может служить снижение количества осадков. Наибольшие концентрации определены в осадках ноября и апреля, когда территории не полностью покрыты снежным покровом.

Пространственные особенности распределения ионов и микроэлементов в атмосферных осадках сохраняются и для состава снежного покрова. Среднее содержание металлов в осадках и снеге одного порядка, за исключением марганца, меди и цинка, концентрации которых в атмосферных осадках выше в 2–6 раз. Более высокие значения, по сравнению со снежным покровом, получены также для хлоридов, сульфатов и ионов натрия в осадках с. Заборье.

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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., Кузнецова 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.
2. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора Арктических морей России // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: [www.science-education.ru/106-7843](http://www.science-education.ru/106-7843).
3. Острогомилский А.Х., Анохин Ю.В., Ветров В.А., Петрухин В.А., Пословин А.Л. Микроэлементы в атмосфере фоновых районов суши и океана. Обнинск: Информационный центр ВНИИГМИ–МПД, 1981. 41 с.
4. Голубева Н.И., Бурцева Л.В., Гинзбург В.А. Тяжелые металлы в атмосферных осадках на побережье Баренцева моря // Метеорология и гидрология. 2010. № 5. С. 60–70.
5. Ершов В. В., Исаева Л. Г., Поликарпова Н. В. Содержание тяжелых металлов в атмосферных выпадениях в окрестностях заповедника "Пасвик" // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22. № 1. С. 83–89.

The composition of atmospheric precipitation of the Arkhangelsk region during the winter 2019/2020 and 2020/2021 was studied. There is a tendency of increase in concentrations during the winter. Concentration of Cr, Ni, Co, Cu in atmospheric precipitation is at the level of background values. Average metal concentration in precipitation and snow is of the same order, except for manganese, copper and zinc.

**Кулик Н.В.<sup>1</sup>, Ефременко Н.А.<sup>1</sup>, Белкина Н.А.<sup>1</sup>,  
Страховенко В.Д.<sup>2</sup>, Гатальская Е.В.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, email: nadiet11@yandex.ru; <sup>2</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск)

**Геохимические особенности воды и водной взвеси притоков  
Онежского озера (предварительные результаты  
2020–2021 гг.)**

**Kulik N.V.<sup>1</sup>, Efremenko N.A.<sup>1</sup>, Belkina N.A.<sup>1</sup>,  
Strahovenko V.D.<sup>2</sup>, Gatalskaja E.V.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the RAS, Petrozavodsk; <sup>2</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk)

**Geochemical features of water and suspended matter obtained  
from the water of the tributaries of Lake Onego (preliminary  
results 2020-2021)**

Ключевые слова: взвешенное вещество, Онежское озеро, металлы, речной сток.

В работе представлены предварительные результаты изучения геохимических особенностей воды и водной взвеси, полученной посредством последовательного фильтрования вод притоков и истока Онежского озера (период изучения 2020–2021 гг.). Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-05-50014.

Основная роль в формировании химического состава воды Онежского озера принадлежит речному стоку, мобилизирующемуся при физическом и химическом выветривании осадочных и кристаллических пород, а также почв водосборной территории. Несмотря на сходство основных химических характеристик вследствие общности климатических условий всего водосборного бассейна, химический состав и режим вод рек в пределах региона различается из-за особенностей его гидрографии, неоднородности геологического и геоморфологического строения [1, 2].

Целью настоящей работы являлось изучение геохимического состава речной воды и водной взвеси, полученной посредством последовательного фильтрования вод.

В разные гидрологические сезоны 2020–2021 гг. согласно геологическому и геоморфологическому строению бассейна озера были исследованы исток (р. Свирь) и такие притоки Онежского озера как:

- 1) реки Лососинка, Шуя, Суна и Кумса, дренирующие водосборную территорию Балтийского щита;
- 2) реки Андома, Водла и Вытегра, дренирующие водосборную территорию Русской платформы;

3) реки Шелтозерка и Деревянка, находящиеся на стыке двух геологических структур (рисунок).

Отбор проб воды выполнялся с поверхностного горизонта в десятилитровые полиэтиленовые канистры. В лабораторных условиях методом последовательного фильтрования через мембранные фильтры с различным диаметром пор была выделена и разделена на размерные фракции водная взвесь. При пропускании исходной воды через фильтр  $\varnothing$  0.8 мкм была получена взвешенная фракция. Последующее пропускание фильтрата, полученного после отделения взвешенной фракции, через фильтр  $\varnothing$  0.45 мкм позволило отделить коллоидную фракцию.

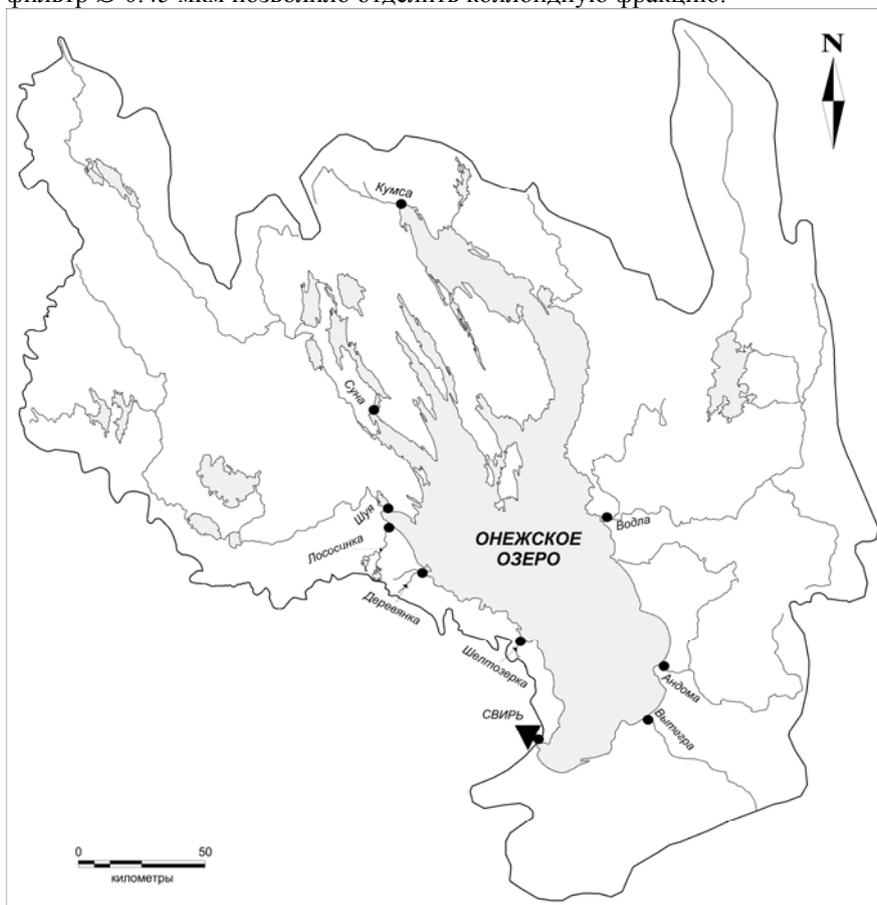


Рисунок. Схема станций наблюдения притоков и истока Онежского озера

Анализ химического состава водных проб осуществлялся в ИВПС

КарНЦ РАН по общепринятым в гидрохимических исследованиях методам. Металлы в составе проб воды и водной взвеси анализировали атомно-абсорбционным (AA6800, Шимадзу) и масс-спектрометрическим ICP-MS (Agilent 7500a) методами на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» [3].

В течение года концентрация взвешенных веществ в притоках озера изменялась от 0.22 до 21.46 мг/л, что согласуется с ранее полученными результатами [4]. Невозможно однозначно сказать, что наибольшие концентрации взвешенных веществ приходятся на какой-либо из временных периодов.

Содержание взвешенных и коллоидных частиц в истоке из озера (р. Свирь) в весенний период было в 2.5 раза больше, чем в летний. Вероятнее всего, это связано с увеличением физического и химического выветривания осадочных и кристаллических пород Русской платформы во время весеннего половодья.

Последовательное фильтрование водных проб позволило получить разделение водной взвеси на взвешенную и коллоидную составляющую. В водной взвеси получено преобладание взвешенных частиц размером более 0.8 мкм вне зависимости от гидрологического сезона.

Результаты исследования химического состава воды притоков и истока Онежского озера показали, что воды всех исследованных рек относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу [4]. Химический состав воды р. Свирь не зависит от сезона, и в целом отражает химический состав вод Онежского озера. Уровень минерализации воды истока из озера находится на сопоставимом уровне по отношению к водам притоков, остальные характеристики воды значительно ниже.

Полученные данные по содержанию металлов в речной воде и выделенной из воды водной взвеси находятся на уровне, сопоставимом с содержанием этих элементов в природных водах Карелии. Водная взвесь, полученная из весенних водных проб, характеризуется повышенным содержанием Al, Co, Zn, Ni. Летом превалируют содержание общего фосфора, железа, марганца.

Различающиеся геолого-морфологические и геологические условия в северной и южной частях бассейна Онежского озера обуславливают отличие химического состава вод его притоков по таким параметрам как минерализация, содержание азота, фосфора и металлов (Fe, Cu, Ni, Pb). На остальные показатели влияние геологической структуры водосборной территории в ходе данного исследования оказалось незначительно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-05-50014.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозовик П.А., Кулик Н.В., Ефременко Н.А. Литофильные элементы и тяжелые металлы в Онежском озере: источники поступления, содержание и трансформация // Труды КарНЦ РАН. Сер. Лимнология. 2020. № 4. С. 62–74.
2. Кулик Н.В., Белкина Н.А., Ефременко Н.А. Поступление, трансформация и распределение марганца в Онежском озере // Московский экономический журнал. 2020. № 1. С. 13.
3. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Под ред. П.А. Лозовика, Н.А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.
4. Крупнейшие озера – водохранилища Северо-Запада ЕТР: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Под ред. Н. Н. Филатова и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 375 с.

The paper presents preliminary results of studying the geochemical features of water and suspended matter obtained by sequential filtration of water samples from tributaries and the source of Onego Lake (the study period is 2020–2021). The study was carried out with the financial support of the RFBR grant No. 19-05-50014.

**Леонтьев И.О.**

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

**Индекс размыва для песчаного берега**

**Leont'yev I.O.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Index of erosion for a sandy beach**

Ключевые слова: размыв берега, штормовой нагон, волновой заплеск, объем пляжа, индекс размыва.

Предложен индекс для оценки опасности штормовых размывов берега, основанный на сравнении фактического объема пляжа с оптимальным значением, при котором шторм с повторяемостью 1 раз в год не приводит к необратимым негативным последствиям. Индекс позволяет выявить уязвимые участки берега и оценить объем дефицита наносов.

**Введение.** Прогноз уязвимости песчаных морских берегов по отношению к штормовым размывам весьма актуален, и может быть основан на применении индексов, интегрирующих различные показатели природной среды [1, 2]. В настоящей работе в качестве индикаторов состояния берега предлагается использовать параметры надводной части пляжа (возвышение, ширину и объем). Относительно узкий пляж диссипирует лишь часть волновой энергии, остаток которой расходуется на размыв берега, тогда как широкий пляж, как правило, свидетельствует о стабильном положении берега. Можно полагать, что при определенном соотношении ширины  $l_{\text{п.н}}$  и возвышения  $z_{\text{п.н}}$  пляжа, а значит, при его оптимальном объеме  $V_{\text{п.н}}$ , штормовой размыв не будет иметь необратимых последствий.

Цель данной работы заключается в определении оптимальных параметров пляжа, а также выработке индекса, позволяющего оценить уровень уязвимости берега.

**Оптимальные параметры пляжа.** Максимальное возвышение пляжа складывается из высот волнового заплеска  $R$ , штормового нагона  $\eta$ , а также приливных и сезонных колебаний уровня  $\tilde{\eta}$ . Соответствующая ширина пляжа зависит от его уклона  $\beta_{\text{п}}$ , а объем  $V_{\text{п.н}}$  на единицу длины берега ( $\text{м}^3/\text{м}$ ) определяется произведением линейных размеров:

$$z_{\text{п.н}} = R + \eta + \tilde{\eta}, \quad l_{\text{п.н}} = z_{\text{п.н}} / \beta_{\text{п}}, \quad V_{\text{п.н}} = l_{\text{п.н}} z_{\text{п.н}} / 2. \quad (1)$$

Высота заплеска на пологих песчаных берегах может быть оценена по зависимости  $R = 0.043 \sqrt{H_{\text{ст}} L_0}$ , где  $H_{\text{ст}}$ ,  $L_0 = \frac{g}{2\pi} T_p^2$  и  $T_p$  – значимая высота, длина и период спектрального пика на глубокой воде [3]. Штормовой нагон  $\eta$  определяется из условия равновесия между касательным напряжением ветра и наклоном водной поверхности [4]. Что касается уклона пляжа  $\beta_{\text{п}}$ , то

его можно подсчитать по формулам  $\beta_s \approx 0.12 \left( \frac{T_p \sqrt{g d_s}}{H_{20}} \right)^{0.22}$  [5] или  $\beta_s = 0.237 d_s^{0.25} - 0.010$  (последняя аппроксимирует зависимость [6]), где  $d_s$  – средний размер частиц песка. В дальнейшем используется среднее значение по двум формулам. Таким образом, оптимальные параметры пляжа определяются в функции характеристик волн, ветра, прилива, и размера песка.

**Индекс размыва.** В качестве эталона принимается объем пляжа  $V_{20}$ , отвечающий шторму с периодом повторяемости 1 год. Если фактический объем пляжа  $V_p < V_{20}$ , то берег будет ежегодно размываться, а в случае  $V_p > V_{20}$  запас материала окажется достаточным, чтобы защитить берег. Исходя из этого, определим индекс размыва как

$$I_p = \frac{V_p - V_{20}}{V_{20}} \quad (2)$$

С учетом погрешности расчетов вероятность размыва для диапазона  $-0.1 \leq I_p \leq 0.1$  полагаем низкой (1 балл). Положительные значения  $I_p > 0.1$  характеризуют состояние берега как безопасное (0 баллов), а отрицательные  $I_p < -0.1$  – как уязвимое (2 балла для  $-0.5 \leq I_p < -0.1$  и 3 балла для  $I_p < -0.5$ ). В последних случаях индекс отражает величину дефицита наносов, что важно при планировании берегозащиты.

**Тестирование индекса размыва.** Одним из объектов для тестирования индекса  $I_p$  выбрана Анапская пересыпь, расположенная в северо-восточном секторе Черного моря (рис. 1а). Песчаные пляжи здесь по большей части оканчиваются береговой дюной, а в районах Благовещенского останца и Железного Рога примыкают к клифу (рис. 1г). Средний размер песка на пляже  $d_s$  близок к 0.35 мм, скорость ветра и волновые параметры для штормов с периодом повторяемости 1 год характеризуются следующими величинами:  $W=23.8$  м/с,  $H_{20}=4.7$  м,  $T_p=8.6$  с [7]. Оптимальные расчетные параметры пляжа определяются величинами  $s_{20}=1.7$  м,  $I_{20}=43.6$  м и  $V_{20}=37.1$  м<sup>3</sup>/м. Изменения объема пляжа и индекса размыва показаны на рис. 1б и 1в соответственно. Распределение  $I_p$  по протяжению берега означает, что уровень опасности размыва в западной части пересыпи существенно выше, чем в восточной. Это согласуется с наблюдениями [8] и обуславливается как общим дефицитом наносов, так и вероятным относительным повышением уровня моря вследствие тектонического погружения суши [9].

Также объектами для тестирования индекса  $I_p$  послужили побережья южного сегмента Вислинской косы (Гданьский залив Балтийского моря,  $d_s=0.4$  мм) и северо-восточного Сахалина (Охотское море,  $d_s=0.5$  мм). Показано, что на исследованном участке Вислинской косы опасность размыва нигде не достигает высокого уровня, так как объем пляжей близок к оптимальному. Что касается сахалинского участка, то здесь, согласно наблюдениям, чередуются зоны устойчивого и размываемого берега,

привязанные к ритмическим формам рельефа типа мегафестонов (на вогнутых сегментах пляжи сравнительно узкие). Изменения индекса размыва в целом адекватно отражают эту ситуацию.

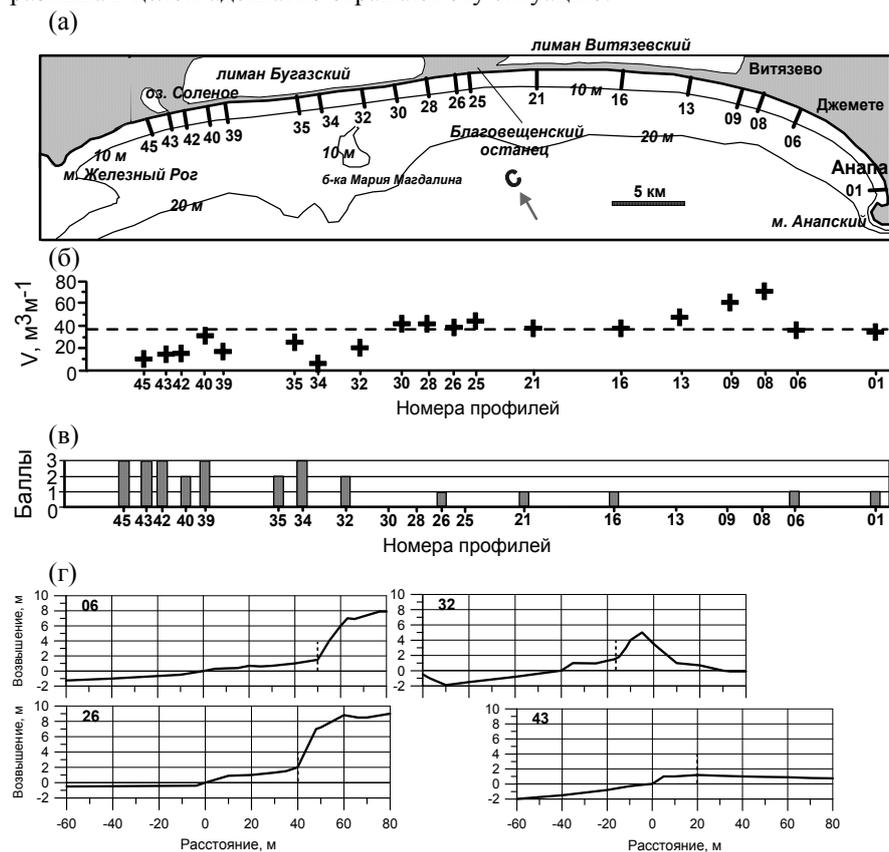


Рис. 1. (а) – Схема Анапской пересыпи и расположение промерных профилей (по [4]). (б) – Объемы пляжа. Прерывистой линией отмечено расчетное значение, отвечающее шторму с годовой повторяемостью. (в) – Распределение индекса размыва по протяжению берега (балл 3 соответствует высокому уровню опасности размыва). (г) – Примеры профилей пляжа. Прерывистые вертикальные линии маркируют условную границу пляжа.

**Заключение.** Предложенный индекс размыва основывается на сравнении фактического объема надводного пляжа  $V_B$  с эталонным значением  $V_{B*}$ , при котором самый сильный шторм в году не вызывает необратимых потерь материала. Индекс обладает достаточной

чувствительностью для выявления опасных участков на исследуемых берегах, характеризует их уязвимость по 4-х балльной шкале и, кроме того, отражает величину дефицита наносов, что важно при планировании берегозащитных мероприятий.

Авторы благодарны сотруднику Южного Отделения Института океанологии РАН к.г.н. В.В. Крыленко, а также заведующему Лабораторией береговых геосистем Ин-та морской геологии и геофизики ДВО РАН д.г.н. В.В. Афанасьеву за предоставленные данные о береговых профилях Анапской пересыпи и северо-восточного Сахалина.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0128-2021-0004) при частичной поддержке РФФИ (грант № 18-55-34002 Куба\_т).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andrade T.S., Sousa P.H.G.O., Siegle E. Vulnerability to beach erosion based on coastal process approach // *Applied Geography*. 2019. V. 102. P. 12–19. doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.11.003.
2. Koroglu A., Ranasinghe R., Jimenez J.A., Dastgheib A. Comparison of coast vulnerability index applications for Barcelona Province // *Ocean and Coastal Management*. 2019. V. 178. P. 1–13. doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.05.001.
3. Stockdon H.F., Holman R.A., Howd P.A., Sallenger A.H. Empirical parameterization of setup, swash, and runup // *Coastal Engineering*. 2006. V. 53. P. 573–588.
4. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М.: ГЕОС, 2001. 272 с.
5. Sunamura T. Sandy beach geomorphology elucidated by laboratory modeling // *Applications in coastal modeling*. Eds. Lakhan V.C., Trenhail A.S. Elsevier, Amsterdam, 1989. P. 159–213.
6. Бэском В. Волны и пляжи. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 280 с.
7. Российский морской регистр судоходства. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей / Под ред. Л.И. Лопатухина и др. СПб.: Гидрометеиздат, 2006. 452 с.
8. Крыленко В.В. Новые данные по динамике морского берега Анапской пересыпи // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 5. С. 821–828.
9. Леонтьев И.О., Акивис Т.М. Моделирование динамики берегов Анапской пересыпи // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 2. С. 315–322.

The index of erosion is suggested to evaluate a hazard of storm-induced coastal erosion. It is based on comparison between an actual beach volume and its optimal value, which is sufficient to avoid irreversible beach changes due to the most severe storm attack over the year. Erosion index allows identify vulnerable sections of coast and estimate the sediment deficit volume.

**Лохов А.С., Кравчишина М.Д.**

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

**Гранулометрический состав взвеси в области  
кокколитофоридных цветений в Баренцевом море**

**Lokhov A.S., Kravchishina M.D.**

(Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

**Grain size of suspended particulate matter in the area of  
coccolithophore bloom in the Barents Sea**

Ключевые слова: цветение кокколитофорид, взвесь, гранулометрический состав, счетчик Коултера.

В статье описан опыт применения счетчика Коултера для исследования кокколитофоридных цветений в Баренцевом море. Представлены данные по объемной концентрации и гранулометрическому составу взвеси, полученные в экспедициях на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в августе 2021, 2020 и 2017 гг.

Массовые цветения кокколитофориды *Emiliana huxleyi* (до  $10^6$  клеток/л) ежегодно наблюдаются в Баренцевом море к югу от Полярного фронта с начала 2000-х гг. Обзор этих исследований дан в работе Л.А. Паутовой [1]. Это самый распространенный вид кокколитофорид в океане, который может формировать крупные цветения и в умеренных, и в субполярных регионах. Такие цветения могут воздействовать на климатические факторы и, следовательно, тепловой баланс района океана, а именно: влияют на баланс  $\text{CO}_2$  на границе океан–атмосфера вследствие утилизации растворенного неорганического углерода и образования кальцита согласно реакции  $\text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ ; увеличивают альбедо водной толщи и уменьшают тем самым мощность эвфотического слоя [2]. *Emiliana huxleyi* является основным регулятором карбонатного биологического насоса в Баренцевом море [3].

По размеру кокколитофориды относят к нанопланктону. Клетки *E. huxleyi* составляют 4–5 мкм в диаметре (коккосферы) и покрыты 10–15-ю овальными чешуйками (кокколитами) в одном слое. Наши исследования показали, что в Баренцевом море они часто образуют покров до 6-и слоев, состоящий из дополнительных кокколитов поверх основного слоя. Диаметр кокколитов и сферических клеток укладывается в диапазон, как правило, от 2 до 7 мкм. Однако встречаются агрегаты диаметром до ~20 мкм, состоящие из коккосфер и отдельных кокколитов. Показано [4], что нестабильные многослойные клетки начинают терять кокколиты слой за слоем в окружающую воду задолго до конца жизненного цикла, когда клетка становится полностью обнаженной.

Размеры и форма кокколитофорид позволяют идентифицировать их в

водной толще с помощью оптических (спутникового сканера цвета океана, прозрачномера) и других инструментальных методов [2]. Целью нашей работы было изучение гранулометрического состава и концентрации частиц взвеси с помощью счетчика Коултера для надежной идентификации цветений кокколитофорид и их характеристик.

Счетчик Коултера Multisizer 3, Beckman Coulter, США – кондуктометрический лабораторный анализатор концентрации и гранулометрического состава частиц. Пробы воды анализировались путем измерения электрического сопротивления при прохождении частиц через апертуру диаметром 100 мкм. Рабочий диапазон размеров частиц составлял 2–60 мкм. В работе использованы данные измерений на счетчике Коултера, полученные в ходе 84-, 80- и 68-го рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш», в августе 2021, 2020 и 2017 гг. соответственно.

Гранулометрический состав и концентрация частиц значительно варьируются как по площади ареала цветения, так и по глубине водной толщи (рис. 1). Наибольшее скопление кокколитофорид, как правило, отмечалось в слое от 2 до 25 м. В этом слое могут встречаться как целые их клетки (коккосферы) разного диаметра (обычно от 4 до 7 мкм, реже до 10 мкм), так и отдельные кокколиты (~2 мкм) (рис. 2). На заключительных стадиях сукцессии и по мере погружения в водной толще кокколитофориды часто имеют признаки микрорастворения. Известно, что вода арктических шельфовых морей вызывает коррозию карбонатов и способствует растворению раковин карбонатных организмов в донных осадках.

На рис. 2 представлено взаимное распределение объемных концентраций частиц диаметром 3–8 мкм и 8–15 мкм по результатам измерений проб воды, отобранных на разных горизонтах от поверхности до дна в разные годы наблюдений. Глубже 50 м концентрация кокколитофорид достигает минимального значения и соответствует фоновой концентрации частиц разного происхождения.

Кроме коккосфер и кокколитов *Emiliana huxleyi* в водной толще могут содержаться водоросли других систематических групп, но принадлежащих к той же размерной группе, что и кокколитофориды, а также минеральные частицы, которые имеют размеры обычно <5 мкм. Другие систематические группы пикопланктона крайне редко встречаются в «эпицентре» цветения кокколитофриды и могут вносить вклад лишь на спаде их цветения или на периферии ареала цветения [1]. Поэтому их вклад нетрудно идентифицировать по характерным пикам на спектрах гранулометрического состава, отличным от пиков, которые образуются при учете коккосфер. Однако при наличии значительного количества кокколит и присутствия агрегатов коккосфер на спаде цветения, оценить вклад водорослей других систематических групп пикопланктона по данным счетчика Коултера становится затруднительно. Для этого потребуются сопоставление спектров гранулометрического состава с данными микроскопического изучения проб

фитопланктона.

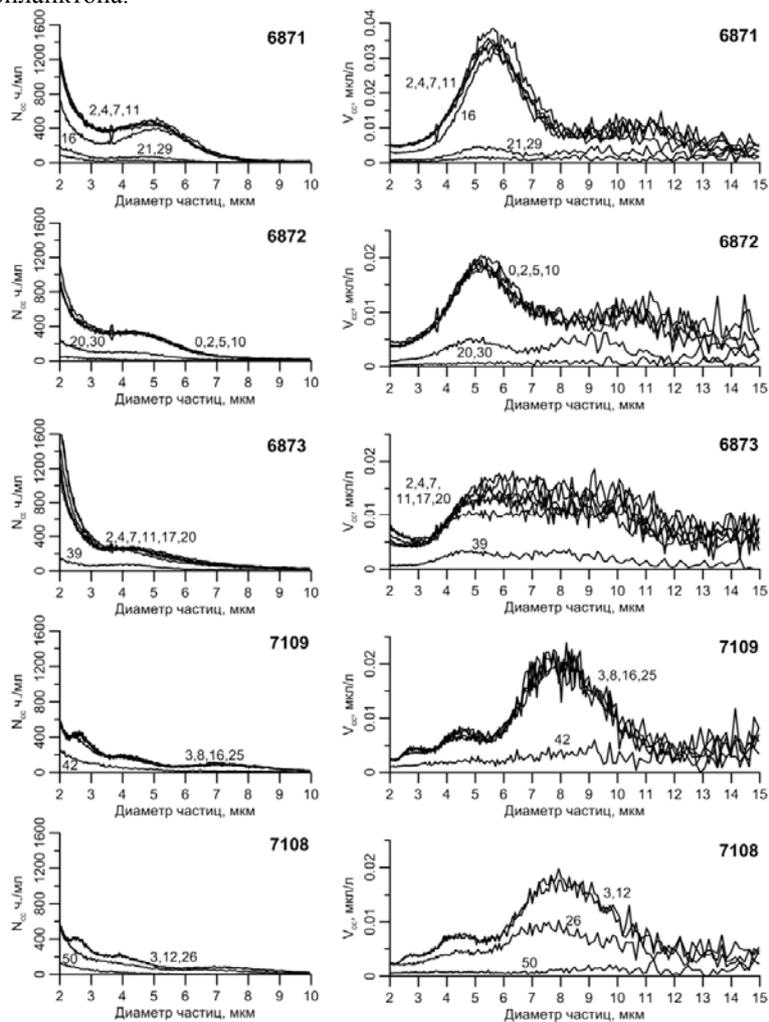


Рис. 1. Дифференциальные распределения численных ( $N_{cc}$ ) и объемных ( $V_{cc}$ ) концентраций взвеси в области кокколитофоридного цветения: станции 6871–6873 выполнены в августе 2020 г.; станции 7109 и 7108 – в августе 2021 г. Числа у кривых означают горизонты (м), где отобраны пробы воды.

При измерении гранулометрического состава частиц в области цветения кокколитофорид вкладом минеральных частиц можно пренебречь, поскольку их концентрация в эвфотическом слое Баренцева моря

сравнительно мала [5]. Среди других систематических групп фитопланктона в области цветения часто распространены динофлагелляты [1], но диаметр их клеток в  $\geq 10$  раз превышает диаметр кокколитофорид. Следовательно, по данным счетчика Коултера можно оценить концентрацию кокколитофорид в пределах ареалов цветения (таблица).

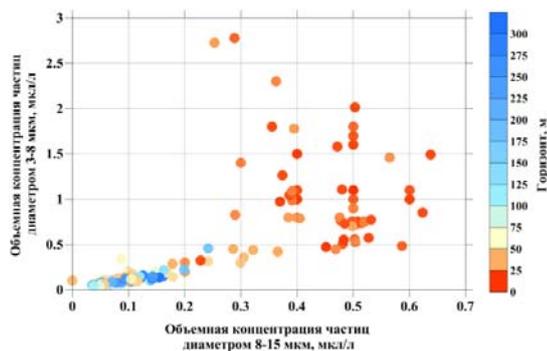


Рис. 2. Отношение объемных концентраций частиц двух фракций 3–8 мкм и 8–15 мкм. Цветом обозначен горизонт отбора ( $n = 83$ ).

Таблица. Максимальные значения концентраций взвеси по фракциям в районах цветений кокколитофорид в августе в разные годы.  $N_{cc}$  – численная концентрация взвеси;  $V_{cc}$  – объемная концентрация взвеси

Год	Станция	Горизонт, м	$N_{cc}$ , тыс. частиц/мл			$V_{cc}$ , мкл/л		
			2–60 мкм	3–8 мкм	8–15 мкм	2–60 мкм	3–8 мкм	8–15 мкм
2017	5580	10	87	46	0.5	4.2	2.8	0.3
2020	6871	11	56	29	0.9	3.0	1.8	0.5
2021	7109	16	28	12	1.1	2.5	0.8	0.5

Данные счетчика Коултера наглядно подтверждаются измерениями *in situ* (рис. 3) с помощью лазерного анализатора LISST-Deer, Sequoia Scientific, США [6]. Диапазон размеров измеряемых частиц составляет от 1.25 до 250 мкм с дискретностью в 32 промежутка по натуральной логарифмической шкале. Наибольшая объемная концентрация частиц наблюдается в слое 0–25 м, где преобладает фракция 4–15 мкм. Высокая концентрация частиц фракции 90–230 мкм в области термоклина (горизонт ~25 м) обусловлена, вероятно, скоплением динофлагеллят и детрита. Измерения гранулометрического состава взвеси в морской воде с целью исследования цветений кокколитофорид актуальны и позволяют получать надежные характеристики этих цветений в Баренцевом море.

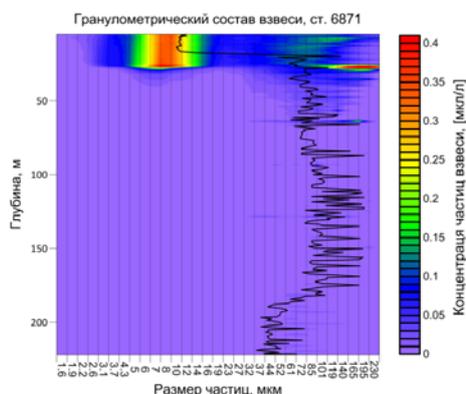


Рис. 3. Распределение  
гранулометрического состава  
взвеси в водной толще в  
области цветения  
кокколитофорид, ст. 6871,  
август 2020 г.

Авторы благодарят Д.И. Глуховца, А.А. Ключиткина и Н.В. Политову за помощь при исследовании цветений. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-50090).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паутова Л.А. Фитопланктон Баренцева моря // Система Баренцева моря. М.: ГЕОС, 2021. С. 317–331.
2. Silkin V., Pautova L., Giordano M. et al. Interannual variability of *Emiliana huxleyi* blooms in the Barents Sea: In situ data 2014–2018 // Marine Pollution Bulletin. 2020. V. 158. 111392.
3. Копелевич О.В., Каралли П.Г., Лохов А.С. и др. Перспективы улучшения точности оценки параметров кокколитофоридных цветений в Баренцевом море по спутниковым данным. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 7. С. 267–279.
4. Brownlee C., Wheeler G.L., Taylor A.R. Coccolithophore biomineralization: new questions, new answers // Seminars in Cell & Developmental Biology. 2015. V. 46. P. 11–16.
5. Политова Н.В., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Лохов С.А. Концентрация и состав взвеси Баренцева моря // Система Баренцева моря/ Отв. ред. А.П. Лисицын. М.: ГЕОС, 2021. С. 253–270.
6. Лохов А.С., Кравчишина М.Д., Ключиткин А.А., Коченкова А.И. Измерение характеристик взвешенных частиц Баренцева моря in situ с помощью лазерного дифрактометра LISST-Deep. // Океанология. 2020. Т. 60. № 5. С. 747–761.

Paper reviews the experience of using the Coulter Counter for the study of coccolithophore bloom in the Barents Sea. We present data on the volume concentration and grain size of SPM in the southern Barents Sea obtained in August 2017, 2020 and 2021 during cruises of the RV *Akademik Mstislav Keldysh*.

**Малов Г.И., Страховенко В.Д., Овдина Е.А.**

(Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,  
e-mail: malovgi@igm.nsc.ru)

**Минералого-геохимическая характеристика озерной системы «Бирюзовое» (Горный Алтай)**

**Malov G.I., Strakhovenko V.D., Ovdina E.A.**

(Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences)

**Mineralogical and geochemical characteristics of the lake system "Biryuzovoe" (Altai Mountains)**

Ключевые слова: малые озера, донные отложения, геохимия, минералогия, Горный Алтай.

В работе проведены комплексные исследования озерной системы «Бирюзовое». Изучен химический состав вод, почв водосборных площадей, донных отложений, водной биоты. Результатом работы стало выявление источников поступления материала в донные отложения и нахождение границы смены условий формирования донных отложений.

В современном мире, при постоянно увеличивающейся антропогенной нагрузке [1, 2], важным направлением исследований является изучение процессов миграции и концентрирования вещества в различных природных системах. Одна из наиболее показательных систем – малые озера. На формирование донных отложений (ДО) малых озер влияет множество факторов, изменения в которых всегда имеют отражения в стратифицированных толщах ДО.

В работе исследовано малое озеро «Бирюзовое», расположенное в Улаганской долине на Горном Алтае, в 300 м от озера Чейбеккель к западу от реки Чибитка на высоте 1840 м. Озерная котловина располагается на отложениях среднего отдела четвертичной системы ( $Q_2$ ), представленных валунниками, галечниками, песками и супесями. Глубина воды в озере 9 м, мощность исследуемых донных отложений 90 см.

Отбор проб ДО проводился цилиндрическим пробоотборником с вакуумным затвором конструкции НПО «Тайфун» (диаметр 82 мм, длина 100 см) с катамарана. Разбор крена ДО проходил на месте. Благодаря конструкции пробоотборника опробование велось с верхней границы (ДО–вода) не нарушая стратификации отложений. Донные отложения отбирались каждые 5 см. Отбор водных проб осуществляется по стандартным методикам (ГОСТ 31861, 2012). В полевых условиях проводились определение pH, Eh, минерализации с помощью прибора АНИОН-7000. Отбор почвенных проб осуществлялся металлическим кольцом (диаметр 82 мм и высота 50 мм), для каждого конкретного

почвенного разреза использовалась схема непрерывного опробования кольцом в верхних 30 см, а далее по генетическим горизонтам. Пробоподготовка заключалась в сушке до воздушно-сухого состояния, с последующим измельчением. Исследования химического состава проб компонентов озерных систем проведены в Центре коллективного пользования на научном оборудовании для многоэлементных и изотопных исследований ИГМ СО РАН (ЦКП МИИ СО РАН). Методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием методов пламенной и электротермической атомизации, а также рентгеноспектральным флуоресцентным анализом (спектрометр ARL-9900-XP фирмы ARL (Applied Research Laboratories, США)) в пробах воды и донных осадков определялись значения концентраций микро- и макроэлементов (спектрометр Solaar M6 фирмы Thermo Electron, Англия, снабженный зеемановским и дейтериевым корректором фона). Определение содержания естественных радионуклидов, радиоцезия и Pb210 проводилось гамма-спектрометрическим методом на колодезном коаксиальном детекторе из сверхчистого германия (HPGe) с предусилителем и низкофоновым криостатом EGPC 192-P21/SHF 00-30A-CLF-FA (производство фирмы «EURYSIS MESURES», Франция). Датирование ДО проводилось методом неравновесного Pb210. Изучение морфологии и фазового состава образцов проводилось на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) (TESCAN MIRA3). Общетехнические характеристики (влажность, зольность) определялись по ГОСТ 26713-85, ГОСТ 27980-88, ГОСТ 27979-88.

Минерализация воды в озере 99 мг/л, pH 8.2. По химическому составу воды озера гидрокарбонатные кальциевые. Питание озера осуществляется в основном за счет снего-талых и дождевых вод и подземных источников.

Почвы водосборной площади отбирались на склонах долины. Первая точка отбора (почвенный разрез мощностью 45 см) находилась на северо-восточном склоне, где почвообразующим субстратом являлись девонские известковистые песчаники Сумурлинской свиты (D1-2sm). Содержание металлов по разрезу почв равномерно, наблюдается тенденция накопления их в верхних частях разреза. Исключением являются Mn, Sr, Pb (рис. 1). Повышенные содержания Sr в нижнем горизонте (дресва по горным породам) по сравнению с вышелегающими горизонтами скорее всего объясняется изоморфным вхождением Sr в Ca минералы (кальцит, доломит), содержания которых доходит до 25%. Вторая точка отбора проб находилась на юго-западном склоне, почвообразующим субстратом тут являются алевролиты каменноугольной системы (C2-3). Почвенный разрез представлен пятью генетическими горизонтами, распределению металлов по разрезу равномерно за исключением Cd и Hg.

ДО, как по химическому, так и по минеральному составу делятся на две части: на глубине 30 см (рис. 1) скачком уменьшается содержание Ca (с 20% до 4%), а возрастает зольность (с 69% до 88%) и Al (с 2.5 до 7.5%). Возраст

границы оценивается в 200 лет по данным Pb210-датирования.

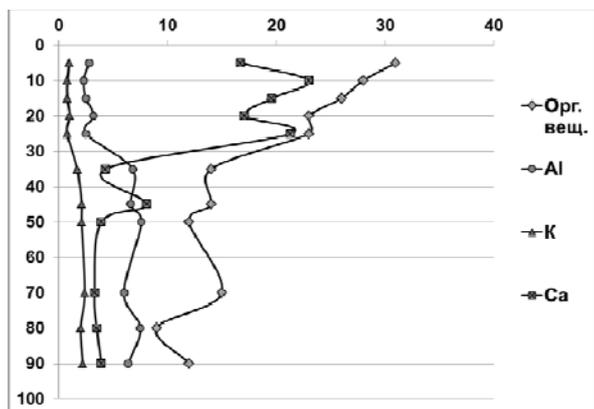


Рис. 1. Вертикальное распределение содержания Al, K, Ca и органического вещества в донных отложениях.

Для нижней части ДО основным источником материала можно считать почвы водосборных площадей, поскольку по химическому составу ДО и почвы мало отличимы (рис. 2.). Для верхней части разреза химический состав в основном так же наследует состав почв, но концентрации элементов значительно ниже, за исключением содержаний Ca, Sr, U, Hg. Более низкие значения для всех элементов в ДО объясняется разубоживанием органикой и аутигенным кальцитом. Высокие концентрации Ca, Sr связаны с образованием карбоната, а U, Hg – с сорбцией органическим веществом.

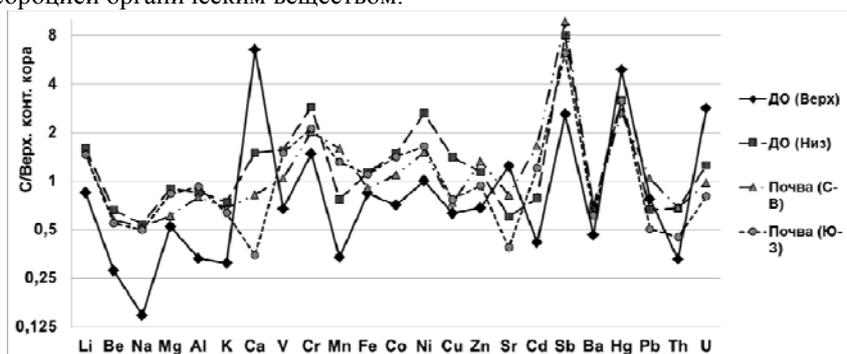


Рис. 2. Химический состав почв и донных отложений (нормирование к верхней континентальной коре, по [3])

Исследования на СЭМ показали, что Са в основном находится в

кальците. На его аутигенное образование указывает морфология выделений (корки на окатанных обломках горных пород на границе вода–ДО, мелкие скеленоэдрические и ромбоэдрические кристаллы, слагающее общую массу ДО, срастание этих кристаллов со скелетами диатомовых водорослей и его состав) (рис. 3, 4а) [4]. Среди терригенных минералов в ДО установлены кварц, полевые шпаты, мусковит, хлорит. Аутигенный кальцит резко доминирует в верхней части разреза. Среди акцессорных минералов присутствуют эпидот, магнетит, фрамбоэдальные выделения пирита, указывающие на восстановительные условия. Особое внимание привлекло нахождение гипса (присутствует в верхней части разреза) (рис. 4б), образование которого в ультрапресной воде невозможно. Биогенная составляющая представлена створками диатомовых водорослей.

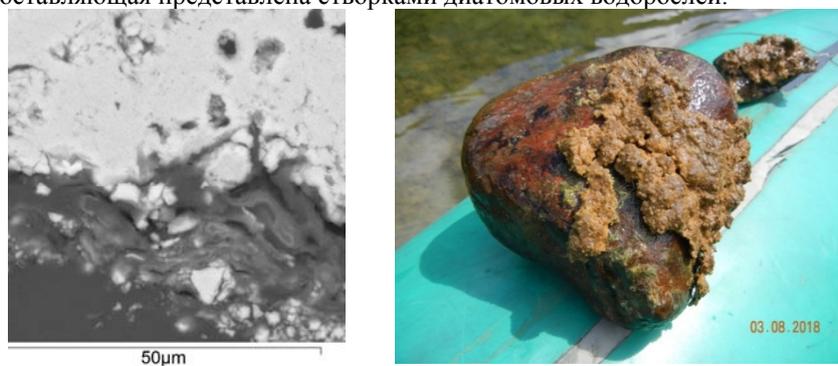


Рис 3. Кальцитовые корки

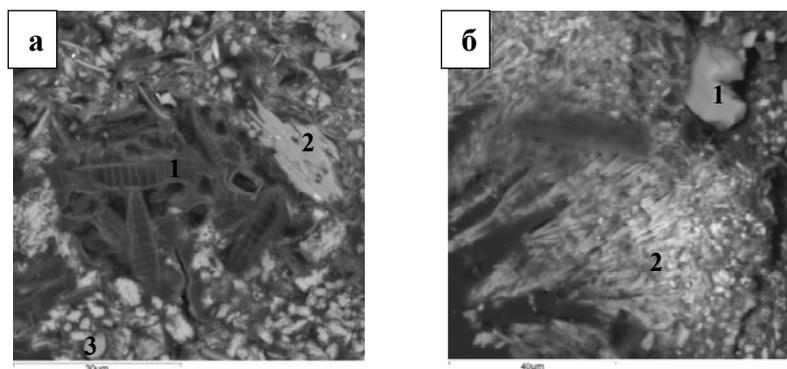


Рис. 4. Фотографии СЭМ

- а) Створки диатомовых водорослей (1), хлорит (2), кальцит (3)  
 б) гипс (2), кальцит (1)

Обобщив полученные данные, можно сказать, что для озера Бирюзовое основным источником поступления вещества являются литогенные

частицы, поступающие из почв водосборных площадей. 200 лет назад к поступлению терригенного материала добавилось аутигенное образование кальцита. Источником поступления Са можно считать воды, которые питают озеро. Точно говорить о составе вод родников, которые видны на дне озера не представляется возможным, поскольку отбор проб воды проводился только на глубине 30 см. Но можно предположить, что из-за разности в составе вод родников и воды в озере создаются благоприятные условия для образования кальцита и гипса в результате активной деятельности биоты.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Walling D. E. The changing sediment loads of the world's rivers //Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Land Reclamation. 2008. V. 39.
2. Walling D. E., Fang D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers //Global and planetary change. 2003. V. 39. № 1–2. P. 111–126.
3. Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: Its composition and evolution. Oxford: Blackwell Sci. Publ., 1985. 330 p.
4. Ovdina E, Strakhovenko V, Solotchina E. Authigenic Carbonates in the Water–Biota–Bottom Sediments' System of Small Lakes (South of Western Siberia) // Minerals. 2020. V. 10 (6). 552.

The work carried out comprehensive studies of the lake system "Turquoise". The chemical composition of waters, soils of catchment areas and bottom sediments were studied. The result of the work was the identification of the sources of material input into the bottom sediments and the determination of the boundary of the change in the conditions for the formation of the sapropel strata.

**Малов В.И.<sup>1,2</sup>, Страховенко В.Д.<sup>1,2</sup>, Субетто Д.А.<sup>3</sup>,  
Белкина Н.А.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, email: malov@igm.nsc.ru, <sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, <sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН” Институт водных проблем Севера, г. Петрозаводск)

**Изменение минерального состава шунгитовых пород  
острова Березовец при выветривании**

**Malov V.I.<sup>1,2</sup>, Strakhovenko V.D.<sup>1,2</sup>, Subetto D.A.<sup>3</sup>,  
Belkina N.A.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, <sup>2</sup>Novosibirsk State University, <sup>3</sup>Federal Research Center “Karelian Scientific Center of RAS” Institute of Water Problems of the North, Petrozavodsk)

**Alteration mineral composition of shungite rocks of Berezovets  
Island during weathering**

Ключевые слова: шунгиты, Онежское озеро, марганцевые конкреции, минералогия шунгитов

Шунгитовые породы острова Березовец при их выветривании водами Онежского озера изменяют свой состав в зависимости от фракции. Гравий и галька представлена хорошо окатанными индивидуальными максовитов и лидитов. В песчаной фракции зерна углерода полностью разрушаются и не выявлены. При этом в песчаной фракции наблюдаются Mn-конкреции, которые образуются в результате деятельности микроорганизмов и создания локальных восстановительных условий в прибойной зоне.

Шунгитовые породы представляют собой комплекс вулканогенно-осадочных горных пород докембрийского возраста (~2 млрд. лет) с большим количеством углеродного вещества и широко распространены в северной части водосбора Онежского озера [1]. Особенность этих пород заключается в количестве и форме нахождения углерода, имеющего уникальную структуру. Шунгитовый углерод характеризуется многоуровневой фрактальной структурой, основным структурным элементом которой является графеноподобный фрагмент с линейными размерами менее 1 нм [2]. Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам шунгит широко используется в промышленности, в том числе в виде сорбентов для очистки воды от органических и неорганических веществ. Однако роль шунгитов в природных системах слабо изучена.

Цель работы – изучить минералогию шунгитовых пород при их выветривании водами Онежского озера в скальных выходах острова Березовец.

Объектом исследования являются шунгитовые породы, расположенные на острове Березовец. Остров Березовец расположен в Онежском озере в 40 км на северо-восток от г. Петрозаводска. Остров сложен породами, относящимися к верхней заонежской свите людиковийского надгоризонта. В основном шунгитовые породы в этом месте представлены максовитами. Максовиты – шунгитоносные породы, содержащие от 10 до 45% шунгитового вещества смешанного типа, серовато–черного цвета, плотные, пелитоморфные, относятся к группе экструзивных сапробитумолитовых пород [3]. Воды Онежского озера относятся к пресным, гидрокарбонатно кальцевым. Выявлены локальные участки придонной воды озера с повышенными концентрациями железа, марганца [4].

Отбор образцов проведен в ходе полевых работ 2020–2021 гг. Отобраны керн донного осадка в 15 метрах от острова Березовец на глубину 2 метров, образцы песка различной размерности, гравия, и гальки расположенных на берегах острова.

На данный момент с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «MIRA 3 TESCAN» (Tescan, Чехия), снабженного энергетическим спектрометром «OXFORD» (Oxford Instruments, Великобритания) изучены морфология и фазовый состав образцов. Аналитические работы проводились в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Гравий и галька представлена хорошо окатанными индивидами, черных, плотных пород. Данные породы имеют брекчированную текстуру. Среди обломков встречаются породы кремнистого состава с обильным тонкораспыленным углеродным веществом – лидитами, либо породы по составу отвечающих максовитам (рис. 1).

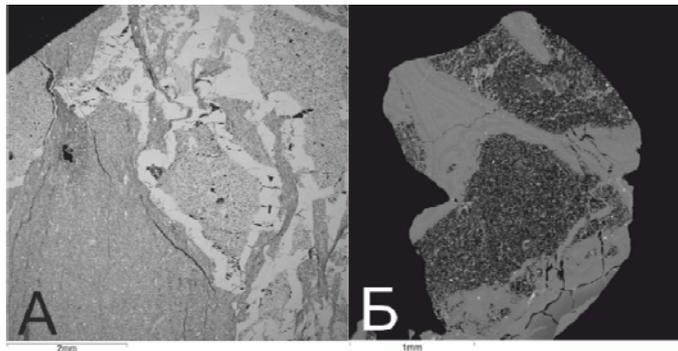


Рис. 1 Шунгитовые породы острова Березовец. А) окварцованные обломки лидитов в шунгитовом веществе Б) Фрагмент максовитовой брекчии с кварцевым цементом.

Обломки пород часто имеют оторочки с концентрически-зональной структурой и кремнеземным составом. При этом слоистость в таких

оторочках обусловлена разным количеством шунгитового вещества. Такие оторочки и окварцованные участки могут сливаться и цементировать обломки, образуя брекчии с кварцевым цементом (рис. 1).

Другой встречающийся тип цемента близок по составу к шунгитовым породам и имеет полосчатую, флюидальную структуру. Минералами, слагающими такой цемент являются кварц, К-полевоы шпат, слюды, пирит, а также ярозит (рис. 1).

В отобранной песчаной фракции (1–2 мм), встречаются фрагменты пород, наблюдаемых в более крупной фракции, при этом зерна углерода меньше 1–2 мм полностью разрушаются и в мелкой песчаной фракции не выявлены. Также в песчаной фракции встречаются Mn конкреции. Они имеют концентрически зональное строение. Центральная часть конкреции может быть представлена обломками пород, либо отвечать по составу самой конкреции. Основной минерал конкреций – псиломелан. Зональность конкреций обусловлена в первую очередь кристалличностью выделений, а не составом (рис. 2).

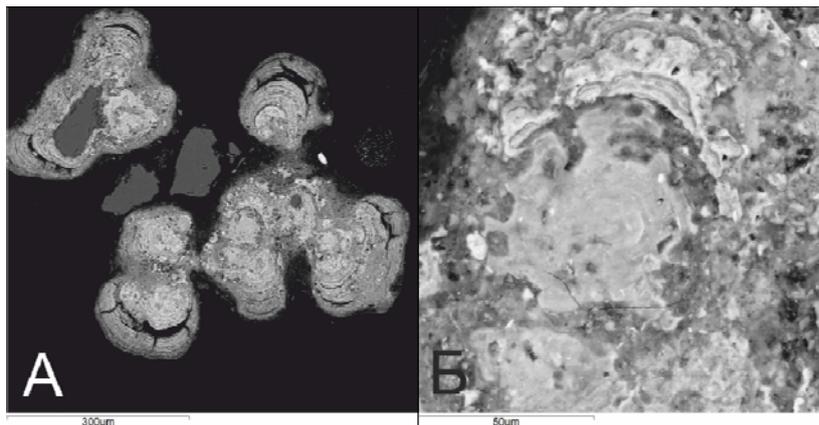


Рис. 2. А) Железомарганцевые конкреции с разным типом центральной части. Б) Строение железомарганцевой конкреции

В более крупных отобранных фракциях подобных Mn выделений не наблюдалось, впрочем, как и каких-либо Mn минералов, за счет которых они могли бы образоваться.

По всей видимости, формирование конкреций происходит в озере в непосредственной близости от берега. Образование железомарганцевых конкреций в озерах обычно связывают со сменой окислительно-восстановительных условий. В восстановительных условиях железо и марганец находятся в двухвалентном состоянии и в растворенном виде. При смене условий железо и марганец переходят в трехвалентное состояние и их

оксиды (и гидроксиды) могут осаждаться в виде железомарганцевых конкреций [5]. Помимо этого в формировании железомарганцевых конкреций важную роль играет деятельность микроорганизмов, особенно бактерий [6].

В нашем случае главенствующую роль в образовании Mn-конкреций играют микроорганизмы, берущие Mn, растворенный в водах Онежского озера, которые сами по себе богаты Mn, Fe, Si. На это указывает два факта. Первый – находки биоморфных структур в Mn-конкрециях. Такие структуры напрямую указывают на участие живых организмов в формировании конкреций. Подобные структуры были описаны в ферромарганцевых строматолитах пещеры Эль Соплао [7] (рис. 3). Близость шунгитовых пород как источника углерода, также, по всей видимости, играет благоприятную роль для жизнедеятельности микроорганизмов.

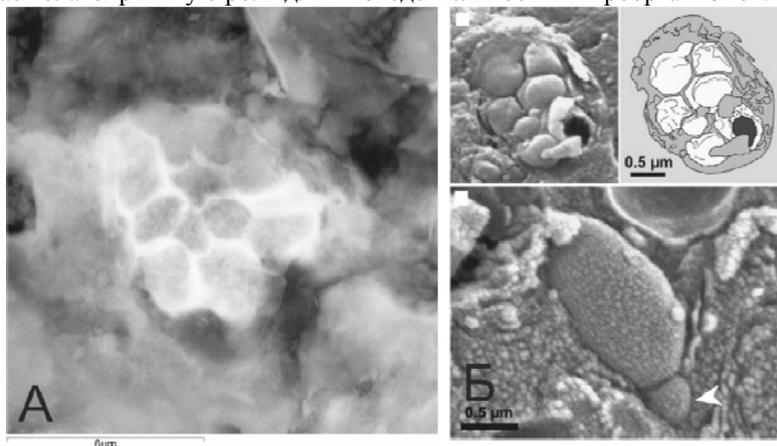


Рис 3. А) Биоморфные структуры в марганцевых конкрециях острова Березовец. Б) Биоморфные структуры в строматолитах [7]

Второй – состав конкреций, а именно абсолютное доминирование Mn над железом. Как было уже отмечено выше, формирование конкреций может идти при окислении растворенного  $Mn^{2+}$  с образованием нерастворимых оксидов. При этом, и  $Fe^{2+}$  должно подвергаться окислению и выпадать в осадок. В нашем же случае мы наблюдаем исключительно Mn состав конкреций. Такое становится возможным, если образование конкреций происходит за счет деятельности микроорганизмов, которые позволяют избирательно осаждать Mn без Fe из воды. Сохранение восстановительных условий в воде, даже близ поверхности, обусловлено непосредственным контактом воды и шунгитовых пород богатых углеродом. Углерод в шунгитах выступает в роли сильного восстановителя, который поглощает кислород из воды. Известны эксперименты,

подтвердившие, что шунгит поглощает растворенный кислород активнее, чем железо [8].

Таким образом, можно сделать следующий вывод. В условиях полного выветривания шунгитовых пород возможно образование Mn-конкреций, обусловленное деятельностью микроорганизмов и созданием локальных восстановительных условий в прибойной зоне.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 18-17-00176-п. Полученные методические разработки по СЭМ использованы в рамках работ по выполнению государственного задания ИГМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования / Ред. В.А. Соколов, Ю.К. Калинин. Петрозаводск, 1975. 240 с.
2. Рожкова Н.Н. Наноглерод шунгитов. Петрозаводск, 2011. 100 с.
3. Атлас текстур и структур шунгитоносных пород Онежского синклиория / Ред. М. М. Филиппов, В. А. Мележик. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 80 с.
4. Strakhovenko V., Subetto D., Ovdina E., Danilenko I., Belkina N., Efremenko N., Maslov A. Mineralogical and geochemical composition of Late Holocene bottom sediments of Lake Onego // J. Great Lakes Res. 2020. V. 46. № 3. P. 443–455.
5. Stumm W., Morgan J.J. Aquatic chemistry; an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. 1970.
6. Nealson K. H. The manganese-oxidizing bacteria // Prokaryotes. 2006. V. 5. P. 222–231.
7. Lozano R.P., Rossi C. Exceptional preservation of Mn-oxidizing microbes in cave stromatolites (El Soplao, Spain) // Sedimentary Geology. 2012. V. 255. P. 42–55.
8. Калинин Ю. Экологический потенциал шунгита // Наука в России. 2008. № 6. С. 39–45.

Shungite rocks of Berezovets Island, when weathered by the waters of Lake Onega, change their composition, depending on the fraction. Well-rounded individuals of Maxovites and Lydites represent gravel and pebbles. In the sandy fraction, carbon grains are destroyed and are not revealed. At the same time, Mn-nodules are observed in the sand fraction, which are formed because of the activity of microorganisms and the creation of local reducing conditions in the surf zone.

**Мигдисова И.А., Стародымова Д.П., Клювиткин А.А.,  
Новигатский А.Н., Булохов А.В.**

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

**Изменчивость состава осадочного вещества в  
седиментационной системе Лофотенской котловины  
Норвежского моря**

**Migdisova I.A., Starodymova D.P., Klyuvitkin A.A.,  
Novigatsky A.N., Bulokhov A.V.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Variability of the composition of sedimentary matter in  
sedimentation system of the Lofoten basin of the Norwegian Sea**

Ключевые слова: рассеянное осадочное вещество, донные осадки, потоки, элементный состав, РЗЭ, седиментация

В Лофотенской котловине Норвежского моря проводился отбор рассеянного осадочного вещества и донных осадков, в результате исследования был изучен элементный и компонентный составы, оценены потоки вещества, исследована вертикальная и сезонная изменчивость состава осаждающегося вещества.

Изучение процессов современного осадкообразования в океане важно для понимания климатических и гидрологических условий в океане, поскольку дает ключ к реконструкции условий среды прошлого. Седиментационные системы в океане можно описать, используя несколько характеристик: наиболее наглядные из которых – потоки вещества (количественное изучение поступления вещества в динамике) и его элементный состав (качественная оценка осадочного вещества) [1]. Особый интерес представляют исследования состава материала взвеси водной толщи в течение года, что дает представление о сезонной динамике системы осадконакопления [2].

Целью исследования было изучение трансформации элементного состава осадочного вещества в ходе седиментогенеза и ранних постседиментационных изменений. Для этого был проведен анализ состава рассеянного осадочного вещества на разных горизонтах водной толщи и в разные сезоны года. Также был проведен анализ верхнего ненарушенного слоя донных осадков (ДО).

Объектом исследования послужило взвешенное вещество и донные осадки Лофотенской котловины Норвежского моря (рис. 1). Материал был отобран в ходе экспедиций НИС «Академик Мстислав Келдыш». Ненарушенная колонка донных осадков была отобрана мультикорером, рассеянное осадочное вещество – с помощью автоматической

глубоководной седиментационной обсерватории (АГОС), которая улавливает осадочное вещество на разных горизонтах водной толщи [3]. АГОС была установлена в Лофотенской котловине летом 2017 г. и поднята после годовой экспозиции летом 2018 г. В состав АГОС входили седиментационные ловушки двух типов: интегральные ловушки МСЛ, которые позволяют оценить изменение состава по глубине были расположены на 5 горизонтах – 500, 1250, 2110, 2550 и 2980 м, а большие седиментационные ловушки «Лотос», которые позволяют оценить изменчивость по месяцам, были поставлены на горизонтах 500 и 2980 м.



Рис. 1. Станция пробоотбора (указана стрелкой), установленная в ходе рейсов НИС «Академик Мстислав Келдыш» [4]

Анализ рассеянного осадочного вещества и ДО был выполнен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent 7500a после разложения пробы смесью концентрированных кислот ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ). В пробах были определены содержания органического и карбонатного углерода на анализаторе АН-7560 (аналитик Макарова Е.А.). Содержания Si, Al, P были определены фотометрически (аналитик Золотых Е.О.).

В водной толще наблюдается проявление вертикальной зональности, отражающееся в заметном увеличении потока вниз по глубине: в нефелоидном слое (2980 м) поток значительно больше, чем в слоях, располагающихся выше, что связано с действием придонных течений, увеличивающих взмучивание и переотложение вещества (рис. 2). Сезонная

изменчивость в приповерхностном и придонном слоях различается: в верхнем слое (500 м) водной толщи увеличение потока вещества приходится на август–сентябрь, что связано с циклом цветения водорослей – кокколитофорид; пик приходится на теплое время года [5]. В нижнем слое (2980 м) потоки увеличиваются в весенние месяцы, что объясняется усилением действия придонных течений в этот период.

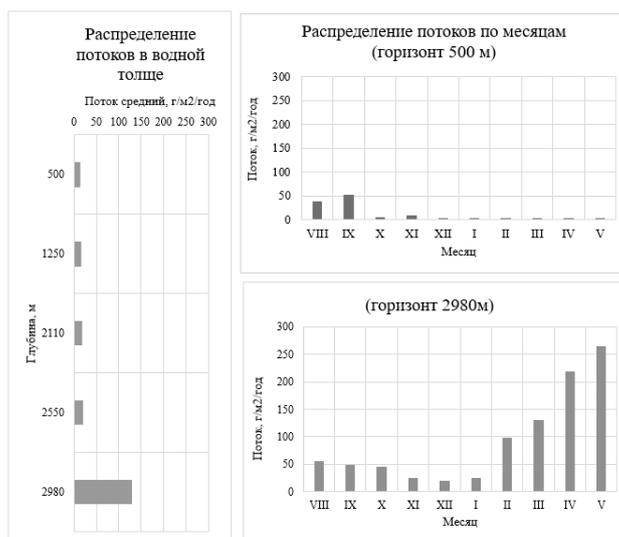


Рис. 2. Распределение потоков, зарегистрированных ловушками "Лотос" по месяцам на разных глубинах (ст. 5934, АМК71)

Чтобы оценить степень обогащения вещества элементами, было произведено сравнение полученных значений со значениями содержания элементов в Северо-Американском сланце (NASC) [6]. Для рассеянного осадочного вещества были рассчитаны коэффициенты обогащения (КО):

$$КО = (Эл/Al)_{\text{проба}} / (Эл/Al)_{\text{NASC}},$$

где (Эл/Al) – это отношение содержания элемента к алюминию в пробе и в сланце NASC соответственно. КО позволяет произвести оценку источников поступления элементов в пробу. По рассчитанным значениям КО был сделан вывод, что вещество обогащают следующие элементы: Ва, Рb, Сu, Cd, Мо, Mn, Zn, Sr. Прослеживается ряд закономерностей в распределении этих элементов: на глубине 500 м содержание Mn, Zn, Рb, Сu, Cd значительно увеличиваются в апреле, что коррелирует с резким увеличением содержания органического вещества; в приповерхностном слое наблюдается локальное увеличение содержания Ва в зимний период – прослеживается совпадение с повышением содержания органики в этот же

период, что, предположительно, связано со сменой видового состава водорослей; содержания Cd и Pb на глубине 500 м соизмеримы, а на глубине 2980 м наблюдается значительное различие в содержаниях (содержания Cd на несколько порядков ниже Pb), что объясняется биологическим вкладом организмов, обитающих в приповерхностном слое водной толщи.

На границе вода–дно наблюдается резкое изменение состава осадочного вещества (рис. 3). Четко заметно наличие геохимического барьера: такие элементы как Cu, Zn, Ag, Cd, Pb обогащают придонную взвесь, при осаждении переходят в раствор и воду, поэтому в ДО содержания меньше. Содержания Cr, Nb, Mo, Mn выше в ДО, что связано с их фиксацией в нерастворимых соединениях и сорбцией на терригенных, биогенных и хемогенных частицах. Придонный слой взвеси и верхний слой ДО практически идентичны по содержанию РЗЭ; спектры РЗЭ с увеличением глубины становятся все более близки к сланцам. Потоки вещества меняются равномерно – закономерно вниз по профилю уменьшается содержание органического и карбонатного вещества, увеличивается содержание литогенного.

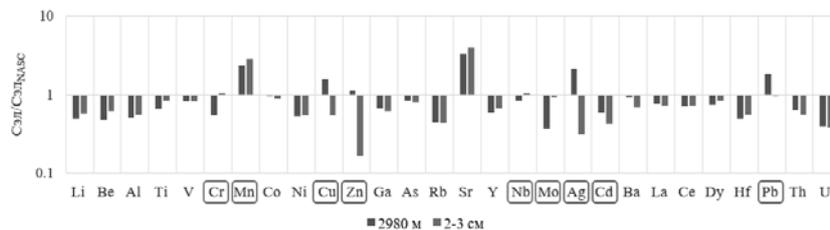


Рис. 3. Сравнение элементного состава придонного слоя взвеси (2980 м) с верхним слоем донных осадков

Таким образом, на глубине 500 м наибольшие потоки осадочного вещества зарегистрированы в августе и сентябре, что связано с циклами цветения разных видов фитопланктона. На горизонте 2980 м наибольшие потоки зарегистрированы в апреле и мае, что связано с усилением придонных течений. Состав осадочного вещества верхних горизонтов (500 м) в большей мере определяется вкладом органогенного источника, его влияние убывает с глубиной в процессе растворения и разбавления карбонатов и деградации органического вещества. В придонном горизонте основным источником вещества является литогенный материал. Элементный состав рассеянного осадочного вещества верхних горизонтов водной толщи (500 м) характеризуется значительной сезонной изменчивостью и в большей мере определяется вкладом биогенного источника, что ведет к обогащению взвеси рядом элементов (Mn, Sr, Cu, Zn, Cd, Pb).

Состав осадочного вещества придонного горизонта идентичен составу

верхнего слоя донных осадков по многим элементам (включая РЗЭ). Содержания некоторых элементов (Cu, Zn, Ag, Cd, Pb) в придонной взвеси выше, чем в верхнем слое ДО, что говорит о существовании геохимического барьера на границе «вода–дно».

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №19-05-00787).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А. Процессы океанской седиментации М.: Наука, 1978. 392 с.
2. Новигатский А.Н., Шевченко В.П., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Политова Н.В. Седиментогенез в Белом море: вертикальные потоки рассеянного осадочного вещества и абсолютные массы донных осадков // Океанология. 2020. Т. 60. № 3. С. 429–441.
3. Лукашин В. Н., Щербинин А.Д. Нефелоидный слой и горизонтальные потоки осадочного вещества в Норвежском море // Океанология. 2007. Т. 47. № 6. С. 894–908.
4. Электронный ресурс: [www.gebco.net](http://www.gebco.net)
5. Дриц А.В., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д. и др. Потоки осадочного вещества в Лофотенской котловине Норвежского моря: сезонная динамика и роль зоопланктона // Океанология. 2020. Т. 60. №4. С. 576–594.
6. Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. The «North American Shale Composite», its compilation, major and trace element characteristics // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 2469–2482.

Dispersed sedimentary matter and bottom sediments were sampled in the Lofoten Basin of the Norwegian Sea. As a result of the study, the elemental and component compositions were studied, the flows of matter were analyzed. The vertical and seasonal variability of individual components of the sedimentation system was also evaluated.

**Митяев М.В., Герасимова М.В.**

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

**Изменение концентрации нерастворимых частиц в свежеснеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018–2021 гг.**

**Mityaev M.V., Gerasimova M.V.**

(Murmansk marine biological institute RAS, Murmansk)

**Change in the concentration of insoluble particles in fresh snow in the North-West of the Kola Peninsula in 2018–2021**

Ключевые слова: Кольский полуостров, концентрация нерастворимых частиц, атмосферные осадки, свежеснег.

С января 2018 г. по май 2021 г. на северо-западе Кольского полуострова проведено исследование концентраций твердых нерастворимых частиц в свежеснеге. Средняя концентрация твердых нерастворимых частиц в свежеснеге составила  $5.31 \pm 0.40$  мг/л ( $n=257$ ). Выявлена тесная положительная корреляционная связь концентраций твердых аэрозолей с ветрами южных румбов ( $r=0.895$ ,  $n=85$ ).

Снег вымывает из атмосферы твердые и растворенные вещества [1]. Нерастворимые аэрозоли в снеге характеризуют зимнюю атмосферу [2].

Высокоширотное положение Кольского полуострова обуславливает выпадение твердых атмосферных осадков 180–200 дней в году [3]. На природный уровень концентраций твердых нерастворимых частиц в снежном покрове накладываются выбросы промышленных и городских агломераций как Мурманской области, так и более отдаленных районов [1].

Исследования нерастворимых частиц в снежном покрове Арктики активно ведутся как российскими [1, 4–6], так и иностранными исследователями [7–9]. Однако концентрации твердых аэрозолей в свежеснеге на севере Кольского полуострова ранее детально не изучались. Цель нашей работы – проведение исследований масштабов поставки твердых аэрозолей в зимний период на север Кольского полуострова.

С января 2018 г. по апрель 2021 г. в ходе полевых работ на Мурманском побережье были отобраны пробы свежеснега на 21 станциях вдоль трех автомобильных магистралей. Вдоль Серебрянской трассы (г. Мурманск – пос. Туманный) на востоке Мурманского побережья. Вдоль трассы Кола (г. Мурманск – г. Полярный) на северо-западе территории и на юге территории (г. Мурманск – 1270 км трассы Кола). Вдоль трассы Лотта (г. Мурманск – устье р. Печенга) на западе территории.

Снег отбирался на следующий день после снегопада на расстоянии не

менее 500 м от автомобильных дорог против ветра чистым пробоотборником из пищевой нержавеющей стали в плотные полиэтиленовые пакеты. Чтобы исключить попадание уплотненного снега, отбирался только верхний слой свежего снега толщиной 1–3 мм. После доставки проб снега в лабораторию, их помещали в холодильник и хранили при температуре  $-5^{\circ}\text{C}$  до обработки.

В лаборатории пробы снега растапливали при комнатной температуре. Талую воду фильтровали через предварительно взвешенные ядерные лавсановые фильтры с диаметром рабочей поверхности 47 мм и диаметром пор 0.45 мкм. Фильтры с веществом высушивали в термостате при температуре  $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$  до полного высыхания и повторно взвешивали на электронных весах с точностью до 0.00005 г.

Концентрация твердых нерастворимых частиц в свежеснеге на севере Кольского полуострова изменялась от 0.96 до 49.86 мг/л (в среднем составляя  $5.29\pm 0.40$  мг/л,  $n=257$ ). Это выше, чем фоновое содержание аэрозолей в снежном покрове Арктики (менее 3 мг/л [2, 6, 10]), но ниже, чем в северных импактных районах (более 10 мг/л [2, 4, 9, 11]).

По концентрации твердых нерастворимых частиц в свежеснеге выделено четыре фоновых и два импактных района севера Кольского полуострова. Средняя концентрация твердых частиц в свежеснеге в фоновых районах составляла  $3.30\pm 0.09$  мг/л ( $n=180$ ), в импактных –  $10.01\pm 1.15$  мг/л ( $n=77$ ).

Первый импактный район расположен в инфраструктуре устья реки Тулома и Кольского залива, включающей в себя населенные пункты, транспортные узлы (морские порты, железнодорожные и автомобильные пути), ТЭЦ, аэропорт. Второй район – это горнопромышленный комплекс и городские инфраструктуры на северо-западе Мурманской области (в городах Никель, Печенга, Заполярный). В импактных районах основная масса аэрозольного вещества это техногенные продукты – сферы сгорания, зола, угольная пыль. Концентрация твердых нерастворимых аэрозольных частиц в свежеснеге в обоих этих районах в среднем составляла  $9.73\pm 1.12$  мг/л ( $n=81$ ), изменяясь от 2.12 до 49.86 мг/л.

Фоновые районы это разные ландшафтные комплексы, где атмосферные осадки вымывают различное количество нерастворимых частиц.

Северо-западный район (средняя концентрация аэрозольного вещества  $3.78\pm 0.54$  мг/л талой воды,  $n=11$ ) объединяет тундры и лесотундры западной части Мурманского берега [3]. Восточный район (средняя концентрация аэрозольного вещества  $3.01\pm 0.12$  мг/л талой воды,  $n=85$ ) – тундры и лесотундры восточной части Мурманского берега. Западный район (средняя концентрация аэрозольного вещества  $3.37\pm 0.15$  мг/л талой воды,  $n=63$ ) приурочен к ландшафтам северной тайги Центрально-Кольского блока [3]. Южный район (средняя концентрация аэрозольного вещества  $4.10\pm 0.26$  мг/л талой воды,  $n=21$ ) приурочен к ландшафтам северной тайги в восточной

части Лапландско-Сальютундровской зоны [3]. Вещественный состав твердых нерастворимых частиц в фоновых районах резко отличается от импактных, хотя повсеместно наблюдаются единичные сферы сгорания. Здесь преобладают мелкие неопределимые частицы (менее 10 мкм) различного цвета (желтых, зеленых, розовых тонов), а также белые (светло-серые) и прозрачные частицы. Встречаются шкурки, волокна органического вещества и мельчайшие обломки минералов (в основном чешуйки слюд, изредка кварц и полевые шпаты). Повсеместно наблюдаются волокна и частицы микропластика.

Отмечаются изменения среднегодовых концентраций твердых нерастворимых частиц в районе наблюдения (табл. 1).

Таблица 1. Изменение среднегодовых концентраций (мг/л)

Районы	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Север Кольского полуострова	5.12±0.92 (n=62)	5.78±0.81 (n=79)	5.41±0.83 (n=77)	4.20±0.37 (n=39)
Восточный район	2.60±0.28 (n=25)	3.29±0.18 (n=29)	3.10±0.16 (n=21)	3.03±0.24 (n=12)
Западный район	3.42±0.43 (n=10)	3.85±0.25 (n=18)	3.06±0.26 (n=25)	3.22±0.25 (n=11)
Импактные районы	8.83±2.34 (n=16)	11.10±2.42 (n=22)	10.42±2.36 (n=24)	6.29±0.91 (n=12)

Вызывает интерес тот факт, что в 2019 г. наблюдались максимальные концентрации твердых нерастворимых частиц в свежеснеговом снеге. Так как основной фактор, влияющий на концентрацию аэрозолей в атмосфере, это направление переноса воздушных масс [1, 2, 12], сделана попытка оценить связь концентрации твердых нерастворимых частиц в атмосферных осадках на севере Кольского полуострова с направлением переноса воздушных масс. Так для всей территории выявлена тесная положительная корреляция с ветрами южных румбов ( $r=0.895$ , при  $k=83$ , где степень свободы  $k=n-2$ ). Если на севере Кольского полуострова в 2018 г., 2020 г. и 2021 г. доля ветров южных румбов не превышала 4.5%, то в 2019 г. она возросла почти вдвое (до 7.8%). В это же время значительно снизилась доля северо-восточных ветров до 4.3%, в другие периоды она не опускалась ниже 5%. Перенос воздушных масс с ветрами других румбов в каждом районе оказывают разное влияние на концентрацию твердых нерастворимых частиц в свежеснеговом снеге. Так в восточном районе концентрация твердых нерастворимых частиц в свежеснеговом снеге увеличивалась при ветрах южных ( $r=0.715$ ,  $k=20$ ) и восточных ( $r=0.853$ ,  $k=20$ ) румбов. В западном районе концентрация твердых нерастворимых частиц увеличивалась при ветрах южных румбов ( $r=0.888$ ,  $k=17$ ), но снижалась при ветрах северных ( $r=-0.785$ ,  $k=17$ ) и западных ( $r=-0.904$ ,  $k=17$ ) румбов. В Мурманском импактном районе концентрация твердых частиц в снеге

увеличивалась при ветрах южных ( $r=0.734$ ,  $k=38$ ) и восточных ( $r=0.838$ ,  $k=38$ ) румбов.

В течение зимнего периода 2018–2021 гг. среднемесячные концентрации твердых частиц в снеге имели значительные различия (табл. 2).

Таблица 2. Среднемесячные концентрации твердых частиц в снеге (мг/л)

Месяцы	количество исследованных снегопадов	Концентрация	Диапазон изменений
Январь	44	4.42±0.42	1.03–14.57
Февраль	50	7.12±0.42	1.86–49.84
Март	56	4.86±0.72	1.17–40.51
Апрель	33	5.50±1.47	1.01–49.86
Май	12	3.86±0.56	1.90–8.37
Октябрь	19	4.02±0.70	0.96–11.86
Ноябрь	28	4.80±0.98	1.08–25.63
Декабрь	22	6.09±1.15	2.21–26.72

Таким образом, на севере Кольского полуострова фоновый диапазон концентраций твердых нерастворимых частиц в свежеснеженном снеге в 2018–2021 гг. составлял 2.1–6.9 мг/л в удаленных от городских агломераций районах и 4.9–15.1 мг/л в импактных районах [13]. В удаленных районах Арктики фоновые концентрации аэрозолей в снежном покрове не превышают 3 мг/л [1, 2, 5, 10, 14], следовательно, можно предположить, что 2–12 мг твердых аэрозолей в литре талой снеговой воды представляют собой продукты региональных природных и антропогенных процессов. Мурманск – крупнейший региональный центр всех транспортных потоков: железнодорожных, морских, автомобильных и воздушных перевозок, сюда поступают и отсюда вывозятся продукты цветной металлургии и угольной промышленности. Поэтому неудивительно, что и концентрация твердых аэрозолей в районе Мурманска и его окрестностях максимальны для всей территории. Восточный район по концентрации твердых нерастворимых частиц в снеге наиболее близок к фоновым районам Арктики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
3. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.
4. 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.

5. 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.

6. Куценогий К.П., Куценогий П.К. Аэрозоли Сибири. Итоги семилетних исследований // Сибирский экологический журнал. 2000. № 1. С. 11–20.

7. Caritat P., Dyrds M., Niskavaara H., Chekushin V. et al. Snow composition in eight catchments in the Central Barents Euro-Arctic region // Atmospheric Environment. 1998. V. 32. № 14/15. P. 2609–2626.

8. Duce R.A., Liss P.S., Merrill J.T. et al. The atmospheric input of the trace species to the world ocean // Global Biogeochem. Cycles. 1991. V. 5. № 3. P. 193–259.

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. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А. и др. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. № 6/7. С. 551–576.

11. 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.

12. Shevchenko V.P., Lisitzin A.P. Aeolian input // The Arctic Ocean Organic Carbon Cycle: Present and Past / Eds.: R. Stein, R.W. Macdonald. Berlin-Heidelberg-New York: Springer, 2003. P. 53–54.

13. Митяев М.В., Герасимова М.В., Рыжик И.В. и др. Нерастворимые фракции аэрозолей и тяжелых металлов в свежеснеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018 г. // Лед и снег. 2019. Т. 59. № 3. С. 307–318.

14. 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.

From January 2018 to May 2021, a study of the concentration of solid insoluble particles in fresh snow in the North-West of the Kola Peninsula was carried out. The average concentration of solid insoluble particles in fresh snow was  $5.31 \pm 0.40$  mg/L ( $n=257$ ). A close positive correlation was revealed between the concentrations of solid aerosols and the winds of the southern points ( $r=0.895$ ,  $n=85$ ).

**Митяев М.В., Герасимова М.В.**

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

**Литодинамика осадочного вещества в губах Карельского побережья в 2016–2018 гг.**

**Mityaev M.V., Gerasimova M.V.**

(Murmansk marine biological institute RAS, Murmansk)

**Lithodynamics of sedimentary matter in the bays of the Karelian coast in 2016–2018**

В летне-осенний период 2016–2018 гг. Проведены исследования концентраций, валового запаса взвешенного вещества и потоков рассеянного осадочного вещества (вертикальных и латеральных) в толще воды в трех губах Карельского побережья. Выявлено, что суммарное осаждение взвешенного вещества на дно за сутки в среднем составляло  $4.8 \pm 0.4$  т, из них взвешенного органического вещества –  $1.48 \pm 0.13$  т, в это же время из губ за сутки в среднем выносилось  $275 \pm 10$  кг взвешенного вещества, из них  $165 \pm 15$  кг взвешенных органических веществ.

В настоящее время, основная масса седиментологических исследований морских вод сосредоточена на изучении взвешенного вещества (ВВ) и вертикальных потоков вещества на дно [1]. Благодаря разработанному в ММБИ прибору учета латерального потока осадочного вещества (ПУЛПОВ, [2]), удалось получить натурные данные по количеству ВВ участвующего в латеральном перемещении. Цель исследования – синхронное наблюдение за изменениями концентрации ВВ, вертикальных и латеральных потоков ВВ в губах Карельского побережья, что актуально, в связи с небольшим количеством аналогичных натуральных данных по Арктическим побережьям.

Исследования проводились в 3 губах Карельского побережья с мая по октябрь 2016–2018 гг. Получено 60 проб из малых седиментационных ловушек (МСЛ) и 60 проб из ПУЛПОВ. Проведено 60 определений запаса ВВ и взвешенного органического вещества (ВОВ) в толще воды, для чего было отобрано и обработано 360 проб морской воды.

Постановка МСЛ осуществлялась стандартным способом [3], на глубине моря 13 м. ПУЛПОВ устанавливался в 5 м от дна с экспозицией не более суток [4]. Концентрация ВВ изучалась на 6 горизонтах (0.5, 5, 10, 15, 30 и 50 м), методом фильтрации проб воды через ядерные лавсановые фильтры с размером пор 0.45 мкм [3, 5]. Для определения концентрации ВОВ использовался метод мокрого сжигания [6].

Средняя концентрация ВВ в 2016–2018 гг. составляла  $0.94 \pm 0.06$  мг/л ( $n=180$ ), изменяясь от 0.25 до 2.73 мг/л. Наблюдалось два типа распределения ВВ в толще воды. Первый – с высокой концентрацией ВВ в верхнем пятиметровом и нефелоидном слоях воды, разделенных слоем с низкой концентрацией ВВ. Второй – концентрация ВВ снижалась от

поверхности воды к пятиметровому горизонту, с последующим постепенным ее увеличением до дна.

Средние концентрации ВВ в губах показаны в таблице 1, они имеют достоверные отличия: губа Медвежья –  $0.72 \pm 0.1$  мг/л ( $n=24$ ), губа Чупа –  $0.92 \pm 0.05$  мг/л ( $n=132$ ), губа Летняя –  $1.12 \pm 0.12$  мг/л ( $n=24$ ).

Таблица 1. Средние концентрации ВВ и ВОВ (мг/л)

Губы побережья	2016 г.		2017 г.		2018 г.	
	ВВ	ВОВ	ВВ	ВОВ	ВВ	ВОВ
Чупа	$0.84 \pm 0.08$	$0.401 \pm 0.06$	$0.85 \pm 0.09$	$0.477 \pm 0.11$	$1.14 \pm 0.14$	$0.568 \pm 0.04$
Медвежья	$0.62 \pm 0.05$	$0.365 \pm 0.08$	$0.91 \pm 0.12$	$0.607 \pm 0.13$	$0.72 \pm 0.10$	$0.424 \pm 0.02$
Летняя	$1.13 \pm 0.12$	$0.305 \pm 0.04$	$1.49 \pm 0.18$	$0.384 \pm 0.06$	$0.73 \pm 0.09$	$0.253 \pm 0.02$

Здесь и далее:  $\pm$  – ошибка среднего

Средняя концентрация ВОВ в 2016–2018 гг. составляла  $0.409 \pm 0.025$  мг/л, изменяясь от 0.124 до 0.955 мг/л ( $n=180$ ). В толще воды ВОВ распределялось следующим образом – от поверхности к пятиметровому горизонту концентрация резко увеличивалась, далее до дна постепенно снижалась. В губах Чупа и Медвежья различий в средних концентрациях ВОВ не наблюдалось ( $0.481 \pm 0.061$  и  $0.465 \pm 0.041$  мг/л, соответственно), в губе Летняя она была ниже и составляла  $0.315 \pm 0.031$  мг/л (табл. 1).

Валовой запас ВВ (табл. 2) в толще воды в среднем составлял  $12.1 \pm 0.5$  г·м<sup>-2</sup> ( $n=60$ ), изменяясь от 6.2 до 24.9 г·м<sup>-2</sup>. В течение 3 лет средние значения валового запаса ВВ постепенно увеличивались: 2016 г. –  $11.5 \pm 0.6$  г·м<sup>-2</sup>, 2017 г. –  $12.1 \pm 1.0$  г·м<sup>-2</sup>, 2018 г. –  $12.8 \pm 1.2$  г·м<sup>-2</sup>. Валовой запас ВОВ в среднем –  $3.4 \pm 0.1$  г·м<sup>-2</sup> ( $n=60$ ), не изменялся во времени: 2016 г. –  $3.3 \pm 0.1$  г·м<sup>-2</sup>, 2017 г. –  $3.4 \pm 0.2$  г·м<sup>-2</sup>, 2018 г. –  $3.5 \pm 0.3$  г·м<sup>-2</sup>. Снижение валового запаса ВВ и ВОВ в губе Летняя в 2018 г. (табл. 2), возможно, связано со снижением материкового стока. Так в 2016–2017 гг. летний сток р. Летняя и ручья Летний составлял 0.11–0.12 км<sup>3</sup> (110 суток), в 2018 г. – менее 0.01 км<sup>3</sup> (100 суток), при этом средняя концентрация ВВ в водотоках снизилась с 2.15 до 1.16 мг/л.

Таблица 2. Средние значения валового запаса ВВ и ВОВ (г·м<sup>2</sup>)

Карельское побережье	2016 г.		2017 г.		2018 г.	
	ВВ	ВОВ	ВВ	ВОВ	ВВ	ВОВ
Чупа	$11.3 \pm 0.6$	$3.3 \pm 0.2$	$11.2 \pm 1.2$	$3.2 \pm 0.3$	$13.9 \pm 1.4$	$3.8 \pm 0.3$
Медвежья	$9.5 \pm 0.7$	$3.1 \pm 0.2$	$11.1 \pm 0.9$	$3.6 \pm 0.3$	$9.2 \pm 0.7$	$3.0 \pm 0.2$
Летняя	$17.4 \pm 1.8$	$3.6 \pm 0.4$	$20.2 \pm 1.4$	$4.1 \pm 0.3$	$10.1 \pm 0.3$	$2.1 \pm 0.1$

В целом концентрации ВВ и ВОВ в толще воды в 2016–2018 гг. сопоставимы с ранее установленными концентрациями в районе [7, 8]. В 2016–2018 гг. в 3 губах побережья в толще воды в среднем содержалось  $350 \pm 20$  т ВВ, из них  $90 \pm 12$  т ВОВ.

В 2016–2018 гг. значения вертикального потока ВВ изменялись от 122 до 1369 мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, в среднем  $420 \pm 47$  мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup> ( $n=60$ ), что сопоставимо с ранее установленными значениями для губы Чупа [5, 8, 9]. В течении 3 лет средние значения вертикального потока в районе не менялись (2016 г. –

407±54, 2017 г. – 429±86 и 2018 г. – 422±119, мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, табл. 3).

Наиболее низкие значения вертикального потока наблюдались в губе Медвежья (табл. 3), вероятно, это связано с небольшим запасом рассеянного осадочного вещества в толще воды. В губах Чупа и Летняя средние значения вертикального потока достоверно не отличались (табл. 3), но если в губе Летняя значения вертикального потока не превышали 0.5 г·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, то в отдельных районах губы Чупа они достигали 1 г·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>.

Таблица 3. Средние значения вертикального потока ВВ и ВОВ (мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>)

Карельское побережье	2016 г.		2017 г.		2018 г.	
	ВВ	ВОВ	ВВ	ВОВ	ВВ	ВОВ
Чупа	440±74	146±31	451±119	140±30	467±134	131±32
Медвежья	283±36	102±8	320±84	108±31	278±81	80±17
Летняя	425±55	99±13	479±67	98±15	308±72	66±12

Средние значения вертикального потока ВОВ в 2016–2018 гг. составляли 125±18 мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, изменяясь от 43 до 285 мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>. Максимальный поток ВОВ наблюдался в губе Чупа (табл. 3) в среднем – 139±16 мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, что несколько выше аналогичных значений, установленных ранее [8]. В губах Медвежья и Летняя средние значения потока ВОВ сопоставимы (97±12 и 87±13 мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup> соответственно). В 2016–2017 гг. средние значения вертикального потока ВОВ по 3 губам были одинаковыми (132±21 и 129±22 мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, соответственно). В 2018 г. вертикальный поток ВОВ снизился до 115±22 мг·м<sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>, а в губе Летняя – в 1.5 раза (табл. 3).

Доля ВВ, участвующая в осадконакоплении, от его валового запаса в толще воды составляла: губа Чупа – 3.7±0.2%, губа Медвежья – 3.0±0.1%, губа Летняя – 2.5±0.3%, что меньше ранее наблюдававшихся соотношений этих параметров. Доля ВОВ участвующая в осадконакоплении от его валового запаса составляла: губа Чупа – 3.0±0.4%, губа Медвежья – 2.3±0.4%, губа Летняя – 2.2±0.2%, что больше ранее наблюдавшегося баланса ВОВ [8, 9]. В целом за 2016–2018 гг. доля ВВ и ВОВ, осаждающихся на дно, от их запаса в толще воды были одинаковыми, что ранее не наблюдалось [8, 9].

Полученные данные дают основание оценить суммарное осаждение ВВ на дно в 3 губах побережья за сутки в летне-осенний период 2016–2018 гг. в 4.8±0.4 т, из них ВОВ – 1.48±0.13 т. Основная масса ВВ осаждалась в губе Чупа (2.9–3.1 т·сут<sup>-1</sup>, из них 850–950 кг·сут<sup>-1</sup> ВОВ). Меньше всего ВВ осаждалось в губе Летняя – 280–450 кг·сут<sup>-1</sup>, из них ВОВ 60–90 кг·сут<sup>-1</sup>.

Среднее значение латерального потока составляло 99±8 г ВВ в сутки (г·сут<sup>-1</sup>) (n=60) через вертикальное сечение шириной в 1 м (при средней глубине моря в 13 м), изменяясь от 37 до 199 г·сут<sup>-1</sup>. В 2016–2018 гг. средние значения латерального потока были сопоставимы и составили 92±13, 96±17, 109±15 г·сут<sup>-1</sup> (соответственно). Минимальные значения латерального потока ВВ наблюдались в губе Чупа в среднем 91±11 г·сут<sup>-1</sup>, в губах Медвежья и Летняя средние значения латерального потока ВВ

сопоставимы ( $116\pm 3$  и  $120\pm 14$  г·сут<sup>-1</sup> соответственно). В губе Медвежья в течение 3 лет значения потока не менялись (табл. 4), в губах Чупа и Летняя он увеличивался, но если в губе Летняя различия значений латерального потока ВВ были достоверные, то в губе Чупа достоверных отличий не было (табл. 4).

Таблица 4. Средние значения латерального потока ВВ и ВОВ (г·сут<sup>-1</sup>)

Карельского побережья	2016 г.		2017 г.		2018 г.	
	ВВ	ВОВ	ВВ	ВОВ	ВВ	ВОВ
Чупа	83±19	43±6	88±27	47±4	101±19	56±7
Медвежья	116±3	89±11	117±2	76±9	115±3	62±5
Летняя	96±9	42±3	107±12	47±2	156±29	53±4

Значения латерального потока направленные в открытую акваторию моря всегда больше, чем значения потока направленные вглубь губ. В среднем за сутки, через сечение шириной в один метр, в открытую акваторию моря выносилось  $21\pm 2$  г ВВ. Вынос ВВ (через сечение шириной 1 м) в губах составлял: губа Чупа –  $19\pm 3$ , губа Медвежья –  $26\pm 6$ , губа Летняя –  $28\pm 7$  г·сут<sup>-1</sup>. Максимальный вынос ВВ наблюдался вдоль южных бортов губ Чупа и Медвежья (до  $50$  г·сут<sup>-1</sup>), наименьший – вдоль северного борта губы Чупа – ( $1\text{--}3$  г·сут<sup>-1</sup>).

Среднее значение латерального потока ВОВ за 2016–2018 гг. составляло  $57\pm 6$  г·сут<sup>-1</sup>, не меняясь во времени (2016 г. –  $58\pm 16$ , 2017 г. –  $56\pm 10$ , 2018 г. –  $57\pm 9$  г·сут<sup>-1</sup>). Максимальные значения латерального потока ВОВ наблюдались в губе Медвежья, в губе Чупа и Летняя средние значения латерального потока ВОВ сопоставимы (табл. 4). В среднем за сутки выносилось  $14\pm 2$  г ВОВ. Достоверных отличий в выносе ВОВ между губами не наблюдалось (Чупа –  $11\pm 4$ , Медвежья –  $19\pm 6$  и Летняя –  $13\pm 6$  г·сут<sup>-1</sup>).

В каждой точке наблюдения, масштаб латерального перемещения ВВ и ВОВ больше вертикального потока на дно в сотни раз (в среднем в  $300\pm 40$  ВВ и  $570\pm 80$  ВОВ). При этом количество перемещенного ВВ в сторону открытой акватории моря в среднем в  $65\pm 10$  раз больше количества ВВ аккумулирующегося на дно, а ВОВ в  $140\pm 20$  раз. В среднем, из 3 губ за сутки выносилось  $275\pm 10$  кг ВВ, из них  $165\pm 15$  кг ВОВ.

Подводя итог, отметим главное. Средняя концентрация ВВ в толще воды в 3 губах Карельского побережья в 2016–2018 гг. была типичной для прибрежных вод Белого моря и не отличалась от среднепогодных концентраций ВВ в районе исследования [5, 7, 8]. При этом концентрация ВОВ была достаточно низкой и не превышала  $0.5$  мг/л. В 2016–2018 гг. независимо от изменения валового запаса ВВ в осадконакоплении участвовало  $3\pm 0.2\%$  ВВ и  $2.5\pm 0.1\%$  ВОВ. Если за 3 летне-осенних сезона в 3 губах побережья общее количество аккумулированного ВВ превышало  $1.7$  млн. тонн (из них более  $0.5$  млн. т ВОВ), то в 2016 г. ВВ отложилось  $560\pm 10$  т ( $190$  т ВОВ), в 2017 г. –  $600\pm 13$  т ( $180$  т ВОВ), в 2018 г. –  $570\pm 12$  т ( $160$  т

ВОВ). За это же время общее количество вынесенного из губ ВВ можно оценить в  $100 \pm 6$  т, а ВОВ в  $60 \pm 4$  т. Несмотря на существенные различия в количестве аккумулированного и вынесенного ВВ, внутри губ масштаб латерального перемещения ВВ в среднем  $300 \pm 40$  раз интенсивней вертикального потока ВВ на дно, а ВОВ – в  $570 \pm 80$  раз.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система Белого моря (рассеянный осадочный материал гидросферы, микробные процессы и загрязнения). Т. III. М.: Научный мир, 2013. 668 с.
2. Прибор учета латерального потока осадочного вещества: патент № 173672 РФ: МПК<sup>51</sup> G 01 N 1/10 / М.В. Митяев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН. – № 2017115950; заявл. 04.05.2017; опубл. 05.09.2017, Бюл. № 25 – 8 с.
3. Лукашин В.Н. Седиментация на континентальных склонах под влиянием контурных течений. М.: ГЕОС, 2008. 250 с.
4. Митяев М.В. Прибор учета латерального потока осадочного вещества // Океанология, 2019. Т. 59. № 5. С. 870–874.
5. Митяев М.В., Герасимова М.В. Современные экзогенные процессы. Карельский берег Кандалакшского залива Белого моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. 102 с.
6. Бергер В.Я., Митяев М.В., Сухотин А.А. Опыт использования метода мокрого сжигания для определения концентрации взвешенных органических веществ в морской воде // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 328–332.
7. Бергер В.Я., Митяев М.В. Сезонные и межгодовые изменения концентрации органических веществ в sestone Белого моря // Вопросы промысловой океанологии. 2012. Вып. 9. № 2. С. 123–124.
8. Митяев М.В., Герасимова М.В., Бергер В.Я. Взвесь и вертикальные потоки осадочного вещества в заливах Мурманского берега Баренцева моря и Карельского берега Белого моря // Океанология. 2017. Т. 57. № 2. С. 339–347.
9. Митяев М.В., Герасимова М. В., Дружкова Е.И. Вертикальные Поток осадочного вещества в губе Дальнезеленецкая (Мурманское побережье Баренцева моря) и губе Чупа (Карельское побережье Белого моря) // Океанология. 2012. Т. 52. № 1. С. 121–130.

In the summer-autumn period of 2016–2018 studies of concentrations, gross stocks of suspended matter and fluxes of dispersed sedimentary matter (vertical and lateral) in the water column of three bays of the Karelian coast were conducted. It was revealed that the total sedimentation of suspended matter at the bottom per day in three bays averaged  $4.8 \pm 0.4$  tons, of which suspended organic matter –  $1.48 \pm 0.13$  tons, while on average,  $275 \pm 10$  kg of suspended matter were removed from these bays, of which  $165 \pm 15$  kg of suspended organic matter.

**Овдина Е.А., Страховенко В.Д., Малов В.И., Малов Г.И.**  
(Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск,  
e-mail: ovdina@igm.nsc.ru)

**Влияние локального источника эмиссии газа на геохимию  
и минералогию донных отложений оз. Щучье Базовое (юг  
Западной Сибири)**

**Ovdina E.A., Strakhovenko V.D., Malov V.I., Malov G.I.**  
(V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Novosibirsk)

**The influence of a local gas emission source on the geochemistry  
and mineralogy of the bottom sediments of Lake Shchuchye  
Bazovoe (south of Western Siberia)**

Ключевые слова: эмиссия газа, малые озера, Западная Сибирь

При отборе проб донных отложений озера Щучье Базовое на поверхности, в толще воды и в самом керне замечены пузыри газа, предположительно метана. Изучен геохимический и минеральный состав донных отложений озера Щучье Базовое и близлежащих озер. Значимых различий по составу вод и геохимии донных отложений между озерами не установлено. В минеральном составе отличия прослеживаются в аутигенной составляющей – в донных отложениях озера Щучье Базовое не установлен пирит, в отличие от других озер. Предположительно с этим связана жизнедеятельность метанобразующих бактерий.

Одной из причин глобального изменения климата принято считать возрастание содержания парниковых газов в атмосфере Земли. Наибольшее влияние имеют диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) и метан (CH<sub>4</sub>). Изучение эмиссии метана в Мировом океане ведется на протяжении многих лет многими исследователями, при этом континентальные малые озера остаются «за скобками» и пока недостаточно изучены, хотя они занимают около 2% площадей суши. При этом существуют регионы, где озера могут составлять 10–20% от общей площади, а озерный газообмен становится важнейшим фактором углеродного цикла.

Подтаежная зона занимает 63% процента территории Западной Сибири, она расположена между 66 и 56 параллелями северной широты. Исследуемая часть подтаежной зоны располагается на территории Томской области, близ слияния рек Обь и Томь. С севера ограничена рекой Чулым.

Все озера по своему типу остаточные и расположены на поверхностях поймы, первой, второй и третьей надпойменных террас. Болота в основном низинного типа и распространены близ верхних закраин речных террас.

Донные отложения малых озер юга Западной Сибири являются органоминеральными илами (сапропелями) и минеральными илами, различающимися по соотношению органической и минеральной

составляющей (зольности) и химическому составу. Особенности генезиса и разнообразный состав обуславливают многообразие классификаций и типологических характеристик органоминеральных илов (сапропелей). В зависимости от зольности сапропели подразделяются на типы: органогенный (до 30%); органоминеральный (30–50%); минерально-органогенный (50–70%); минерализованный (70–85%). Донные отложения с зольностью >85% относятся к минеральным илам [1–4].

При отборе керн донных отложений на оз. Щучье Базовое наблюдались пузыри газа (метан?) на поверхности и в толще воды. При разборе керн донных отложений наблюдался выход пузырей газа без запаха непосредственно из снаряда. Запах сероводорода отсутствовал. Однако при отборе проб донных отложений в других близко расположенных озерах такого явления не происходило.

*Объектом исследования* являются донные отложения оз. Щучье Базовое и близлежащих озера Лайское-1, Лайское-3.

*Цель работы* – выявить влияние возможного локального источника эмиссии газа (метана?) на геохимию и минералогию донных отложений оз. Щучье Базовое в сравнении с близлежащими озерами.

Авторы использовали материалы полевых и аналитических работ 2019 г. Пробоотбор производился с катамарана цилиндрическим пробоотборником с вакуумным затвором (диаметр 82 мм, длина 95 см), разработанным НПО «Гайфун», Россия. Разбор керн донных отложений происходил с интервалом 3–5 см на глубину 50–120 см. Физико-химические переменные фиксировались *in situ* (рН, Eh, общая минерализация воды, содержание O<sub>2</sub>).

Исследования химического состава образцов донных отложений проводились в Центре коллективного использования научным оборудованием для многоэлементных и изотопных исследований СО РАН и Лаборатории геохимии благородных и редких элементов ИГМ СО РАН, г. Новосибирск. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием методов пламенной и электротермической атомизации в пробах определялись значения концентраций микро- и макроэлементов на спектрометре «Solaar M6» (Thermo Electron, Великобритания), снабженном зеемановским и дейтериевым корректором фона. Рентгеноспектральным флуоресцентным анализом на спектрометре «ARL-9900-XP» (Applied Research Laboratories, США) – макроэлементный состав. С помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «MIRA 3 TESCAN» (Tescan, Чехия), снабженного энергетическим спектрометром «OXFORD» (Oxford Instruments, Великобритания) происходило изучение морфологии и фазового состава образцов.

Озера Щучье Базовое, Лайское-1, и Лайское-3 находятся в радиусе 10 км друг от друга, относятся к одной озерной системе. Озерная система – компактно расположенные озера в одинаковых ландшафтно-климатических и геолого-геохимических условиях. Это дает представление, как об общих

особенностях минерально-геохимического состава в пределах ландшафтных зон, озерных систем, и каждого отдельно взятого озера, в частности.

Озеро Щучье Базовое относится к минерально-органогенному типу, озера Лайское-1, Лайское-3 к органоминеральному. По физико-химическим свойствам воды озер относятся к ультрапресным кислым. По соотношению главных ионов значимых различий в составе вод нет (табл. 1). Содержание Fe (%) в воде оз. Щучье Базовое составляет 0.4; в воде оз. Лайское-1 – 0.2, а в воде оз. Лайское-3 – 0.3.

Таблица 1. Физико-химические свойства вод озер Щучье Базовое, Лайское-1, Лайское-3.

Озеро	Состав воды	pH
Щучье Базовое	сульфатно-гидрокарбонатная магниево-натриевая, ультрапресная	5.61
Лайское-1	сульфатно-гидрокарбонатная натриевая, ультрапресная	4.97
Лайское-3	сульфатно-гидрокарбонатная магниево-натриевая, ультрапресная	5.04

Сопоставление средневзвешенных концентраций элементов в донных отложениях озер с составом верхней континентальной коры [5] показало практически полную сходимость графиков распределения. Наблюдается резкое обеднение Mn, Sr и Ca во всех озерах (рис. 1). Содержание Fe в донных отложениях оз. Щучье Базовое составляет 2.2; в оз. Лайское-1 – 1.5, а в оз. Лайское-3 – 0.7.

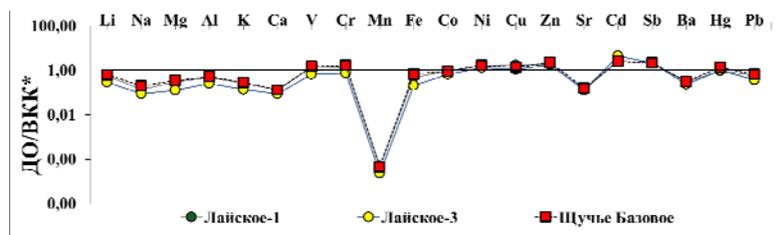


Рис. 1. Мультиэлементный спектр усредненных значений изученных элементов для донных отложений рассмотренных малых озер, нормированных к значениям концентраций ВКК по [5].

Обеднение карбонатфильными элементами связано с низким содержанием (практически полным отсутствием) карбонатов в донных отложениях на фоне терригенной составляющей, представленной преимущественно кварцем, полевыми шпатами, слюдами, а также биогенной составляющей, представленной диатомовыми водорослями ( $\text{SiO}_{2\text{bio}}$ ), о чем говорит большое гало на дифрактограмме (рис. 2).

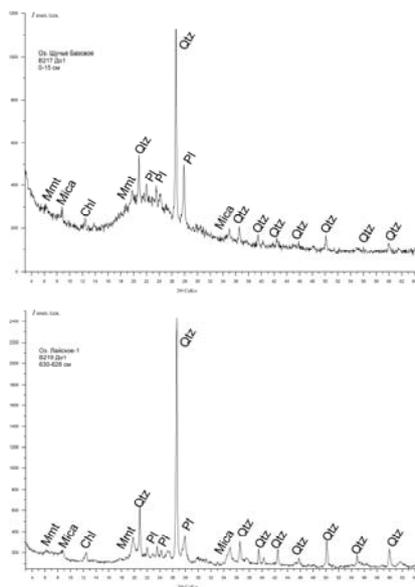


Рис. 2. Дифрактограмма образцов донных отложений оз. Щучье Базовое и Лайское-1.

В аутигенной составляющей есть некоторые различия – в донных отложениях оз. Щучье Базовое не выявлен фрамбоидальный пирит, в отличие от других озер (рис. 3).

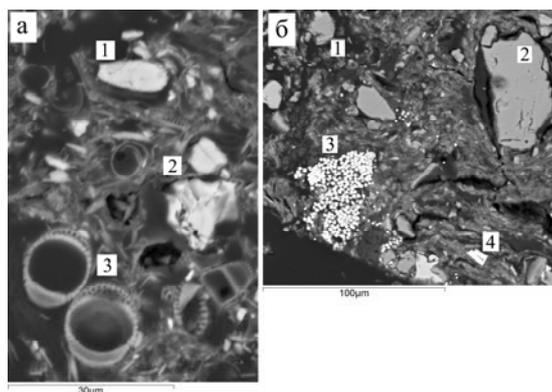


Рис. 3. Микрофотографии донных отложений оз. Щучье Базовое (а): 1 – альбит, 2 – кварц, 3 – диатомовые водоросли; оз. Лайское-1 (б): 1 – калиевый полевой шпат, 2 – альбит, 3 – пирит, 4 – ильменит. Фото выполнено с помощью СЭМ Mira 3 Tescan.

Значимых различий в геохимическом составе вод и донных отложений рассмотренных озер не было выявлено. По зольности озера относятся к разным типам. Минеральный состав терригенной составляющей очень схож между озерами, а аутигенная часть различается: в донных отложениях оз. Щучье Базовое не выявлен фрамбоидальный пирит, в отличие от других озер, что не соотносится с данными по содержанию Fe в воде и донных отложениях озер: в воде и донных отложениях оз. Щучье Базовое содержания выше. Таким образом, выход газа (метана?) в оз. Щучье Базовое имеет влияние на минеральный состав донных отложений. Можно предположить, что в процессе жизнедеятельности метанобразующие бактерии подавляют сульфатредуцирующие бактерии и в связи с этим, пирит не образуется в донных отложениях оз. Щучье Базовое.

Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сукачев В.Н., Барышников И.А., Бородин Т.П. Сапропель и его значение в сельском хозяйстве. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1943. 54 с.
2. Кордэ Н.В. Биостратиграфия и типология русских сапропелей. М.: Изд-во АН СССР, 1969. 219 с.
3. Штин С.М. Озерные сапропели и основы их комплексного освоения / Под ред. И.М. Ялганца. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 373 с.
4. Страховенко В.Д., Росляков Н.А., Сысо А.И., Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Таран О.П., Пузанов А.В. Геохимическая характеристика сапропелей Новосибирской области // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 3. С. 336–344. <https://doi.org/10.7868/S0321059616030160>
5. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. V. 59. № 7. P. 1217–1232.

When sampling the bottom sediments of Lake Shchuchye Bazovoe, gas bubbles, presumably methane, were noticed on the surface, in the water column and in the core itself. The geochemical and mineral composition of the bottom sediments of Lake Shchuchye Bazovoe and nearby lakes has been studied. There are no significant differences in the composition of waters and geochemistry of bottom sediments between the lakes. In the mineral composition, the differences can be traced in the authigenic component – pyrite is not established in the bottom sediments of Lake Shchuchye Basnoe, unlike other lakes. Presumably, the vital activity of methane-forming bacteria is connected with this.

**Савенко А.В.**

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,  
e-mail: Alla\_Savenko@rambler.ru)

**Кажущаяся (условная) неконсервативность поведения  
кальция и гидрокарбонатов в устьях рек Черноморского  
побережья России**

**Savenko A.V.**

(Moscow M.V. Lomonosov State University, Moscow)

**Apparent (conditional) non-conservatism of the behavior of  
calcium and hydrocarbonates in the river mouths of the Black  
Sea coast of Russia**

Ключевые слова: устья рек, растворенные формы, консервативное и неконсервативное поведение, Черноморское побережье России

По данным натуральных наблюдений 2006–2014 гг. в устьях 7 средних и малых рек Черноморского побережья России установлено условно неконсервативное, т.е. фактически соответствующее консервативному поведение кальция и гидрокарбонатов, обусловленное вкладом рассредоточенного подземного стока в их поступление в зону смешения речных и морских вод, при строго консервативном поведении других главных ионов (Na, K, Mg и SO<sub>4</sub>).

Результаты натуральных наблюдений позволяют выделить 2 типа поведения растворенных компонентов в устьях рек: консервативное и неконсервативное [1, 2]. При консервативном поведении концентрация компонента  $i$  линейно зависит от величины хлорности (солености):

$$[i] = a + b[Cl], \quad (1)$$

как это должно быть при смешении двух водных масс (речной и морской), не осложненном процессами, протекающими в водной толще или на границах вода–воздух и вода–дно. При неконсервативном поведении линия фактического распределения концентраций компонента  $i$  располагается либо выше, либо ниже линии консервативного смешения, что интерпретируется как следствие процессов, приводящих к поступлению или удалению соответствующего компонента.

Вместе с тем полученная по данным натуральных наблюдений форма зависимости (1) не является однозначным доказательством консервативности или неконсервативности поведения изучаемых компонентов.

Во-первых, при высоких абсолютных концентрациях компонентов на речной или морской границах зоны смешения их дополнительное поступление или удаление может не обнаруживаться даже современными аналитическими методами, если изменение концентраций ниже точности измерений. В частности, для элементов, содержание растворенных форм которых в речных водах в несколько раз ниже такового в морской воде (например, бор

и фтор), адсорбция на речных взвешях резко возрастает при контакте с осолоненными водами, и при формально консервативном поведении в зоне смешения речных и морских вод сорбционное удаление играет важную роль в геохимическом балансе этих элементов в океане. Данный тип поведения назван нами квазиконсервативным [3].

Во-вторых, линейность зависимости (1) для консервативных компонентов строго соблюдается только при смешении двух водных масс, тогда как в случае нахождения в зоне смешения более двух типов вод она нарушается. Разделение смешивающихся вод на разные модификации может происходить вследствие неодинаковой трансформации материкового стока в проточных и застойных районах устьевых взморий или интенсивной разгрузки подземных вод в прибрежной морской акватории. В результате возникает кажущаяся (условная) неконсервативность распределения компонентов, обусловленная пространственной неоднородностью гидродинамической структуры зоны смешения речных и морских вод и выражающаяся в постоянных или периодических отклонениях зависимостей (1) от линейного вида.

Таблица. Типы и параметры распределения главных ионов в устьях средних и малых рек Черноморского побережья России по данным 2006–2014 гг.

Компонент <i>i</i>	Устье реки	Поведение	Параметры зависимостей (1) или избыток		
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
Na	Все устья	Конс.	9.83	0.560	0.999
K	То же	Конс.	2.05	0.0203	0.999
Mg	«	Конс.	4.16	0.0671	0.999
Ca	Анапка	Условно неконс.	Избыток (до 7% при [Cl] = 1.0 г/л)		
	Ашамба 07.2010, 01.2011	Конс.	70.8	0.0103	0.998
	То же, 08.2010	«	84.3	0.0090	0.999
	Мезыбь	«	60.8	0.0100	0.999
	Хотецай	«	73.3	0.0095	0.997
	Вулан	Условно неконс.	Избыток (до 30% при [Cl] = 3.0–5.0 г/л)		
	Кудепста	Конс.	33.1	0.0129	0.999
Mзымта	«	22.8	0.0138	0.999	
SO <sub>4</sub>	Все устья	Конс.	40.1	0.142	0.999
HCO <sub>3</sub>	Анапка	Условно неконс.	Избыток (до 9% при [Cl] = 1.0–2.5 г/л)		
	Ашамба 07.2010	«	Избыток (до 21% при [Cl] = 4.0 г/л)		
	То же, 08.2010, 01.2011	«	Избыток (до 29% при [Cl] = 2.5–3.5 г/л)		
	Мезыбь	«	Избыток (до 9% при [Cl] = 4.0 г/л)		
	Хотецай	«	Избыток (до 21% при [Cl] = 4.0 г/л)		
	Вулан	«	Избыток (до 67% при [Cl] = 3.0–4.0 г/л)		
	Кудепста	«	Избыток (до 10% при [Cl] = 2.0–3.0 г/л)		
Mзымта	Конс.	72.9	0.0126	0.992	

Так, выполненный нами анализ распределения компонентов основного

солевого состава в устьевых областях 7 средних и малых рек Черноморского побережья России (Анапка, Ашамба, Мезыбь, Хотецай, Вулан, Кудепста, Мзымта) показал наличие отклонений наблюдаемых концентраций кальция и гидрокарбонатов от линии консервативного смешения в некоторых устьях при консервативном поведении других главных ионов (таблица, рисунок).

Поведение растворенного кальция, миграция которого осуществляется в условиях значительных вариаций содержания в речных и морских водах, в устьях большинства изученных рек относится к консервативному типу, однако в зонах смешения Анапки и Вулана превышение его концентраций относительно расчетных значений по уравнению (1) достигает соответственно 7 и 11 мг/л, или 7 и 30% выноса с речным стоком. Дополнительное поступление гидрокарбонатов более значимо (до 9–67% их содержания в речном стоке с максимумом также для зоны смешения Вулана) и проявляется в устьях всех рек, кроме Мзымты – самой многоводной реки региона с наименьшей величиной щелочности [4].

Поскольку хемогенное образование карбоната кальция, распространенное на устьевых взморьях южных рек России [5, 6] и, в частности, р. Урал [7], приводит к синхронному удалению компонентов карбонатной системы из раствора, единственной возможной причиной отмеченного избытка кальция и гидрокарбонатов в устьях черноморских рек может быть присутствие в зоне смешения более двух типов вод, в результате чего возникает нарушение линейности зависимости (1) при фактически консервативном поведении компонентов, т.е. при отсутствии их вовлечения во внутриводоемные процессы. Третью, дополнительную водную массу на Черноморском побережье, скорее всего, образуют расположенные на материковом склоне рассредоточенные выходы гидрокарбонатно-кальциевых подземных вод, вносящих существенный вклад в сток растворенных веществ. В устьях Волги, Кубани и Дона также установлена кажущаяся (условная) неконсервативность поведения кальция и связанного с ним стронция, выражающаяся в периодических отклонениях зависимостей (1) от линейного вида, однако в этом случае разделение смешивающихся вод на разные модификации происходит вследствие неодинаковой трансформации материкового стока в проточных и застойных районах устьевых взморий [8, 9].

Таким образом, представленные данные позволяют выделить особый тип поведения растворенных компонентов в устьевых областях рек – условно неконсервативный, при котором наблюдаются постоянные или периодические отклонения их распределения от линейных уравнений связи с содержанием хлоридов, обусловленные пространственной неоднородностью гидродинамической структуры зоны смешения речных и морских вод при фактически консервативном поведении, т.е. отсутствии участия во внутриводоемных процессах и массообмене на границах вода–воздух и вода–дно.

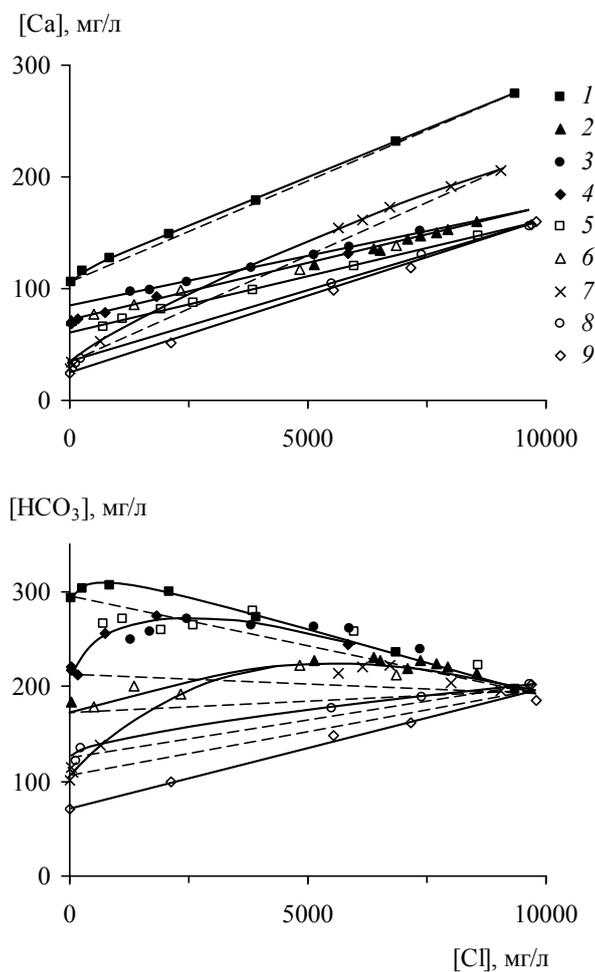


Рисунок. Зависимость концентраций растворенных форм кальция и гидрокарбонатов от содержания хлоридов в устьях рек Черноморского побережья России. 1 – Анапка, май 2014 г.; 2 – Ашамба, июль 2010 г.; 3 – то же, август 2010 г.; 4 – то же, январь 2011 г.; 5 – Мезыбь, сентябрь 2010 г.; 6 – Хотецай, сентябрь 2010 г.; 7 – Вулан, июль 2006 г.; 8 – Кудепста, май 2011 г.; 9 – Мзымта, май 2011 г. Пунктиром обозначены расчетные линии консервативного смешения двух водных масс.

Автор выражает признательность А.В. Поляковой, М.В. Кривушину, М.Н. Кожину и А.А. Полухину за отбор проб воды для химических анализов. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 20–05–00802).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liss P.S. Conservative and non-conservative behaviour of dissolved constituents during estuarine mixing // *Estuarine Chemistry*. L.: Acad. Press, 1976. P. 93–130.
2. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М., 2012. 452 с.
3. Савенко А.В. Геохимия стронция, фтора и бора в зоне смешения речных и морских вод. М.: ГЕОС, 2003. 170 с.
4. Маккавеев П.Н., Завьялов П.О. Сток малых и средних рек российского побережья Черного моря и его влияние на характеристики вод // Система Черного моря. Гл. 3. Геохимия речного стока в Черное море. Раздел 3.2. М.: Научный мир, 2018. С. 287–322.
5. Хрусталеv Ю.П. Закономерности современного осадконакопления в Северном Каспии. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1978. 208 с.
6. Хрусталеv Ю.П. Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны. Л.: Наука, 1989. 261 с.
7. Савенко А.В., Покровский О.С. Трансформация стока растворенных веществ в устье р. Урал // *Геохимия*. 2020. Т. 65. № 8. С. 811–822.
8. Савенко А.В., Цыцарин А.Г., Повалишникова Е.С. Поведение стронция, фтора и бора в устьевых областях Кубани и Дона // *Водные ресурсы*. 2002. Т. 29. № 6. С. 732–742.
9. Савенко А.В., Бреховских В.Ф., Покровский О.С. Миграция растворенных микроэлементов в зоне смешения вод Волги и Каспийского моря (по многолетним данным) // *Геохимия*. 2014. № 7. С. 590–604.

According to the data of field observations in 2006–2014 at the mouths of 7 medium and small rivers of the Black Sea coast of Russia, conditionally non-conservative, i.e. actually corresponding to the conservative behavior of calcium and hydrocarbonates, due to the contribution of dispersed groundwater runoff to their inflow into the mixing zone of river and sea waters, was established with strictly conservative behavior of other major ions (Na, K, Mg, and SO<sub>4</sub>).

**Савенко А.В.<sup>1</sup>, Покровский О.С.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: Alla\_Savenko@rambler.ru; <sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, г. Архангельск, e-mail: oleg.pokrovski@get.omp.eu)

**Закономерности миграции главных ионов и растворенных микроэлементов в устье р. Савушкина (о. Парамушир, Северные Курилы)**

**Savenko A.V.<sup>1</sup>, Pokrovsky O.S.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Moscow M.V. Lomonosov State University, Moscow; <sup>2</sup>Federal Research Centre of Complex Studying of the Arctic Region RAS, Arkhangelsk)

**Regularities of migration of the major ions and dissolved trace elements in the mouth of the Savushkina River (Paramushir Island, Northern Kuriles)**

Ключевые слова: устья рек, растворенные формы, консервативное и неконсервативное поведение, р. Савушкина, о. Парамушир, Северные Курилы

В устье р. Савушкина, впадающей в Охотское море с о. Парамушир, установлено консервативное поведение всех главных ионов и ряда растворенных микроэлементов (B, F, Rb, Cs, Sr, Mn, Cu, Cd, V, Cr, Ga, As, Mo, U), а также слабое потребление водной биотой кремния (не более 3% поступления с речным стоком), сорбция на терригенных взвешях растворенного бария (до 45% его содержания в речных водах) и удаление до 27, 33 и 46±11% стока условно растворенных форм титана, железа и редкоземельных элементов в процессе коагуляции и флокуляции коллоидов.

Гидрохимическая изученность устьевых областей рек Дальнего Востока, включая растворенные компоненты, в целом соответствует мировому уровню [1–10 и др.], однако для выявления общих закономерностей и региональных различий трансформации химического состава речного стока при смешении с морской водой необходимо расширение круга изучаемых объектов и числа определяемых элементов.

Материалом для настоящего исследования послужили пробы воды, отобранные на 8 станциях по разрезу вдоль зоны смешения р. Савушкина – типичной для северокурильских островов реки длиной 12 км с бездельтовым открытым устьем, берущей начало на северо-восточном склоне хребта Вернадского острова Парамушир и впадающей в Охотское море. Полевые работы проводили после прохождения основной волны половодья 4 июля 2009 г. в фазу прилива. Пробы воды, взятые пластиковой емкостью с глубины 0.5 м, сразу подготавливали для химических анализов: фильтровали через плотный бумажный фильтр для определения содержания главных ионов и фтора или через мембранный фильтр 0.45 мкм в полипропиленовые флаконы с предварительно добавленными туда аликвотами 5 N азотной кислоты марки ос.ч. (0.25 мл на 10 мл пробы) для анализа микроэлементного состава.

Аналитические определения выполняли методами объемного титрования ( $\text{Cl}$ ,  $\text{HCO}_3$ ), капиллярного электрофореза ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{SO}_4$ ), ионометрии ( $\text{F}$ ) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (микроэлементы), причем в последнем случае высокоминерализованные пробы разбавляли 2% азотной кислотой марки ос.ч. так, чтобы содержание растворенных веществ составляло 300–500 мг/л. Погрешность определений не превышала  $\pm 3\%$ .

Полученные результаты показали, что в устье р. Савушкина наблюдается консервативное распределение концентраций всех главных ионов ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ) и ряда растворенных микроэлементов ( $\text{B}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Cs}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{U}$ ), описываемое линейными зависимостями от содержания хлоридов:

$$[i, \text{мг/л}] = a + b[\text{Cl}, \text{мг/л}], \quad (1)$$

параметры которых приведены в таблице. При этом следует отметить практически точную экстраполяцию по уравнению (1) на хлорность нормальной морской воды (19800 мг/л), что иллюстрирует постоянство относительного химического состава морских и океанских вод.

В устье р. Серебрянка бассейна Японского моря (Сихотэ-Алинский заповедник) в июле 2009 г. также установлено консервативное поведение главных ионов и сходного набора микроэлементов ( $\text{B}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Cs}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{U}$ ) [9]; в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) во время летнего паводка 2016 г. – консервативное распределение щелочности [10]. Вместе с тем в эстуарии р. Раздольная Амурского залива Японского моря летом 2000 и 2001 гг. отмечалось удаление из раствора гидрокарбонатов и кальция [7].

Изменение миграционных потоков растворенных микроэлементов в зоне смешения вод р. Савушкина с морской водой происходит под влиянием трех групп процессов: продукции–деструкции органического вещества (кремний), трансформации состава поглощенного комплекса речных взвесей (барий), а также коагуляции и флокуляции органических и органоминеральных коллоидов (титан, железо, редкоземельные элементы).

Для кремния характерна незначительная ассимиляция водной биотой, не превышающая 3% его поступления с речным стоком (12.5 мг/л). Снижение выноса растворенного бария в результате сорбции на терригенном материале достигает 45% его содержания в речных водах (4.5 мкг/л). Процессы коагуляции и флокуляции коллоидов обеспечивают удаление до 27 и 33% стока условно растворенных форм титана и железа (2.3 и 109 мкг/л) и до  $46 \pm 11\%$  – редкоземельных элементов (таблица, рис. 1, 2).

Поведение биогенных элементов в устьях рек Дальнего Востока зависит, прежде всего, от интенсивности продукционно-деструкционных процессов. В устьях рек Серебрянка, Уда и Усалгин, также как и в устье р. Савушкина, биологическое потребление даже в вегетационный период невелико (удаление кремния не более 3% его содержания в речной водной массе, дополнительное поступление в раствор минерального фосфора) [9, 10], тогда как в эстуарии р. Раздольной оно приводит к извлечению растворенных фосфатов, нитратов

и силикатов из поверхностных вод на протяжении всей зоны смешения практически до аналитического нуля в области высокой солености [8].

Таблица. Типы и параметры распределения главных ионов и растворенных микроэлементов в устье р. Савушкина, о. Парамушир

Компо- нент <i>i</i>	Поведение	Параметры зависимостей (1) или максимальные величины дополнительного удаления			Содержание в нормальной морской воде, мг/л	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	расчет по (1)	[11*, 12**]
Главные ионы						
Na	Конс.	4.28	0.552	0.999	10940	11010
K	Конс.	1.29	0.0204	0.999	405	408
Mg	Конс.	6.57	0.0677	0.999	1350	1330
Ca	Конс.	13.3	0.0204	0.999	417	421
SO <sub>4</sub>	Конс.	43.1	0.139	0.999	2800	2780
HCO <sub>3</sub>	Конс.	25.2	6.05×10 <sup>-3</sup>	0.999	145	145
Микроэлементы						
Si	Неконс.	Потери (до 3% при [Cl] = 5–10 г/л)			–	2.80
Rb	Конс.	5.3×10 <sup>-3</sup>	5.89×10 <sup>-6</sup>	0.999	0.122	0.120
Cs	Конс.	9.1×10 <sup>-6</sup>	1.37×10 <sup>-8</sup>	0.999	2.8×10 <sup>-4</sup>	2.9×10 <sup>-4</sup>
Sr	Конс.	0.046	4.04×10 <sup>-4</sup>	0.999	8.05	7.93
Ba	Неконс.	Потери (до 45% при [Cl] = 3.2 г/л)			–	0.015
B	Конс.	0.012	2.23×10 <sup>-4</sup>	0.999	4.43	4.50
F	Конс.	0.064	6.31×10 <sup>-5</sup>	0.999	1.31	1.33
V	Конс.	2.3×10 <sup>-3</sup>	–4.49×10 <sup>-8</sup>	0.995	1.4×10 <sup>-3</sup>	1.5×10 <sup>-3</sup>
Cr	Конс.	9.1×10 <sup>-4</sup>	–3.39×10 <sup>-8</sup>	0.997	2.4×10 <sup>-4</sup>	2.1×10 <sup>-4</sup>
Ga	Конс.	4.8×10 <sup>-5</sup>	–2.41×10 <sup>-9</sup>	0.997	2.6×10 <sup>-7</sup>	1.5×10 <sup>-6</sup>
As	Конс.	2.0×10 <sup>-4</sup>	8.02×10 <sup>-8</sup>	0.996	1.8×10 <sup>-3</sup>	1.7×10 <sup>-3</sup>
Mo	Конс.	1.9×10 <sup>-4</sup>	4.91×10 <sup>-7</sup>	0.998	0.010	0.010
U	Конс.	2.1×10 <sup>-5</sup>	1.50×10 <sup>-7</sup>	0.999	3.0×10 <sup>-3</sup>	3.0×10 <sup>-3</sup>
Ti	Неконс.	Потери (до 27% при [Cl] = 7–9 г/л)			–	7.7×10 <sup>-6</sup>
Mn	Конс.	0.034	–1.71×10 <sup>-6</sup>	0.998	1.2×10 <sup>-4</sup>	1.6×10 <sup>-5</sup>
Fe	Неконс.	Потери (до 33% при [Cl] = 6–7 г/л)			–	2.8×10 <sup>-5</sup>
Cu	Конс.	2.7×10 <sup>-3</sup>	–1.19×10 <sup>-7</sup>	0.992	3.4×10 <sup>-4</sup>	2.5×10 <sup>-4</sup>
Cd	Конс.	1.6×10 <sup>-4</sup>	–6.04×10 <sup>-9</sup>	0.996	4.0×10 <sup>-5</sup>	6.8×10 <sup>-5</sup>
La	Неконс.	Потери (до 65% при [Cl] = 3–4 г/л)			–	4.2×10 <sup>-6</sup>
Ce	Неконс.	Потери (до 67% при [Cl] = 3–4 г/л)			–	4.2×10 <sup>-6</sup>
Pr	Неконс.	Потери (до 45% при [Cl] = 4–6 г/л)			–	5.6×10 <sup>-7</sup>
Nd	Неконс.	Потери (до 53% при [Cl] = 4–5 г/л)			–	2.9×10 <sup>-6</sup>
Sm	Неконс.	Потери (до 48% при [Cl] = 4–6 г/л)			–	6.0×10 <sup>-7</sup>
Eu	Неконс.	Потери (до 33% при [Cl] = 6–7 г/л)			–	1.4×10 <sup>-6</sup>
Gd	Неконс.	Потери (до 48% при [Cl] = 4–5 г/л)			–	9.4×10 <sup>-7</sup>
Dy	Неконс.	Потери (до 46% при [Cl] = 6–7 г/л)			–	9.7×10 <sup>-7</sup>
Ho	Неконс.	Потери (до 38% при [Cl] = 4–5 г/л)			–	3.1×10 <sup>-7</sup>
Er	Неконс.	Потери (до 41% при [Cl] = 4–5 г/л)			–	8.3×10 <sup>-7</sup>
Tm	Неконс.	Потери (до 32% при [Cl] = 4–6 г/л)			–	1.4×10 <sup>-7</sup>
Yb	Неконс.	Потери (до 40% при [Cl] = 5–6 г/л)			–	8.6×10 <sup>-7</sup>
Lu	Неконс.	Потери (до 41% при [Cl] = 4–6 г/л)			–	1.7×10 <sup>-7</sup>

Примечание: \* главные ионы, Sr и F при солености 35‰; \*\* микроэлементы.

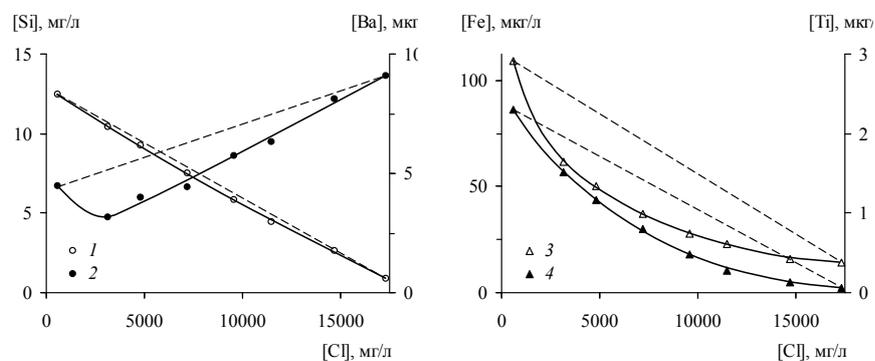


Рис. 1. Зависимости концентраций растворенных форм кремния (1), бария (2), железа (3) и титана (4) от содержания хлоридов в устье р. Савушкина, о. Парамушир. Здесь и на рис. 2 пунктиром обозначены расчетные линии консервативного смешения.

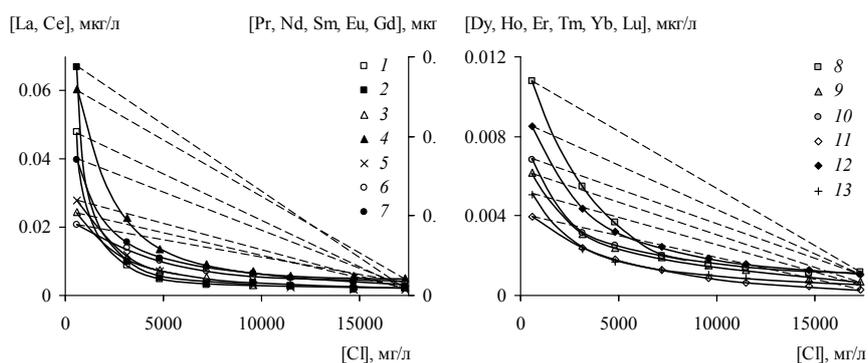


Рис. 2. Зависимости концентраций растворенных форм редкоземельных элементов (La – 1, Ce – 2, Pr – 3, Nd – 4, Sm – 5, Eu – 6, Gd – 7, Dy – 8, Ho – 9, Er – 10, Tm – 11, Yb – 4, Lu – 13) от содержания хлоридов в устье р. Савушкина, о. Парамушир.

Закономерности химической трансформации стока микроэлементов имеют общие черты для устьев рек региона. Аналогично устью р. Савушкина, в зоне смешения р. Серебрянка на терригенных взвесах сорбируется примерно половина поступающего с речными водами бария (до 46% при хлорности 3.5 г/л), а потери иттрия и редкоземельных элементов в результате извлечения из раствора в составе коллоидной фракции достигают 53–68% [9]. Удаление растворенных железа и марганца, интенсивность которого изменяется в разные периоды времени от 0 до 75%, наблюдалось в устьях рек Рудной и

Зеркальной Восточного Сихотэ-Алиня [1] и Раздольной [2].

Авторы выражают признательность М.В. Кривушину за отбор проб воды для химических анализов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 20–05–00802).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В., Чудаева В.А., Шулькин В.М. Поведение металлов в устьевых зонах двух малых рек Восточного Сихотэ-Алиня // Литология и полезные ископаемые. 1983. № 2. С. 99–109.
2. Shumilin E.N., Anikiev V.V., Goryachev N.A. et al. Estimation of the role of biogeochemical barriers in trace metal migration in the river–sea system // Marine Chem. 1993. V. 43. № 1–4. P. 217–224.
3. Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. Т. 1. Владивосток: Дальнаука, 2001. 201 с.
4. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 392 с.
5. Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. Владивосток: Дальнаука, 2004. 279 с.
6. Шулькин В.М. Тяжелые металлы в речных и прибрежно-морских экосистемах. Дисс. ... докт. геогр. наук. Владивосток: Тихоокеан. ин-т географии ДВО РАН, 2007. 289 с.
7. Состояние морских экосистем, находящихся под влиянием речного стока. Владивосток: Дальнаука, 2005. 261 с.
8. Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. М.: ГЕОС, 2008. 460 с.
9. Савенко А.В., Покровский О.С. Миграция растворенных веществ в устье р. Серебрянки бассейна Японского моря (Сихотэ-Алинский заповедник) // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 6. С. 579–584.
10. Семкин П.Ю., Тищенко П.П., Тищенко П.Я. и др. Характеристика продукционно-деструкционных процессов в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) в период летнего паводка // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 2 (210). С. 88–96.
11. Попов Н.И., Федоров К.Н., Орлов В.М. Морская вода. М.: Наука, 1979. 327 с.
12. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М., 2012. 452 с.

In the mouth of the Savushkina River, which flows into the Sea of Okhotsk from the Paramushir Island, the conservative behavior of all the major ions and a number of dissolved microelements (B, F, Rb, Cs, Sr, Mn, Cu, Cd, V, Cr, Ga, As, Mo, and U) was established, as well as a weak consumption of silicon by aquatic biota (no more than 3% of the input with river runoff), sorption on terrigenous suspensions of dissolved barium (up to 45% of its content in river waters), and removal of up to 27, 33, and  $46 \pm 11\%$  of the runoff of conditionally dissolved forms of titanium, iron, and rare earth elements in the process of coagulation and flocculation of colloids were observed.

**Сапрунова И.А., Таловская А.В.**

(Томский политехнический университет, инженерная школа природных ресурсов, отделение геологии, г. Томск, email: insapr02@gmail.com)

**Минерально-вещественный состав уличной пыли как индикатор состояния окружающей среды (на примере города Междуреченск, Кемеровская область)**

**Saprunova I.A., Talovskaya A.V.**

(Tomsk Polytechnic University, Engineering School of Natural Resources, Department of Geology, Tomsk)

**Mineral-material composition of street dust as an indicator of the state of the environment (on the example of the city of Mezhdurechensk, Kemerovo region)**

Ключевые слова: уличная пыль, природная среда, минерально-вещественный состав, загрязнение, угледобывающие предприятия.

Выполнены исследования минерально-вещественного состава уличной пыли на территории г. Междуреченск (Кемеровская обл.), подвергаемого воздействию угледобывающих предприятий. В пробах определены типы природных и техногенных образований, их соотношения, осуществлялось комплексом современных методов анализа. Выявлено, что в пробах доля природных частиц (60–75%) преобладает над долей техногенных образований (25–40%). Наиболее высокая доля техногенных частиц приходится на угольную пыль и угольные частицы (25–40%), которые могут переноситься от близко расположенных к городу угольных предприятий, а также за счет ветровой эрозии загрязненных почвогрунтов города. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00675 А.

Загрязнение атмосферного воздуха представляет собой один из самых опасных экологических рисков. Загрязнение воздуха промышленными выбросами наносит вред здоровью и благополучию человека, снижает его качество жизни. Уличная или дорожная пыль – компонент природной среды, который с точки зрения экогеохимии можно расценивать как индикатор геохимических аномалий на городской территории в теплое время года [1]. Атмосферный воздух городов, градообразующими предприятиями которых служит угольная промышленность, подвержены повышенному уровню запыленности и загрязнений. Одним из ярких примеров таких городов является город Междуреченск, расположенный вблизи угольного бассейна в Кемеровской области (Кузбасс). В ходе исследований при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00675 проводится изучение химического и минерально-вещественного состава проб уличной (дорожной) пыли.

Цель работы представляет собой оценку экологического состояния территории города Междуреченск в теплое время года на основе анализа

минерально-вещественного состава проб уличной пыли.

Отбор проб осуществлялся летом 2020 г. по всей территории города Междуреченск доцентом Осиповой Н.А. и студентом Чуриной С. из отделения геологии ТПУ. Условно город разделен на две части: Западную, расположенную близ угольного бассейна, и Восточную – условно отдаленную от угольного бассейна. В Западном районе города было отобрано 11 проб, в Восточном районе 18 проб. Вес каждой пробы составлял от 400 до 600 гр. Собранные пробы были просушены при комнатной температуре и просеяны в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» через сита с диаметром ячейки 1 мм для сортировки проб от улично-бытового мусора. Нами осуществлялось определение минерально-вещественного состава проб на бинокулярном стереоскопическом микроскопе Leica EZ4D с видео приставкой согласно запатентованной методике [2] и учебному пособию [3]. Также проведен ряд анализов отдельных проб для определения минеральной фазы при помощи рентгеновской дифрактометрии (дифрактометр фирмы Phaser D2), а микрочастиц – электронной сканирующей микроскопии (микроскоп Hitachi S-3400N с приставкой Bruker Xflash 40100).

В ходе изучения минерально-вещественного состава проб уличной пыли были установлены основные минеральные фазы, содержащиеся в пробах, – кварц, полевые шпаты (альбит, ортоклаз), карбонаты (кальцит, доломит), слюды (мусковит), глинистые минералы (каолинит, хромит) и минералы группы железа (гематит, ильменит). По результатам исследования проб на бинокулярном микроскопе установлено, что в пробах доля природных частиц (60–75%) преобладает над долей техногенных образований (25–40%) (рис. 1). Техногенные образования в основном представлены угольными частицами и угольной пылью (5–23%), а также в небольшом количестве шлаком (3–10%), микросферулами (2–12%), микропластиком (1–4%) и продуктами выдувания с дорожных покрытий (2–6%) (рис. 2).

Минеральный состав отдельных проб уличной пыли, исследуемый при помощи рентгеновской дифрактометрии, позволил обнаружить преобладание минеральных фаз кварца и полевых шпатов (альбит, ортоклаз), тогда как на слюды (мусковит), карбонаты (кальцит, доломит), глинистые минералы (каолинит) и минералы группы железа (гематит, ильменит, магнетит) приходится меньшее долевое содержание (рис. 3).

Методом сканирующей электронной микроскопии в отдельных пробах уличной пыли были определены металлосодержащие микрочастицы, представленные оксидами железа (предположительно гематит), сульфидами мышьяка As-S (предположительно арсенипирит), фосфаты цериевые (рис. 4). Также обнаружено присутствие алюмосиликатных микросферул, что может указывать на выбросы котельных, использующих уголь.

По результатам сканирующей микроскопии изученные микрочастицы в количестве 27 штук были разделены на классы с размерами до 10 мкм

(PM10), до 20 мкм (PM20) и более 20мкм (PM>20). Класс частиц PM10 составил 59%, на долю частиц PM20 пришлось 30%, класс частиц PM>20 составил 11%.

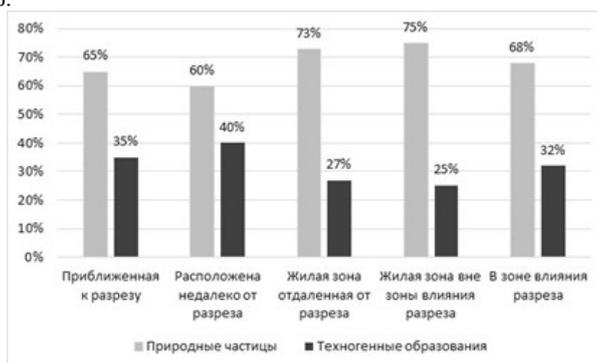


Рис. 1. Долевое содержание природных и техногенных частиц в пробах уличной пыли г. Междуреченска, %



Рис. 2. Долевое содержание техногенных частиц (в среднем по городу) в пробах уличной пыли на территории г. Междуреченск, %

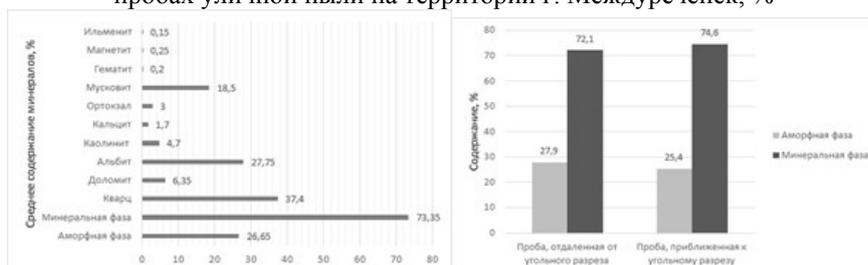


Рис. 3. Содержание минеральных и аморфных фаз в пробах уличной пыли на территории г. Междуреченск (%): а) – минеральные фазы; б) – соотношение аморфных и минеральных фаз

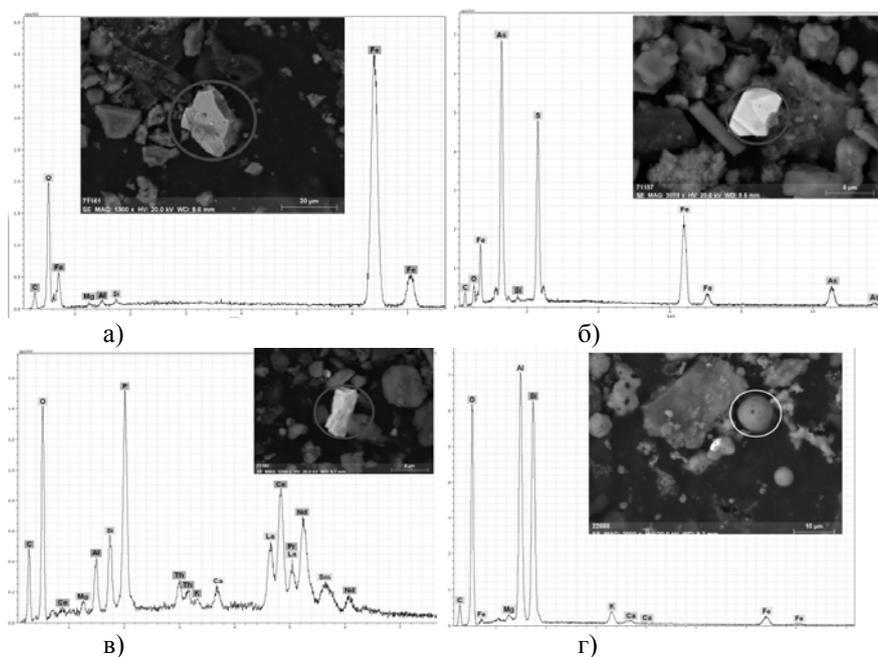


Рис. 4. Микрофото частиц и их энергодисперсионные спектры в пробах уличной пыли на территории г. Междуреченск: а) – оксиды железа (гематит (?)); б) – As-Fe-S (арсенопирит (?)); в) – фосфаты цериевые (данные электронной сканирующей микроскопии); г) – алюмосиликатные микросферулы

Эмиссия техногенных частиц может быть обусловлена пылением с отвалов вскрышных пород, выдуванием почвогрунтов, а также пылением при транспортировке угля. Найденные в составе уличной пыли в процессе ее изучения угольные техногенные частицы предопределены сжиганием угля на местных котельных, а также его использованием в качестве топлива на территории частного сектора. Расположение объектов предприятия близ города обуславливает атмосферный перенос микрочастиц на жилую территорию в соответствии с главенствующим направлением ветра.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00675 А. Авторы выражают благодарность Осиповой Н.А., к.х.н., доценту отделения геологии ТПУ и студенту Чуриной С. за предоставленные пробы для изучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимов Н.С., Кошелева Н.В., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Московского ун-

та. Сер. 5: «География». 2012. С. 14–24.

2. Пат. 2229737 Российская Федерация, МПК7 G 01 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.

3. Язиков Е.Г. Таловская А.В., Жорняк Л.В. Минералогия техногенных образований: Учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 160 с.

The mineral and material composition of street dust in the territory of Mestrechensk (Kemerovo oblast) exposed to the influence of coal mining enterprises has been investigated. In the samples, a complex of modern analytical methods had determined the types of natural and technological formations and their ratios. In samples, the proportion of natural particles (60–75%) was found to be higher than that of techogenic entities (25–40%). The highest proportion of technogenic particles are coal-fired dust and coal-fired particles (25–40%), which can come from coal-fired enterprises close to the city and from the wind transport of particles, technogenic and contaminated soil in the city. The work was carried out with the support of the RFBR Grant 20-05-00675 А.

**Серебряный А.Н.<sup>1,2</sup>, Химченко Е.Е.<sup>1</sup>, Тарасов Л.Л.<sup>2</sup>,  
Попов О.Е.<sup>3</sup>, Кенигсбергер Г.В.<sup>4</sup>, Нешенко И.П.<sup>4</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: serebryanu@hotmail.com; <sup>2</sup>Акустический институт им. акад. Н.Н.Андреева, г. Москва; <sup>3</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обхова РАН, г. Москва; <sup>4</sup>Институт экологии АН Абхазии, г. Сухум)

**Вброс взвешенного вещества рекой Кодор на шельф  
Черного моря по данным ADCP: продолжение  
исследований**

**Serebryanu A.N.<sup>1,2</sup>, Khimchenko E.E.<sup>1</sup>, Tarasov L.L.<sup>2</sup>,  
Popov O.E.<sup>3</sup>, Kenigsberger G.V.<sup>4</sup>, Neshenko I.P.<sup>4</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>Andreyev Acoustics Institute, Moscow; <sup>3</sup>Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow; <sup>4</sup>Institute of Ecology, AS of Abkhazia, Sukhum)

**Discharge of suspended matter by the Kodor River to the Black  
Sea shelf according to ADCP data: continuation of research**

Ключевые слова: речные воды, взвешенное вещество, акустическое объемное обратное рассеяние, ADCP, Кодор, шельф, Черное море

Представлены результаты исследований шельфовой зоны Черного моря у места впадения в море реки Кодор, проведенных в 2021 г. Пространственные съемки с помощью ADCP выявили зоны повышенной концентрации взвешенного вещества на акватории шельфа и его распределение в толще воды. Подтверждены факты переноса взвешенного вещества фоновым вдольбереговым течением, как в северо-западном, так и юго-восточном направлении.

Горные реки Кавказа играют важную роль в гидрологическом режиме шельфовой зоны Черного моря. Впадая в море, они создают особый режим течений в прибрежной зоне, ведут к распреснению морских прибрежных вод, а также выносят в море большое количество взвешенного вещества терригенного происхождения. Наиболее ярко влияние рек проявляется в паводковый период и круглый год после интенсивных осадков.

Начиная с 2014 г. по настоящее время ежегодно в летне-осеннее время нами проводятся экспериментальные исследования гидрофизических процессов в шельфовой зоне Абхазии [1]. Особое внимание уделяется прибрежному району моря вблизи устья реки Кодор. В этом районе проводились съемки в 2014, 2015 и 2018 гг. [2]. В данном докладе будут представлены новые результаты, полученные в июне 2021 г.

Исследования у устья Кодора проводились по методике «яхтенной океанологии», которая подразумевает применение моторных катеров или яхт, оборудованных компактными средствами измерения [3]. Мы также

планировали использовать данные спутниковых изображений исследуемой акватории, снятых во время эксперимента. Спутниковая информация и подспутниковые измерения, как известно хорошо дополняют друг друга и позволяют получать важную новую информацию об изучаемых процессах [4]. Съёмки проводились в дневное время 20 и 26 июня. Каждая включала в себя работу двух моторных катеров на акватории. Один катер проводил безостановочно съёмку с помощью акустического доплеровского профилометра течений (ADCP) “Rio Grande 600 kHz” в пределах акватории от береговой зоны до изобаты 100 м. Он проходил галсами, ориентированными по нормали к берегу (всего сделано 21 сечение), связанными между собой короткими галсами, параллельными береговой черте. ADCP даёт информацию о силе и направлении течений, а также об интенсивности обратно рассеянного акустического сигнала. Интенсивность рассеянного сигнала пропорциональна концентрации взвешенного вещества в воде и может быть переведена в соответствующие единицы [5]. Вторым катером проводил на этой же акватории гидрологическую съёмку – измерялись вертикальные профили температуры и скорости звука (сделано 59 зондирований). Рассмотрим результаты работы 20 июня.

Впадающие в море воды Кодора образуют плюм – область в прибрежной зоне, которая хорошо различима за счёт контраста цвета воды в нём (как правило, серо-коричневатого), резко отличающегося от сине-голубых морских вод. Окрас плюма объясняется большим количеством взвешенного вещества в речной воде. На рис. 1 приведено фото фрагмента границы плюма Кодора, сделанное 20 июня. Речные плюмы хорошо видны на спутниковых снимках.



Рис. 1. Граница плюма реки Кодор (речная вода справа).

На рис. 2 приведен снимок видимого диапазона MSI Sentinel 2-B от 01.07.2021 у устья Кодора. За счет цветового контраста вод видно, что границы плюма простираются на расстояние до 5 км от берега и около 10 км на северо-запад. Очертания плюма формируются фоновым северо-западным течением. Присутствие этого течения типично, но встречается и юго-восточное течение, которое формирует плюм, вытянутый на юго-восток [2]. Такая ситуация была 20 июня. К сожалению, стояла облачная погода, из-за чего не удалось получить спутникового изображения этого дня. Съемка с ADCP выявила следующие основные особенности течений на акватории. Как уже упоминалось, фоновое течение на шельфе у устья Кодора было юго-восточным, при этом в приповерхностном слое сила течения составляла 0.3 м/с. Напротив места впадения в море левого рукава Кодора выявлена струя интенсивного течения от берега со скоростями 0.5–0.55 м/с. Это течение уходило на расстояние до 1 км в море. В этой же области наблюдались сулои, сформированные из крутых обрушивающихся поверхностных волн. Вышеуказанные особенности течений сформировали картину распространения взвешенного вещества на исследуемой акватории.

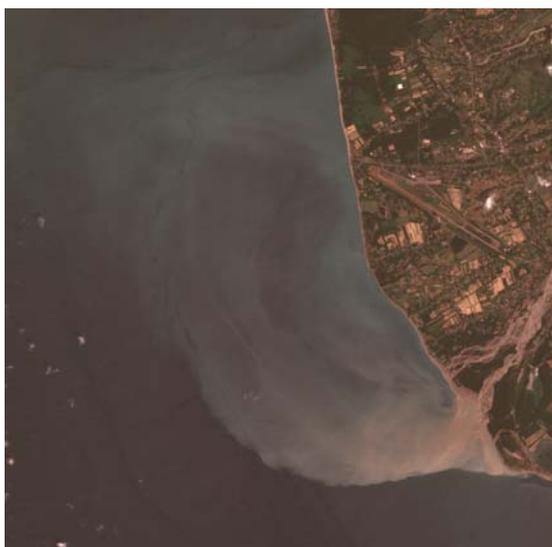


Рис. 2. Плюм реки Кодор на снимке спутника MSI Sentinel 2-B.

На рис. 3 приведена картина пространственного распределения коэффициента обратного рассеяния на акватории, измеренная в результате съемки. Как уже говорилось ранее, это по сути картина пространственного распределения взвешенного вещества. Коэффициент рассеяния достигает максимума 90–98 дБ в месте напротив впадения в море левого рукава Кодора. В настоящее время это основное русло реки. Область со

значениями коэффициента рассеяния больше 80 дБ распространяется от береговой черты примерно на 1 км и на 2 км вдоль берега на юго-восток. Представляет интерес рассмотреть вопрос о том, как взвешенное вещество в плюме распределено по вертикали.

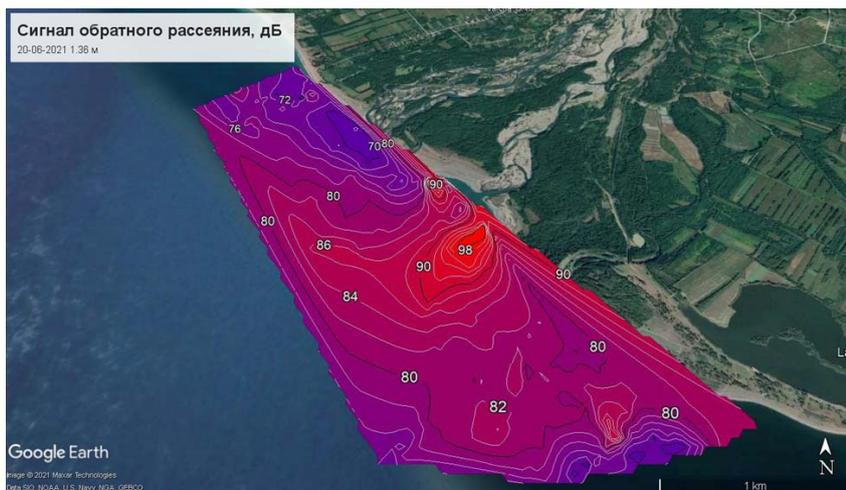


Рис. 3. Пространственное распределение коэффициента обратного рассеяния в приповерхностном слое моря у устья Кодора.

На рис. 4 показана картина обратного рассеяния на разрезе нормальном к берегу. Хорошо видна граница речных вод на глубине около 5 м. На этом горизонте сформирован резкий пикноклин, что подтверждено гидрологической съемкой. Обращает на себя внимание, что по пикноклину движутся внутренние волны.

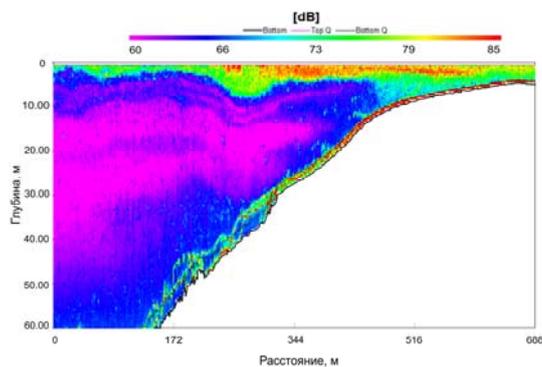


Рис. 4. Распределение взвеси в водной толще на разрезе.

Выделяется уединенная внутренняя волна высотой 4 м. Генерация этой волны, по-видимому, обусловлена сдвиговой неустойчивостью Кельвина-Гельмгольца из-за большой скорости впадающего в море речного потока. Ситуация напоминает механизм генерации внутренних волн поверхностной интрузией, наблюдавшийся в [6].

Работа выполнена в рамках темы госзадания Минобрнауки № 0128-2021-0010, а также при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00715 и гранта Президента РФ МК-5064.2021.1.5.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебряный А.Н., Кенигсбергер Г.В., Елистратов В.П., Сабинин К.Д., Попов О.Е., Свадковский А.Н., Тарасов Л.Л., Денисов Д.М., Химченко Е.Е., Чекайда В.Н. Акустическая диагностика гидрофизической изменчивости на абхазском шельфе Черного моря // Ученые записки физического факультета МГУ. 2017. № 5.
2. Серебряный А.Н., Тарасов Л.Л., Кенигсбергер Г.В. Вброс взвешенного вещества рекой Кодор на шельф Черного моря по данным ADCP // Геология морей и океанов: Материалы XXIII Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Т. III. М.: ИО РАН, 2019. С. 85–89.
3. Серебряный А.Н. Яхтенная океанология: 15-летний опыт исследований на шельфе // Материалы XVII международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021)». Т. 1. М.: ИО РАН. 2021. С. 135–138.
4. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Сабинин К.Д., Серебряный А.Н. Изучение гидродинамических процессов в шельфовой зоне на основе спутниковой информации и данных подспутниковых измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 98–129.
5. Серебряный А.Н. Использование акустического доплеровского измерителя течений (ADCP) для оценки концентрации взвеси в море // Система Белого моря. Т. III. / Отв. Ред. Лисицын А.П. М.: Научный мир, 2013. С. 65–69.
6. Иванов В.А., Серебряный А.Н. Внутренние волны на мелководном шельфе бесприливного моря // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1983. Т. 19. № 6. С. 661–665.

The paper presents the results of studies of the Black Sea shelf zone at the place where the Kodor River flows into the sea, carried out in 2021. Spatial surveys using ADCP revealed zones of increased concentration of suspended matter in the shelf water area and its distribution in the water column. The facts of the transport of suspended matter by the background alongshore current, both in the northwestern and southeastern directions, have been confirmed.

**Сорокина В.В.<sup>1</sup>, Ковалева Г.В.<sup>1</sup>, Попов Ю.В.<sup>2</sup>,  
Назаренко А.В.<sup>1</sup>, Дюжова К.В.<sup>1</sup>, Сорокина В.Д.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону, e-mail: v.sorok@mail.ru; <sup>2</sup>Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону; <sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва)

**Состав эоловых частиц пыльных бурь в Восточном Приазовье в 2019–2020 гг.**

**Sorokina V.V.<sup>1</sup>, Kovaleva G.V.<sup>1</sup>, Popov Yu.V.<sup>2</sup>,  
Nazarenko A.V.<sup>1</sup>, Dyuzhova K.V.<sup>1</sup>, Sorokina V.D.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don; <sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don; <sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow)

**Composition of Aeolian particles of dust storms in the Eastern Sub-Azov region in 2019–2020**

Ключевые слова: состав эоловых частиц, пыльная буря, Восточное Приазовье

В засушливых регионах пыльные бури являются важным эпизодическим источником и поставщиком материала для осадков и осадочных пород, влияют на геохимические процессы седиментации. С привлечением метеорологических данных исследован минералогический и биогенный состав эоловых частиц пыльных бурь в Восточном Приазовье в 2019–2020 гг.

Одним из путей миграции неорганических веществ и частиц биологического происхождения является эоловый перенос. Деятельность ветра, частота и интенсивность пыльных бурь (ПБ) и их роль в процессах современного осадконакопления возрастают с увеличением аридности территории.

В засушливых и полузасушливых регионах, к которым относятся степи Восточного Приазовья, ПБ довольно частое явление. Они возникают, когда сильные ветры (10–20 м/с) поднимают в атмосферу большое количество песка и пыли с открытых сухих почв полей, а также примыкающих обширных полупустынных и пустынных районов Средней Азии.

В XX веке, до 1977 г., сильные ПБ повторялись в Приазовье через каждые 10–11 лет, средние по интенсивности – через 3–5 лет, а слабые – почти ежегодно [1]. С конца 1970-х годов стали складываться условия, способствующие уменьшению интенсивности и повторяемости ПБ, – массовое использование защитных лесополос на сельскохозяйственных территориях, а также незначительное уменьшение доли ветров восточной четверти, которые обеспечивают возникновение и развитие ПБ.

Снижение частоты и интенсивности ПБ в Восточном Приазовье во второй половине XX – начале XXI вв. [2] привело к тому, что этому

явлению перестали уделять достаточно внимания. Деграция защитных лесополос и лесонасаждений в 80–90-х гг. XX века и усиление засушливости на водосборе Нижнего Дона за последние 20 лет привели к тому, что такое опасное явление как пыльные бури напомнило о себе с новой силой.

В связи с тем, что пыльные бури – явление эпизодическое и мало предсказуемое (для их возникновения необходим комплекс сложившихся специфических агро- и метеоусловий) исследований вещественного состава эоловых выпадений ПБ крайне мало в изучаемом регионе. Последним комплексным исследованием, в котором обобщен предшествующий литературный материал и показана большая значимость эолового фактора (в частности пыльных бурь) в процессе седиментогенеза Азовского моря, является работа Ю.П. Хрусталева [3].

Цель данного исследования – анализ минералогического и биогенного состава эоловой пыли ПБ, сопоставление данных о составе пыли с анализом метеорологической обстановки, получение представления о пространственном происхождении изучаемого эолового материала.

В Восточном Приазовье метеорологические условия характеризовались сильными ветрами в октябре 2019 г., зарегистрированной пыльной бурей – в конце сентября–начале октября 2020 г. В это время сотрудниками ЮИЦ РАН были отобраны образцы пыли и выполнен их лабораторный анализ.

Пять проб пыли отобраны с горизонтальных поверхностей после ПБ 30.09–02.10.2020 г. в черте г. Ростова-на-Дону (низовья р. Дон), две пробы – на северном побережье Таганрогского залива Азовского моря (г. Таганрог и пос. Вареновка (Неклиновский район)). Две пробы отобраны в г. Таганроге и пос. Вареновка (в тех же местах) ранее, 20–22.10.2019 г.

Минеральный состав эоловой пыли определяли методом качественного рентгенографического фазового анализа на дифрактометре «ARLX'TRA». Образцы пыли исследовали электронно-зондовыми методами на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU производства фирмы Tescan с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT. Биологические компоненты (диатомовые, пыльца) пыли исследовали с использованием сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 40 XVP. Гранулометрический состав определяли с помощью лазерного анализатора микрочастиц «Ласка-Т(Д)» в трехкратной повторности для каждой пробы.

Гранулометрический анализ, а также просмотр пыли в сканирующем электронном микроскопе показал преобладание во всех пробах минеральных частиц пелитовой и мелкоалевритовой фракций [4]. Глинистая фракция представлена преимущественно иллитом (иногда на дифрактограммах ориентированных препаратов присутствует также слабое отражение  $4.72\text{\AA}$ , характерное для железистых хлоритов (hkl 003)).

Основными минеральными компонентами песчано-алевритовой фракции

эоловой пыли являются кварц, близкий к альбиту плагиоклаз, микроклин, кальцит, иллит, слюды, сцементированные карбонатами или водными оксидами железа агрегаты гидрослюд, почвенные частицы, реже кристаллики гипса, иногда галита.

Среди аксессуарных минералов резко преобладают циркон, ильменит, магнетит, титаномагнетит, рутил. Эти минералы, в целом, широко распространены, но их высокое содержание может указывать на дефляцию вмещающих титан-циркониевые россыпи пород Ставропольской россыпной провинции, для которой их повышенное содержание наиболее характерно.

Техногенные компоненты представлены в разной степени корродированными частицами металлов и обильными алюмосиликатными и магнетитовыми микросферами – типичными продуктами высокотемпературного сжигания топлива, источниками которых могут являться отходы металлургической (доменные шлаки, сталеплавильные шлаки) и топливной (золы и золы-уноса ТЭС) промышленности.

Биогенные компоненты представлены целыми и фрагментированными створками диатомовых водорослей и пылью растений.

При первичном изучении образцов эолового материала [4] удалось идентифицировать до вида три таксона диатомовых водорослей (*Staurosirella martyi* (Héribaud) E.A.Morales & K.M.Manoylov, *Cocconeis pediculus* Ehrenberg и *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing. Еще три таксона определили до рода (*Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *Anomoeoneis* sp.) и один (обломок панциря) идентифицирован до уровня семейства Coscinodiscaceae.

Позднее, при более детальном исследовании, этот список был дополнен новыми видами. Помимо упомянутых выше таксонов, были обнаружены створки *Hantzschia* cf. *amphioxys* (Ehrenberg) Grunov, *Actinocyclus octonarius* var. *tenellus* (Brébisson) Hendeby, а также представителей родов *Epithemia* Kützing, *Tryblionella* W.Smith, *Pinnularia* Ehrenberg, *Staurosirella* Williams, Round.

Наибольшая численность створок диатомовых была отмечена в образцах, отобранных на побережье Таганрогского залива (пос. Вареновка). Самым массовым таксоном в образцах был эпифитный вид диатомовых водорослей *Amphora ovalis*. Вероятно, что при периодическом осушении дна водоемов, створки диатомовых вместе с частицами грунта попадают в воздух во время локальных пыльных бурь.

Наибольшее число пыли растений обнаружено в образцах, отобранных в черте г. Ростова-на-Дону. Самой массовой была пыльца амброзии (*Ambrosia artemisiifolia* L.) и это объяснимо тем, что пик цветения этого растения на юге России приходится как раз на начало осени. Помимо амброзии, единично отмечали пыльцу полыни (*Artemisia vulgaris* L.), василька (*Centaurea*, Asteraceae), злаков (Poaceae) и других представителей межсезонного разнотравья степной зоны.

Предшествующие пыльной буре (в сентябре–октябре 2020 г.)

метеорологические условия на юге европейской части России характеризовались жаркой погодой и длительным дефицитом осадков, что способствовало уменьшению запасов влаги в почве и иссушению ее верхнего слоя. На этом фоне географическое положение глубокого циклона и высокого антициклона обусловило 30.09–01.10.2020 г. устойчивый юго-восточный перенос воздушных масс по линии северо-восток Каспийского моря – север Азовского моря с увеличением барического градиента и усилением средней скорости ветра в отдельных районах до 10–15 м/с. Сложившиеся агро- и метеорологические условия привели к возникновению в дневные и вечерние часы 30.09–01.10.2020 г. пыльных бурь [4].

Представление о пространственном происхождении изучаемой пыли и влиянии на ее состав природных и антропогенных источников дополняют расчетные траектории переноса воздушных масс над поверхностью земли. Обратные 72-часовые траектории переноса воздушных масс рассчитаны с помощью модели HYSPLIT [5]. Обратные траектории показывают восточный перенос эоловой пыли: 30.09.2020 г. из Сальских степей Ростовской области, южных районов Калмыкии и северных районов Ставропольского края; 20.10.2019 г. – из Ростовской и Астраханской областей и Калмыкии.

Таким образом, проведенный комплексный анализ позволяет сделать вывод о том, что литогенный и биогенный материал в составе исследуемых атмосферных выпадений поступил со сравнительно близко расположенных восточных территорий (преимущественно из Ростовской области). Каких-либо компонентов пыли, свидетельствующих о ее дальнем переносе найти не удалось. В составе образцов эоловой пыли обнаружены створки бентосных и эпифитных диатомовых водорослей, широко распространенных в бассейнах Азовского, Черного, Каспийского, Аральского и других морей. Учитывая наибольшую численность диатомовых в образцах, отобранных на побережье Таганрогского залива – это наиболее вероятный путь попадания створок в эоловые отложения. Среди пыльцы растений отмечено преобладание амброзии, что типично для урбанизированных ландшафтов Приазовья. Среди антропогенных компонентов пыли выделяются продукты высокотемпературного сжигания топлива.

Авторы признательны В.П. Шевченко за полезные советы при исследовании данной темы, сотрудникам ЮНЦ РАН за помощь в сборе проб, сотрудникам Лаборатории воздушных ресурсов Американской национальной Администрации по исследованию океана и атмосферы (NOAA) за возможность строить обратные траектории переноса воздушных масс.

Анализ результатов проводился в рамках реализации ГЗ НИР ЮНЦ РАН № 01201363188 (В.В. Сорокина) и № 01201363186 (К.В. Дюжова). Основная часть лабораторных исследований выполнена при финансовой поддержке

проекта РФФИ № 19-05-50099 (А.В. Назаренко, Г.В. Ковалева). Построение обратных траекторий переноса воздушных масс выполнено студентом В.Д. Сорокиной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хрусталеv Ю.П., Грудинова Л.Я., Серова В.В., Жмурко В.Я. Роль эолового материала в морском седиментогенезе аридной зоны (на примере Азовского моря) // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 2. С. 55–64.
2. Ивлиева О.В., Сорокина В.В. Поступление эолового материала на акваторию Азовского моря // Современные проблемы аридных и семиаридных экосистем юга России. Ростов-на-Дону: Изд. ЮНЦ РАН, 2006. С. 493–504.
3. Хрусталеv Ю.П. Основные проблемы геохимии седиментогенеза в Азовском море. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1999. 247 с.
4. Сорокина В.В., Титов В.В., Вереин Р.В., Попов Ю.В., Ковалева Г.В., Гаврилова И.Ю. Первые комплексные данные о пыльной буре в восточном Приазовье в конце сентября – начале октября 2020 года // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления – III»): материалы III Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 15–19 июня 2021 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2021. С. 132–138.
5. Draxler R.R., Rolf G.D. HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory). Silver Spring (MD): NOAA Air Resources Lab., 2003. Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>).

In arid regions, dust storms are an important episodic source and supplier of material for sediments and sedimentary rocks, affect the geochemical processes of sedimentation. Using meteorological data, the mineralogical and biogenic composition of Aeolian particles of dust storms in the Eastern Sub-Azov region in 2019–2020 was studied.

**Страховенко В.Д.<sup>1,2</sup>, Овдина Е.А.<sup>1,3</sup>, Малов В.И.<sup>1,2</sup>,  
Белкина Н.А.<sup>3</sup>, Потахин М.С.<sup>3</sup>, Ефременко Н.А.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, e-mail: strahova@igm.nsc.ru, <sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, <sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр “Карельский научный центр РАН” Институт водных проблем Севера, г. Петрозаводск)

**Сопоставление геохимического и минерального состава  
речной взвеси и осадочного материала седиментационных  
ловушек различных районов Онежского озера**

**Strakhovenko V.D.<sup>1,2</sup>, Ovdina E.A.<sup>1,3</sup>, Malov V.Yg.<sup>1,2</sup>,  
Belkina N.A.<sup>3</sup>, Potahin M.S.<sup>3</sup>, Efremenko N.A.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, <sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, <sup>3</sup>Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk)

**Comparison of the geochemical and mineral composition of  
river suspension and sedimentary material of sedimentation  
traps in various areas of Lake Onega. of the Lake Onega**

Ключевые слова: геохимия и минералогия рассеянное осадочное вещество, распределение, Онежское озеро и реки, в него впадающее.

В устьях рек и различных районах Онежского озера изучался минеральный и химический состав взвешенного вещества, в период 2020–2021 гг. Минеральный и химический состав осадочного вещества разных районов озера в основном отражает состав взвеси впадающих в них рек, за исключением р. Суна и элементов Na, K, Al, Mg.

Донные отложения озер формируются в основном из дисперсных частиц разной размерности и генезиса. Тонкодисперсные микро- и наночастицы рассеянного осадочного вещества (РОВ) агрегируются либо под влиянием биоты с превращением осадочного вещества в более крупные аморфные комки, либо физико-химических (коагуляция, флокуляция коллоидов) процессов [1]. Расположения котловины Онежского озера в зоне соприкосновения двух крупных геологических структур – Фенноскандинавского кристаллического щита и Русской плиты, обуславливает различия в особенностях седиментационного режима и в строении донных отложений между его северной и южной частями. Горные породы северной части котловины Онежского озера представлены раннедокембрийскими образованиями Фенноскандинавского щита: гнейсами, гранитами, и др. сформированными от 3240 до 2680 млн. лет [2]. Южная часть водосборного бассейна Онежского озера сложена венд-палеозойскими породами платформенного чехла. Мощный чехол

четвертичных отложений (межледниковые, континентальные и морские образования раннего, среднего и позднего плейстоцена [3, 4]. Основным поставщиком разнообразного материала с водосборного бассейна Онежского озера являются реки, доля речного притока в озеро 73% от общего притока. При этом на четыре реки: Водлу, Шую, Суну и Андому приходится около 60% суммарного речного притока в озеро. Существенная роль атмосферных осадков выявлена только в балансе Cd (30%), Zn (14%) и Cu (13%), а подземных вод для Mn, Zn, Cu и Cd (1.3–2.4%) [5].

Цель работы – изучение пространственной изменчивости геохимического и минерального состава РОВ, поступающего с речными водами в Онежское озеро. Провести сравнительный анализ состава РОВ разных рек с составом РОВ седиментационных ловушек заливов, в которые они впадают, для оценки влияния внешнего водообмена заливов на процесс накопления осадков.

Детальные исследования состава РОВ рек и Онежского озера в различных районах проведены в разные сезоны года в 2020–2021 гг. Отбор проб проведен во время рейсов НИС «Эколог». Положение станций и устьев рек показано на рис. 1.

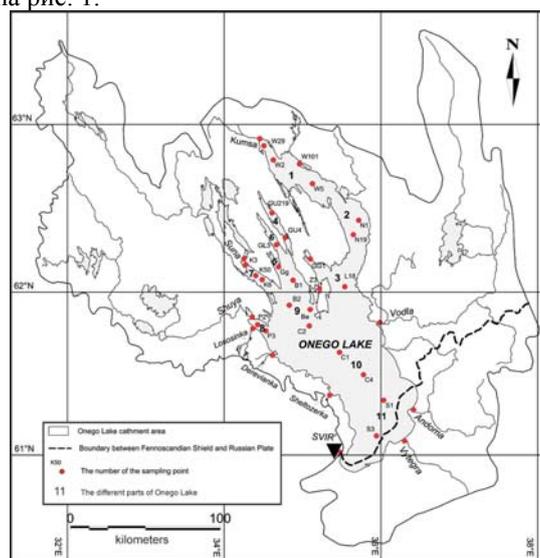


Рис. 1. Схема расположения станций СЛ и устьев рек

Отбор проб воды осуществлялся батометром Рутнера. РОВ выделяли методом вакуумной фильтрации с использованием специально подготовленных заранее взвешенных мембранных фильтров с диаметром пор 0.45 мкм. Седиментационные ловушки (СЛ), изготовленные в лаборатории палеолимнологии ИВПС КарНЦ РАН, установлены в 2019–

2020 г. в Онежском озере. Время экспозиции СЛ – 1 год. РОВ из СЛ выделялось методом прямой вакуумной мембранной ультрафильтрации с использованием фильтров с диаметром пор 0.45 мкм. Проанализировано 22 пробы РОВ рек, 28 проб РОВ из СЛ. Химические анализы РОВ осуществлялись в лабораториях ИВПС КарНЦ РАН на научном оборудовании ЦКП КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) и в аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Пробы проанализированы на элементы атомно-абсорбционным (AA6800, Шимадзу) и ICP-MS (Agilent 7500a) методами. Изучение морфологии, фазового и химического состава РОВ осуществлялся с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) MIRA 3 TESCAN.

В целом можно говорить о большей близости по содержаниям изучаемых элементам во взвеси из рек Кумса, Водла и озерных вод Повенецкого залива и Центрального Онего соответственно, за исключением значительно более низких содержаний всех макроэлементов в воде Центрального Онего, и Na в Повенецком заливе (рис. 2а, б). Состав речной взвеси Суны значительно отличается от состава взвеси Кондопожской губы. Для Петрозаводской губы выявлено также близкое соответствие усредненному составу РОВ р. Шуя, Лососинка, Деревянка, Шелтозерка, за исключением высокозарядных элементов и Na, K, Mn. На фоне других районов выделяется неравномерное распределение содержаний элементов в РОВ Южном Онего в сопоставлении с их концентрациями во взвеси устья рек Андома, Вытегра и в истоке р. Свирь. Состав РОВ Южного Онего по основным элементам близко соответствует составу РОВ р. Вытегры, с некоторыми отклонениями и составу РОВ в вытекающих водах р. Свирь, с небольшими отклонениями по некоторым элементам. Следует отметить, что концентрации РЗЭ и высокозарядных элементов во взвеси в устье р. Вытегра по содержаниям изучаемых элементам аналогичны в истоке р. Свирь. Максимальное количество Mn с РОВ поступает из р. Андома, Шуя и Водла. В РОВ р. Водла и Андома установлены повышенные содержания Ba, а также Rb.

По результатам СЭМ видно, что в составе осаждающегося агрегированного вещества Онежского озера кроме литогенных частиц, в отличие от рек присутствуют в значительных количествах фрагменты скелетов биоты (диатомовые). Среди минеральных частиц (размером 1–5 мкм), сгруппированных в агрегаты (диаметром 15–40 мкм), в РОВ рек и заливов Онежского озера, преобладают зерна кварца, полевых шпатов, из чешуйчатых образований алюмосиликатов (мусковита, иллита, хлорита), сгустки зерен неправильной формы гидроокислов и карбонатов Fe, Mn (рис. 3а). Высокие значения в РОВ рек Андома, Шуя, Водла Mn, Ba связаны с повышенным количеством агрегатов родохрозита с примесью Ba и наличием зерен барита (рис. 3).

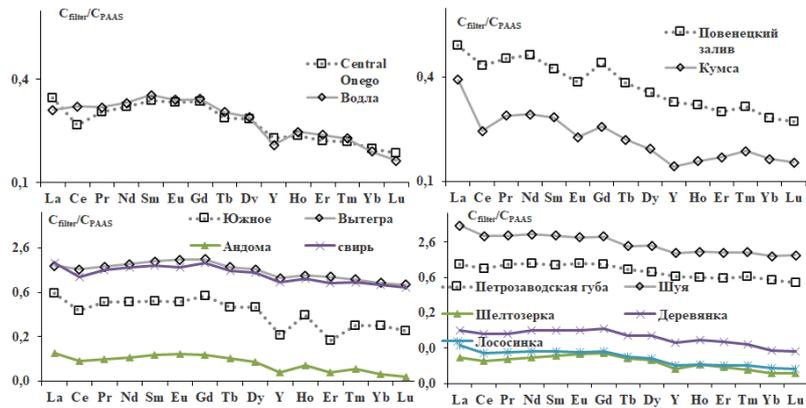


Рис. 2а. Распределение содержаний элементов в РОВ в районах Онежского озера и впадающих в них устьях рек, нормированные к содержанию в PAAS.

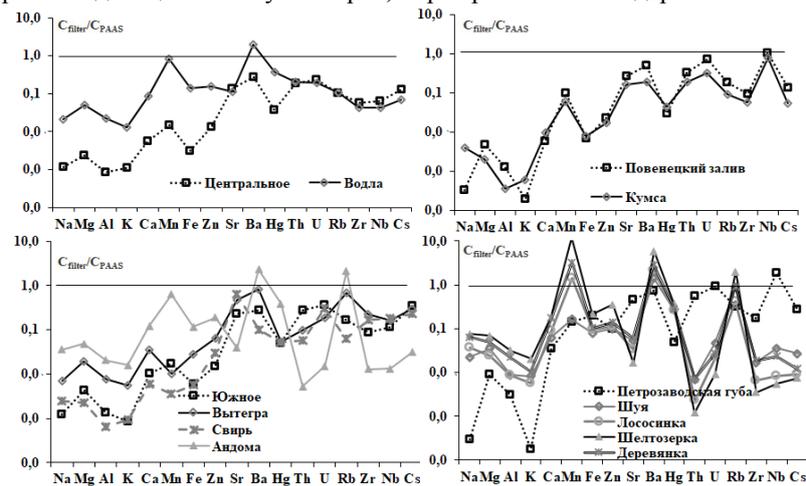


Рис. 2б. Распределение содержаний элементов в РОВ в районах Онежского озера и впадающих в них устьях рек, нормированные к содержанию в PAAS.

Установлено, что концентрация большинства изученных нами макро- и микроэлементов в РОВ разных районов Онежского озера в местах впадения рек того же порядка, что и в РОВ в устьях рек, за исключением р. Суна (Кондопожский залив) и значительно более низких содержаний Na, K, Al, Mg в РОВ Онежского озера. Такое распределение отражает более интенсивное разрушение полевых шпатов, слоистых алюмосиликатов относительно аксессуарных минералов. Таким образом, минеральный и химический состав взвеси является результатом поставки материала из горных пород водосборного бассейна.

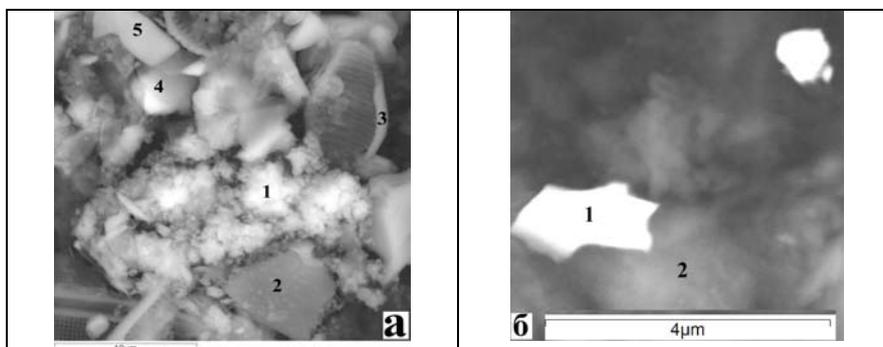


Рис. 3. Микрофотографии выполненные с использованием СЭМ образцов речной взвеси на фильтрах, отобранных в р. Шуя (а), Андома (б): (А) 1 – родохрозит, 2 – кварц, 3 – панцири и биодетрит диатомовых водорослей, 4 – иллит (Mg, Fe), 5 – альбит; (Б) 1– барит, 2 – панцири и биодетрит диатомовых водорослей+отдельные зерна минералов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ проекта № 19-05-50014 и РНФ N 18-17-00176 П.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукашин В.Н., Лисицын А.П. Геохимия рассеянного осадочного вещества и его потоки в толще вод Каспийского моря // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 5. С. 741–756.
2. Арестова Н.А., Чекулаев В.П., Лобач-Жученко С.Б., Кучеровский Г.А. Формирование архейской коры древнего Водлозерского домена, Балтийский щит стратиграфия // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2015. Т. 23 (2). С. 3–16.
3. Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения). Петрозаводск: КНЦ РАН, 2011. 431 с.
4. Saarnisto M., Saarinen T. Deglaciation chronology of the Scandinavian Ice Sheet from the lake Onega basin to the Salpausselkyä End Moraine // *Global and Planetary Changes*. 2001. V. 31. P. 333–405.
5. Лозовик П.А., Кулик Н.В., Ефременко Н.А. Литофильные элементы и тяжелые металлы в Онежском озере: источники поступления, содержание и трансформация // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2020. № 4. С. 62–74.

In the estuaries of rivers and various areas of Lake Onego, the mineral and chemical composition of suspended matter was studied in the period 2020–2021. The mineral and chemical composition of the sedimentary matter of different areas of the lake mainly reflects the composition of the suspension of the rivers flowing into them, with the exception of the Suna River and the elements Na, K, Al, Mg.

**Топчая В.Ю., Котова Е.И., Чечко В.А.**

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

**Роль локального и трансграничного атмосферного переноса в антропогенной нагрузке на береговую зону Калининградской и Архангельской областей**

**Topchaya V.Yu. Kotova E.I., Chechko V.A.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**The role of local and transboundary atmospheric transport in the anthropogenic pressure on the coastal zone of the Kaliningrad and Arkhangelsk regions**

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, тяжелые металлы, атмосферный перенос

Проанализированы многолетние (2009–2019 гг.) закономерности дальнего переноса воздушных масс и сопутствующих антропогенных примесей для разных сезонов, а также оценена роль локального и трансграничного атмосферного переноса свинца и кадмия в загрязнение окружающей среды Калининградской и Архангельской областей.

Атмосферные циркуляционные процессы в значительной степени обуславливают состояние окружающей среды любого региона, от них зависят длительность и направления переноса воздушных масс и сопутствующей им примеси, в том числе антропогенных микрочастиц. Состав атмосферной примеси зависит от множества факторов, таких как физические свойства атмосферы (влажность, давление воздуха, скорость и направление ветра), сезон года и источники их поступления.

Оценка загрязнения атмосферы и антропогенного воздействия на окружающую среду может быть получена как по данным регулярных мониторинговых наблюдений в течение определенного периода, так и с использованием расчетного мониторинга. На основе расчетов по математическим моделям атмосферного переноса антропогенных загрязнений, используя обобщенные данные о загрязнении атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий районов источников, а также о метеорологических и климатических характеристиках, можно определить пространственно-временные характеристики загрязнения природной среды региона исследования.

Оценить роль трансграничного атмосферного переноса загрязняющих веществ в антропогенной нагрузке на исследуемые территории позволяет программа ЕМЕР [1].

К приоритетным загрязняющим веществам, поступающим через атмосферу, относятся тяжелые металлы, особенно свинец и кадмий, что объясняется их высокой токсичностью, кумулятивной способностью

оказывать негативное влияние на экосистему в целом [2]. Основными источниками эмиссий свинца и кадмия являются выбросы промышленных и энергетических комплексов, сельскохозяйственного производства, а также автотранспорта и других видов транспорта. При этом выброс тяжелых металлов в атмосферу транспортом составляет более половины от всех выбросов.

В работе проанализированы многолетние (2009–2019 гг.) закономерности дальнего переноса воздушных масс и сопутствующих антропогенных примесей для разных сезонов, а также оценена роль локального и трансграничного атмосферного переноса свинца и кадмия в загрязнение окружающей среды Калининградской и Архангельской областей.

В основе расчетов дальнего переноса примесей был применен метод статистики траекторий движения воздушных масс, включающий анализ десятилетних массивов траекторий переноса воздушных масс и примесей к исследуемым географическим пунктам (рисунок). Данная методика подробно описана в [3, 4]



Рисунок. Схема расположения точек расчета.

В результате анализа сезонных многолетних (2009–2019 гг.) вариаций

концентраций свинца и кадмия в атмосфере от локальных и трансграничных источников над Калининградской и Архангельской областями выявлено, что максимальные содержания наблюдаются в зимний период. То есть, зимой эффективность переноса загрязнений над исследуемой территорией повышается. Выявлено, что вклад трансграничного переноса свинца и кадмия (суммарная среднегодовая концентрация Pb – 502.648 нг/м<sup>3</sup>, Cd – 40.327 нг/м<sup>3</sup>) в загрязнение атмосферного воздуха над Калининградской областью значительно превышает выбросы локальных источников на территории региона (Pb – 24.465 нг/м<sup>3</sup>, Cd – 2.048 нг/м<sup>3</sup>), в то время как для пунктов, расположенных на территории Архангельской области, вклад трансграничного переноса (суммарная среднегодовая концентрация Онега Pb – 2.393 нг/м<sup>3</sup>, Cd – 0.084 нг/м<sup>3</sup>, Архангельск Pb – 1.325 нг/м<sup>3</sup>, Cd – 0.054 нг/м<sup>3</sup> и Мезень Pb – 0.455 нг/м<sup>3</sup>, Cd – 0.018 нг/м<sup>3</sup>) ничтожно мал по сравнению с локальными выбросами (Онега Pb – 76.568 нг/м<sup>3</sup>, Cd – 9.448 нг/м<sup>3</sup>, Архангельск Pb – 1100.127 нг/м<sup>3</sup>, Cd – 153.454 нг/м<sup>3</sup> и Мезень Pb – 21.313 нг/м<sup>3</sup>, Cd – 2.06 нг/м<sup>3</sup>).

Максимальные значения потоков Pb и Cd выявлены в летний период, что обусловлено большей эффективностью выведения микрочастиц из атмосферы с дождевыми осадками в теплый период года.

Для Калининградской области суммарный годовой поток Pb составляет 22557.9 мкг/м<sup>2</sup>/год, а Cd – 1836.5 мкг/м<sup>2</sup>/год, при этом процентное соотношение вклада трансграничных и локальных источников эмиссий свинца и кадмия составляет 95/5. То есть, основной вклад в антропогенную нагрузку через атмосферу на окружающую среду региона вносит трансграничный перенос. В то время как для береговой зоны Архангельской области суммарные годовые значения потоков составляют Онега – Pb 2958.52 мкг/м<sup>2</sup>/год, Cd 372.71 мкг/м<sup>2</sup>/год, Архангельск – Pb 50802.8 мкг/м<sup>2</sup>/год, Cd 7095.8 мкг/м<sup>2</sup>/год, и Мезень – Pb 569.37 мкг/м<sup>2</sup>/год, Cd 53.15 мкг/м<sup>2</sup>/год, при этом в среднем для всей Архангельской области процентное соотношение вклада трансграничных и локальных источников эмиссий свинца и кадмия составляет 1/99. То есть вклад трансграничного атмосферного переноса в загрязнении окружающей среды Архангельской области незначителен.

Анализ и интерпретация данных выполнялись при поддержке государственного задания ИОРАН № 0128-2021-0012.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP) [http://webdab1.umweltbundesamt.at/scaled\\_country\\_year.html?cgiproxy\\_skip=1](http://webdab1.umweltbundesamt.at/scaled_country_year.html?cgiproxy_skip=1).
2. Медведев И.Ф., Деревягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах / Саратов: «Ракурс». 2017. 178 с.
3. Виноградова А.А., Иванова Ю.А. Антропогенная нагрузка на экосистемы Костомукшского природного заповедника: Атмосферный канал. М.:

ФИЗМАТЛИТ. 2013. 84 с.

4. Виноградова А.А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории // Геофизические процессы и биосфера. 2014. Т. 13. № 4. С. 5–20.

The long-term (2009–2019) patterns of long-range transport of air masses and associated anthropogenic impurities for different seasons are analyzed, and the role of local and transboundary atmospheric transport of lead and cadmium in environmental pollution of the Kaliningrad and Arkhangelsk regions.

**Чечко В.А.<sup>1</sup>, Топчая В.Ю.<sup>1</sup>, Кривошлык П.Н.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: che-chko@mail.ru;

<sup>2</sup>БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия)

**Органоминеральные образования Вислинской лагуны  
Балтийского моря**

**Chechko V.A.<sup>1</sup>, Topchaya V.Yu.<sup>1</sup>, Krivashlyk P.N.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia)

**Organomineral formations of the Vistula Lagoon of the Baltic  
Sea**

Ключевые слова: Вислинская лагуна, сапропели, вивианит, осадочный материал

В результате изучения 12 литологических колонок в осадочной толще Вислинской лагуны Балтийского моря выявлены органоминеральные образования (сапропели) минерализованного типа. Они расположены под слоем (толщиной от 30 до 65 см) современных минеральных донных осадков. Мощность слоя сапропелей более 1 м, их образование связано с историческим этапом развития лагуны, когда главным источником осадочного материала являлся речной сток.

Органоминеральные образования (сапропели) – это донные отложения с содержанием органического вещества более 15%, образующиеся в пресноводных бассейнах из продуктов разложения биогенного материала в анаэробных седиментационных обстановках. Они являются ценным природным сырьем и могут быть использованы в различных отраслях экономики [1, 2]. В результате изучения 12 литологических колонок, отобранных в лагуне в 2017–2020 гг. было выявлено, что органоминеральные образования имеют широкое развитие в осадочные толще лагуны, которая не является пресноводной, а классифицируется как «опресненный морской водоем».

Выявленные в заливе сапропелевые образования нами отнесены к минерализованному типу (содержание зольности в их составе изменяется от 70 до 87%). Они обогащены фосфором, на что указывает минерал вивианит, агрегаты которого выявлены во всех колонках по всему профилю развития сапропелевых образований. По своему расположению их следует отнести к погребенным, так как они находятся под слоем (толщиной от 30 до 65 см) современных минеральных донных осадков. Мощность слоя органоминеральных образований более 1 м, однако, она может измениться в сторону увеличения при дополнительных более детальных исследованиях.

Образование сапропелей связано, по нашему мнению, с историческим этапом лагуны, когда главным источником осадочного материала являлась р. Висла, ежегодно поставлявшая в залив 300–400 тыс. тонн аллювия, что в 4–5 раз превышало объем твердого стока остальных рек бассейна залива [3].

Сложившееся несоответствие между энергетической возможностью (гидродинамической активностью) залива и объемом поступающего с речным стоком осадочного материала способствовало интенсивному накоплению оливковых, обогащенных органикой илов, характерных для выявленных сапропелей.

По предварительным оценкам, запасы сапропелей в лагуне значительны, а само органоминеральное сырье будет востребовано, учитывая все возрастающую роль в Калининградском регионе санаторно-курортного направления и активное развитие сельскохозяйственного производства.

Полевые исследования поддержаны проектом РФФИ № 19-45-390013 p\_a, анализ и интерпретация данных выполнены при поддержке государственного задания ИО РАН (тема № 0128-2021-0012).

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алексейко И.С., Широков В.А., Яременко А.А. Сапропели Приамурья: свойства, добыча и использование. Благовещенск: Изд-во ДВО РАН Дальнев. гос. аграр. ун-та., 2003. 210 с.
2. Штин С.М. Озерные сапропели и их комплексное освоение / Под ред. И.М. Ялтанца. М.: Изд-во МГУ, 2005. 373 с.
3. Гидрометеорологический режим Вислинского залива / Под ред. Н.Н. Лазаренко и А. Маевского. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 279 с.

As a result of the study of 12 lithological cores in the sedimentary deposits of the Vistula lagoon of the Baltic Sea, organomineral formations (sapropels) of a mineralized type were identified. They are located under a layer (thickness from 30 to 65 cm) of modern mineral bottom sediments. The thickness of the sapropel layer is more than 1 m, their formation is associated with the historical stage of the lagoon development, when the main source of sedimentary material was river runoff.

**Шевченко В.П.<sup>1</sup>, Виноградова А.А.<sup>2</sup>, Голобокова Л.П.<sup>3</sup>,  
Копейкин В.М.<sup>2</sup>, Макаров В.И.<sup>4</sup>, Новигатский А.Н.<sup>1</sup>,  
Панченко М.В.<sup>5</sup>, Попова С.А.<sup>4</sup>, Сакерин С.М.<sup>5</sup>,  
Стародымова Д.П.<sup>1</sup>, Ходжер Т.В.<sup>3</sup>**

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

vshevch@ocean.ru; <sup>2</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва;

<sup>3</sup>Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск; <sup>4</sup>Институт химической кинетики и

горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск; <sup>5</sup>Институт оптики

атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск)

**Тридцать лет исследований рассеянного осадочного  
вещества в атмосфере Арктики**

**Shevchenko V.P.<sup>1</sup>, Vinogradova A.A.<sup>2</sup>, Golobokova L.P.<sup>3</sup>,  
Kopeikin V.M.<sup>2</sup>, Makarov V.I.<sup>4</sup>, Novigatsky A.N.<sup>1</sup>,  
Panchenko M.V.<sup>5</sup>, Popova S.A.<sup>4</sup>, Sakerin S.M.<sup>5</sup>,  
Starodymova D.P.<sup>1</sup>, Khodzher T.V.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow; <sup>2</sup>A.M. Obukhov Institute of

Atmospheric Physics, RAS, Moscow; <sup>3</sup>Limnological Institute, SB RAS, Irkutsk;

<sup>4</sup>Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion, SB RAS, Novosibirsk; <sup>5</sup>V.E.

Zuev Institute of Atmospheric Optics, SB RAS, Tomsk)

**Thirty years of studies of dispersed sedimentary matter in the  
Arctic atmosphere**

Ключевые слова: рассеянное осадочное вещество, аэрозоли, атмосферный перенос, черный углерод, осадконакопление

Обобщены результаты исследований рассеянного осадочного вещества в атмосфере Арктики, выполненных сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН совместно с коллегами из ряда российских и зарубежных институтов в последние 30 лет. Показано, что рассеянное осадочное вещество оказывает существенное влияние на окружающую среду и изменение климата в Арктике и играет важную роль в процессах осадконакопления.

Арктика оказывает огромное влияние на природную среду Земли. Очень хрупкое равновесие между ее физическими, химическими и экологическими параметрами делает Арктику индикатором глобальных изменений [1–3]. Важным направлением исследования экосистемы Арктики и ее изменений является изучение распределения, состава и переноса рассеянного осадочного вещества атмосферы, так как перенос многих вредных примесей осуществляется на мельчайших (мельче 10 мкм) аэрозольных частицах (микро- и наночастицах). Данные о микро- и наночастицах атмосферы необходимы для правильной оценки особенностей современного осадконакопления, путей переноса и накопления загрязнений, изменений климата [4–5].

Изучение состава аэрозолей приземного слоя атмосферы над морями Российской Арктики было начато нами под руководством академика А.П. Лисицына в 1991 г. в международной экспедиции SPASIBA-91 [6]. В дальнейшем эти исследования были продолжены в рейсах на научно-исследовательских судах Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН и ряда других организаций, включая германский научно-исследовательский ледокол «Полярштерн», и в прибрежных экспедициях (на побережье Белого моря) [7–16].

В экспедициях сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН для определения элементного состава аэрозолей фильтрацию воздуха проводили через фильтры АФА-ХА. Для изучения минерального и вещественного состава рассеянного осадочного вещества атмосферы материала, собранного на фильтрах, оказывается недостаточно, а собранный материал засорен кристаллами морской соли. Поэтому параллельно с фильтрацией использовали метод сбора большого количества нерастворимых в воде аэрозолей нейлоновыми сетями [17]. При отборе аэрозольных проб этим методом 5–10 нейлоновых сетей площадью 1 м<sup>2</sup> каждая (ячей 0.8 мм) вывешивали в носовой части судна в течение 8–24 часов. После экспозиции сети промывали в дистиллированной воде, затем эту воду фильтровали через лавсановые ядерные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм. На фильтрах оседали несолевые частицы, вещественный и минеральный состав которых изучали с помощью методом сканирующей электронной микроскопии, а элементный – методами нейтронно-активационного анализа и атомно-абсорбционной спектрофотометрии [7, 15].

В аэрозольных измерениях, проводимых сотрудниками Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, использовали одинаковый комплект приборов в составе солнечного фотометра SPM [18], аэталометра МДА-02 [19] и счетчика частиц АЗ-10. С помощью этих приборов измерялись: спектральные характеристики аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в диапазоне спектра 0.34–2.14 мкм ( $\tau_\lambda^a$ ), счетная концентрация частиц диаметром 0.4–10 мкм ( $N_a$ ) и массовая концентрация в аэрозоле поглощающего вещества – черного углерода (black carbon, BC) ( $M_{bc}$ ). В ряде экспедиций отбирали пробы аэрозолей на кварцево-волоконные фильтры для дальнейшего определения в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова концентраций черного углерода [12, 20].

Кроме измерений оптических и микрофизических характеристик, проводили отбор проб на фильтры для последующего определения ионного состава растворимой фракции аэрозоля и содержания в воздухе газообразных примесей (HCl, HNO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>) в Лимнологическом институте СО РАН. Аэрозольное вещество собиралось на внешнем (первом) тефлоновом фильтре PTFE с диаметром пор 0.8 мкм. Последующие фильтры ULTIPOR (второй фильтр, полиамидный, диаметр пор 0.45 мкм) и

два импрегнированных фильтра «Whatman» с щелочной (третий) и кислой (четвертый) основой улавливали газообразные примеси. Первый, второй и четвертый фильтры экстрагировали деионизированной водой, третий – 0.05% раствором перекиси водорода в ультразвуковой бане в течение 30 мин. Растворы фильтровали через ацетат-целлюлозные фильтры с диаметром пор 0.2 мкм. В фильтрате первого фильтра проводили измерение концентраций катионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$  и анионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Газообразные примеси рассчитывали из соответствующих ионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), определенных в экстрактах проб на втором, третьем и четвертом фильтрах. Химический анализ выполнялся методом ионной хроматографии на ионной системе ICS-3000 (Dionex, США) с точностью до 2–8% в ЦКП «Ультрамикрoанализ» ЛИИ СО РАН [13].

На основании геохимических исследований и изучения загрязнений арктической атмосферы удалось выявить главные точечные и локальные источники загрязнений (промышленные центры Западной Европы и Северной Америки, Норильск, Кольский п-ов, нефтяные факелы Западной Сибири и северо-востока Европейской части России). Удалось по соотношениям элементов установить "лицо" загрязнений из каждого источника (из крупнейших индустриальных областей), проследить конкретные траектории прохождения воздушных масс в Арктику и связанные с ними конкретные загрязнений, места главной разгрузки воздушных масс (депоцентры), сезонный ход процессов.

В целом, содержание большинства химических элементов (Na, Al, K, Ca, Sc, Fe, Co, Rb, Zr, Cs, Ba, PЗЭ, Hf, Ta, Th, U) в нерастворимой фракции аэрозолей ниже средних значений для верхней части континентальной земной коры [7]. Наиболее вероятный источник этих элементов – почвы севера Евразии. Содержание Cr, Cu, Zn, As, Se, Br, Ag, Sb, Au, Cd, Pb значительно выше их среднего для земной коры, их основной источник – антропогенный. Наиболее существенные источники загрязнения аэрозолей Российской Арктики – горно-металлургические комбинаты Кольского п-ова, Урала и Норильска, зимой также ощущается влияние дальнего переноса из расположенных южнее регионов [21].

Показано, что для пространственного распределения черного углерода в приводном слое атмосферы Северной Атлантики и Евразийской Арктики характерно то, что его концентрации уменьшаются в северном направлении и с увеличением расстояния от континента: от нескольких сотен  $\text{нг}/\text{м}^3$  в южной части Северного моря до значений ниже  $50 \text{нг}/\text{м}^3$  в полярных районах [8, 9, 11, 12, 14, 16, 20].

Учитывая значительное обогащение олового осадочного вещества Pb, Sb, Cd, V, можно предположить, что для этих элементов оловый путь является основным путем их поступления в донные осадки арктических морей [7, 15, 22].

Таким образом, показано, что рассеянное осадочное вещество

атмосферы влияет на окружающую среду и климатические изменения и играет важную роль в процессах осадконакопления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roederer J.G. Understanding the Arctic: Research policies and responsibilities // *Pollution of the Arctic Atmosphere* / Ed. W.T. Sturges. London, New York: Elsevier, 1991. P. 1–11.
2. Quinn P.K., Stohl A., Arneth A. et al. The Impact of Black Carbon on Arctic Climate. Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2011. 72 p.
3. Box J.E., Colgan W.T., Christensen T.R. et al. Key indicators of Arctic climate change: 1971–2017 // *Environmental Research Letters*. 2019. V. 14. 045010.
4. Лисицын А.П. Нерешенные проблемы океанологии Арктики // *Опыт системных океанологических исследований в Арктике*. М.: Научный мир, 2001. С. 31–75.
5. 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. Отв. ред. Л.И. Лобковский, Р.И. Нигматулин. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
6. Shevchenko V.P., Lisitzin A.P., Kuptzov V.M. et al. Composition of aerosols over the Laptev, Kara, Barents, Greenland and Norwegian seas // *Berichte zur Polarforschung*. 1995. V. 176. P. 7–16.
7. Шевченко В.П. Аэрозоли – влияние на осадконакопление и условия среды в Арктике. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. М., 2000. 213 с.
8. Польшкин В.В., Голобокова Л.П., Козлов В.С. и др. Оценка связи микрофизического и химического состава для приводного аэрозоля Белого моря // *Оптика атмосферы и океана*. 2004. Т. 17. № 5–6. С. 377–385.
9. Польшкин В.В., Голобокова Л.П., Погодаева Т.В. и др. Состав аэрозолей приводного слоя атмосферы над Белым морем во второй половине августа 2003 и 2004 гг. // *Фундаментальные исследования океанов и морей*. Кн. 2. М.: Наука, 2006. С. 413–439.
10. Стародымова Д.П., Виноградова А.А., Шевченко В.П. и др. Элементный состав приземного аэрозоля у северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря // *Оптика атмосферы и океана*. 2017. Т. 30. № 11. С. 956–961.
11. Терпугова С.А., Зенкова П.Н., Кабанов Д.М. и др. Результаты исследований характеристик аэрозоля в атмосфере Карского и Баренцева морей в летне-осенний период 2016 г. // *Оптика атмосферы и океана*. 2018. Т. 31. № 5. С. 391–402.
12. Shevchenko V.P., Kopeikin V.M., Novigatsky A.N., Malafeev G.V. Black

carbon in the atmospheric boundary layer over the North Atlantic and the Russian Arctic seas in June–September 2017 // *Oceanology*. 2019. V. 59. P. 692–696.

13. Голобокова Л.П., Ходжер Т.В., Изосимова О.Н. и др. Химический состав атмосферного аэрозоля в арктическом районе по маршрутам морских экспедиций 2018–2019 гг. // *Оптика атмосферы и океана*. 2020. Т. 33. № 6. С. 421–429.

14. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Калашникова Д.А. и др. Результаты измерений физико-химических характеристик аэрозоля в 80-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» на маршруте от Балтийского до Баренцева моря // *Оптика атмосферы и океана*. 2021. Т. 34. № 07. С. 515–523.

15. Шевченко В.П., Голобокова Л.П., Сакерин С.М. и др. Рассеянное осадочное вещество атмосферы над Баренцевым морем // *Система Баренцева моря / под ред. А.П. Лисицына*. М.: ГЕОС, 2021. С. 127–142.

16. Sakerin S.M., Kabanov D.M., Kopeikin V.M. et al. Spatial distribution of black carbon concentrations in the atmosphere of the North Atlantic and the European sector of the Arctic Ocean // *Atmosphere*. 2021. V. 12. Article 949. <https://doi.org/10.3390/atmos12080949>.

17. Chester R., Johnson L.R. Atmospheric dust collected off the West African coast // *Nature*. 1971. V. 229. P. 105–107.

18. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П. и др. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // *Оптика атмосферы и океана*. 2012. Т. 25. № 12. С. 1112–1117.

19. Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Полькин В.В. Спектрофотометры для исследования характеристик поглощения света аэрозольными частицами // *Приборы и техн. эксперим.* 2008. № 5. С. 1–3.

20. Stohl A., Klimont Z., Eckhardt S. et al. Black carbon in the Arctic: the underestimated role of gas flaring and residential combustion emissions // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. V. 13. № 17. P. 8833–8855, doi:10.5194/acp-13-8833-2013.

21. 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.

22. Kadko D., Galfond B., Landing W.M., Shelley R.U. Determining the pathways, fate, and flux of atmospherically derived trace elements in the Arctic ocean/ice system // *Marine Chemistry*. 2016. Т. 182. P. 38–50.

The results of the study of dispersed sedimentary matter in the atmosphere of the Arctic, carried out by employees of the Shirshov Institute of Oceanology RAS together with colleagues from a number of Russian and foreign institutes in the last 30 years. It is shown that dispersed sedimentary matter has a significant impact on the environment and climate change in the Arctic and plays an important role in the processes of sedimentation.

**Юшманова А.В.<sup>1,2</sup>, Глуховец Д.И.<sup>1,2</sup>, Артемьев В.А.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва; <sup>2</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), г. Долгопрудный, e-mail: yushmanova@phystech.edu)

**Учет стратификации оптических характеристик морской воды для расчета эффективных значений спектров показателя поглощения взвешенного вещества**

**Yushmanova A.V.<sup>1,2</sup>, Glukhovets D.I.<sup>1,2</sup>, Artemiev V.A.<sup>1</sup>**

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

**Taking into account the stratification of the seawater optical characteristics for calculating the effective values of the spectral absorption coefficient of suspended matter**

Ключевые слова: спектральное поглощение взвешенными частицами, коэффициент яркости водной толщи, моря Европейской Арктики и Полярной Атлантики.

Учитывается стратификация оптически активных компонент в поверхностном слое морской воды для уточнения измеряемых с помощью интегрирующей сферы значений показателя поглощения взвешенных частиц. Результаты получены в 84-м рейсе НИС "Академик Мстислав Келдыш" («Европейская Арктика – 2021», 24 июля – 26 августа 2021 г.).

Введение. Поглощение света морской водой – одна из трех первичных оптических характеристик, определяющих распространение излучения в водной толще. В Арктике поглощение солнечной энергии – один из факторов глобального потепления, проявляющегося в этом регионе наиболее ярко. На поглощение морской воды влияют взвешенные в ней частицы, различным образом распределенные по глубине. Прямые определения показателя поглощения этих частиц довольно трудоемки, они выполняются на пробах морской воды, что не позволяет учесть детальное изменение стратификации частиц в поверхностном слое. Распределение частиц по глубине можно оценить по результатам измерений вертикальных профилей показателя ослабления морской воды. Цель работы – учет стратификации оптически активных компонент, полученной по данным судовых измерений показателя ослабления, для расчета эффективных значений показателя поглощения частицами, формируемого толщей воды. Проведено сравнение полученных результатов с результатами биооптической модели GIOP (Generalized Inherent Optical Properties) [1,2], в которой по значениям коэффициента яркости выходящего из воды излучения  $Rrs(\lambda)$  вычисляется набор биооптических характеристик, включая показатели поглощения ОРОВ и детрита –  $a_{dg}(\lambda)$  и пигментами фитопланктона  $a_{ph}(\lambda)$ .

Результаты исследования получены по данным 84-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» (АМК 84), проходившего 24 июля – 26 августа 2021 г. в Европейской Арктике и Полярной Атлантике. Карта используемых в работе станций представлена на рис. 1.

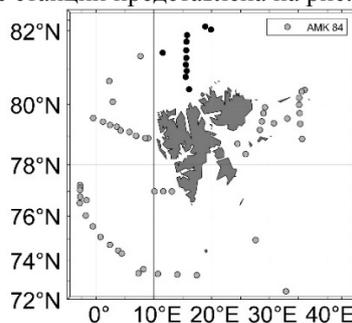


Рис. 1. Схема станций рейса АМК 84.

Методы и средства. Спектры поглощения морской воды измерялись спектрофотометром с интегрирующей сферой ICAM [3,4] на пробах, отобранных с различных горизонтов. Особенность метода заключается в устранении влияния рассеяния света. Поглощение взвешенными частицами ( $a_p$ ) рассчитывается как разность между поглощением морской и профильтрованной через ядерные фильтры (размер пор 0.2 мкм) водой, а поглощение ОРОВ  $a_g$  – как разница между фильтратом и чистой водой. Вертикальные профили показателя ослабления света морской водой на длине волны 530 нм  $c(530)$  получены с помощью прозрачномера ПУМ-200 [5]. Измеритель фотосинтетически активной радиации (ФАР) Li-COR использовался для расчета значений показателя диффузного ослабления света  $Kd$  в диапазоне ФАР (400-700 нм). При настройке модели GIOP в нее вводились значения измеренных данных  $a_g(\lambda)$ . Форма спектра  $a_{ph}(\lambda)$  определялась по модели [6]. Использованы значения  $Rrs(\lambda)$ , полученные с помощью плавающего спектрорадиометра ПРО-1 [7].

Результаты. В ряде случаев результаты расчета  $a_{ph}(\lambda)$  по данным коэффициента яркости водной толщи отличаются от результатов прямых измерений  $a_p(\lambda)$  на поверхности (рис. 3 слева). Одна из причин этого расхождения – стратификация оптически активных компонент в поверхностном слое морской воды. Учет этой стратификации для получения формируемых толщей воды (эффективных) спектров поглощения возможен по данным вертикальных профилей показателя ослабления.

Показатель ослабления  $c(530)$  – сумма показателей поглощения и рассеяния. Он зависит от концентрации взвешенных частиц и растворенных веществ. Сопоставление  $c(530)$  и коэффициента поглощения взвешенными частицами для диапазона длин волн 400-700 нм показало, что наибольшие

значения коэффициента корреляции Пирсона достигаются в коротковолновой 400–530 нм ( $R^2 = 0.45–0.5$ ) и длинноволновой 667–680 нм ( $R^2 = 0.38–0.4$ ) частях спектра; количество пар данных  $N = 168$ . Этим областям спектра соответствуют полосы поглощения пигментов фитопланктона: хлорофиллов а и b, а также каротиноидов. Для более детального анализа выбраны станции, расположенные к северу от Шпицбергена, где зарегистрирована высокая корреляция  $c(530)$  и  $a_p$  –  $R^2$  равен 0.68–0.82 для длин волн в диапазонах: 400–540 и 660–688 нм. Для определенности соотношения ниже рассчитаны для длины волны 443 нм, что соответствует длине волны продуктов спутниковых сканеров цвета. Уравнение регрессии:  $a_p(443) = 0.13 * c(530) - 0.01$ , среднеквадратичное отклонение  $RMSE = 0.008$ , количество пар данных  $N = 23$  (станции черным цветом на рис. 1).

Для дальнейших исследований использовались ст.7069, ст.7075 и ст.7079 с тремя различными и типичными для данного региона вертикальными профилями показателя ослабления света (рис. 2). Точками показаны значения  $a_p(443)$ , полученные на пробах. Несмотря на то, что станции 7075 и 7079 выполнены у кромки льда, соответствующие профили  $c(530)$  значительно различаются: на ст. 7075 максимальные значения  $c(530)$  и  $a_p(443)$  зарегистрированы на поверхности, на ст.7079 – на 20 и 30 м, при этом  $c(530)$  достигает  $0.8 \text{ м}^{-1}$ .

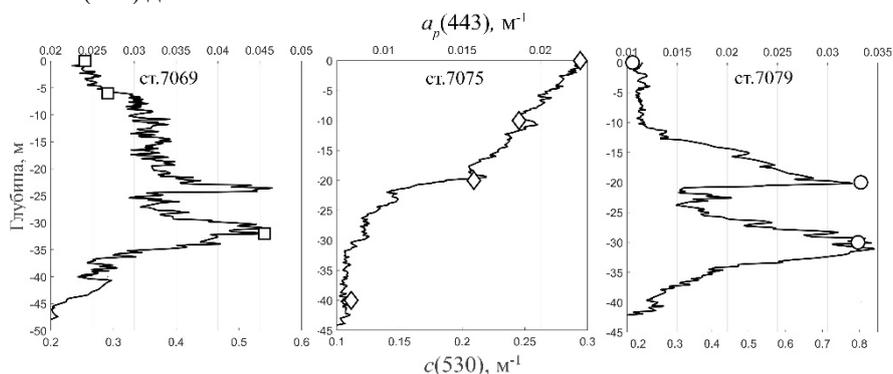


Рис. 2. Профили показателя ослабления (линии) и значения показателя поглощения взвешенными частицами (точки).

Для учета влияния стратификации проведена коррекция интерполированных по глубине спектров показателя поглощения взвешенными частицами по вертикальным профилям показателя ослабления. При этом для каждой станции вычислялось свое корреляционное уравнение (табл. 1). Различия коэффициентов этих уравнений объясняются различным содержанием и составом взвешенных частиц и растворенных веществ [8].

Таблица. Статистические параметры регрессии между  $a_p(443)$  и  $c(530)$ .

Станция	Корреляционное уравнение	$R^2$	$N$	$RMSE$
7069	$a_p = 0.076 * c(530) + 0.0040$	0.99	3	0.0015
7075	$a_p = 0.061 * c(530) + 0.0027$	0.95	4	0.0016
7079	$a_p = 0.039 * c(530) + 0.0026$	0.99	3	0.0020

Вклады поступающего с различных горизонтов излучения в значения  $Rrs(\lambda)$  экспоненциально уменьшаются с глубиной. Поэтому в качестве весовой функции  $f$  для расчета скорректированных значений  $a_{p\_corr}$  принята нормированная функция ослабления ФАР с глубиной. Множитель 2 учитывает прохождение солнечного излучения до горизонта с глубиной  $z$  и обратно.

$$f = \frac{2K_d * e^{-2K_d * z}}{1 - e^{-2K_d * z}}$$

Рассчитаны значения  $a_{p\_corr}$ , просуммированные с учетом весовой функции до разных глубин. Изменение с глубиной относительных ошибок скорректированных значений  $a_{p\_corr}(443)$  и  $a_{ph}(443)$ , полученных с помощью модели GIOP, представлено на рис. 3 справа. На станциях 7069 и 7079 скорректированные с учетом стратификации и восстановленные по данным моделирования значения совпадают при суммировании до 12.5 и 12 м соответственно. Стоит отметить, что в случае станции 7075 учет стратификации не привел к улучшению согласия данных судовых измерений и моделирования. Это связано с малой изменчивостью значений  $c(530)$  на этой станции.

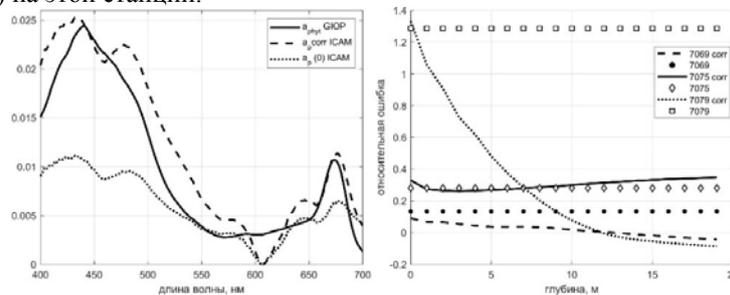


Рис. 3. Слева спектры поглощения для ст.7079:  $a_{ph}(\lambda)$  (GIOP),  $a_p(\lambda, 0)$  (измеренный на поверхностном горизонте),  $a_{p\_corr}(\lambda)$  (скорректированный с учетом профиля  $c(530)$ ). Справа: относительные ошибки измеренных на поверхности значений  $a_p(443, 0)$  (точки) и рассчитанных  $a_{p\_corr}(443)$  (линии) с глубиной в сравнении с  $a_{ph}(443)$  (GIOP).

Разработана методика учета стратификации оптических характеристик в поверхностном слое морской воды для расчета вертикальных профилей спектров показателя поглощения взвешенными частицами. По этим данным рассчитаны формируемые толщей воды эффективные значения этой

характеристики. Учет вертикального распределения показателя ослабления морской воды позволяет уточнить данные судовых измерений для последующего сравнения с результатами биооптических моделей, работающих с данными спутниковых сканеров цвета.

Авторы выражают благодарность д.б.н. С.И. Погосяну за возможность использования интегрирующей сферы ICAM, а также к.ф.-м.н Ю.А. Гольдину за полезное обсуждение. Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме № 0128-2021-0001 и гранта РНФ № 21-77-10059.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Werdell P.J., Franz B.A., Bailey S.W. et al. Generalized Ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties // *Appl. Opt.* 2013. V. 52. P. 2019–2037.
2. Werdell P.J., McKinna L.I.W., Boss E. et al. An overview of approaches and challenges for retrieving marine inherent optical properties from ocean color remote sensing // *Prog. Oceanogr.* 2018. V. 160. P. 186–212.
3. Погосян С.И., Дургарян А.М., Конюхов И.В., Чикунова О.Б., Мерзляк М.Н. Абсорбционная спектроскопия микроводорослей цианобактерий и растворенного органического вещества: измерения во внутренней полости интегрирующей сферы // *Океанология.* 2009. Т. 49. С. 934–939.
4. Глуховец Д.И., Шеберстов С.В., Копелевич О.В., Зайцева А.Ф., Погосян С.И. Измерения показателя поглощения морской воды с помощью интегрирующей сферы // *Светотехника.* 2017. № 5. С. 39–43.
5. Артемьев В.А., Таскаев В.Р., Григорьев А.В. Автономный прозрачномер ПУМ-200 // *Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021).* 2021.
6. Bricaud A., Morel A., Babin M., Allali K., Claustre H. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll a concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models // *Journal of Geophysical Research: Oceans.* 1998. V. 103. № C13. P. 31033–31044.
7. Артемьев В.А., Буренков В.И., Вортман М.И., Григорьев А.В., Копелевич О.В., Храпко А.Н. Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрометрический прибор и его метрология // *Океанология.* 2000. Т. 40. № 1. С. 148–155.
8. Копелевич О.В. Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды // *Оптика океана.* 1983. Т. 1. С. 208–234.

The stratification of optically active components in the surface layer of seawater is taken into account in order to clarify the values of the absorption coefficient of suspended particles measured using the integrating sphere. The results were obtained on the 84th cruise of the R/V Akademik Mstislav Keldysh (European Arctic – 2021, July 24 – August 26, 2021).

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

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

**Бакунович Л.И., Белашев Б.З., Шаров Н.В.**

(Институт геологии ФГБУН ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск;  
e-mail: Luba5\_89@mail.ru)

**Объемная модель неоднородностей в земной коре  
Беломорья по комплексу геолого-геофизических данных**

**Bakunovich L.I., Belashev B.Z., Sharov N.V.**

(Institute of Geology, FGBUN FIC Karelian Research Center, RAS, Petrozavodsk)

**Volumetric model of inhomogeneities in the Earth's crust of  
Belomorje by complex geological and geophysical data**

Ключевые слова: Белое море, земная кора, 3D модель, литосфера, плотностная модель, аномальное магнитное поле, программный комплекс «Интегро».

Цель исследования – построение трехмерных плотностной и магнитной моделей земной коры региона Белого моря с использованием данных инструментальных измерений и технологий моделирования программного комплекса «Интегро». С помощью плотностной модели определены положения в земной коре границ скоростных слоев и границы Мохо. Объемная магнитная модель демонстрирует связь глубинных и поверхностных образований. Структурные особенности моделей могут выполнять роль указателей перспективных участков при поиске полезных ископаемых.

Предметом исследования является бассейн Белого моря и прилегающие территории. Расположенный в зоне сочленения Фенноскандинавского щита и, перекрытой осадочными отложениями, Русской плиты, регион испытывает постоянные динамические нагрузки, вызванные продолжающимся поднятием Фенноскандинавского щита. Его первоначальные архейские структуры трансформированы в процессах протерозойского рифтогенеза и последующей тектономагматической активизации. Отличительной особенностью региона считают проявления кимберлитового магматизма, месторождения алмазов, других полезных ископаемых. Современные геологические исследования ориентируются на поиск углеводородов. Изучение глубинного строения региона способствует решению вопросов, представляющих теоретический и практический интерес.

Инструментальные данные о глубинном строении акватории Белого моря и его обрамления дают геолого-геофизические исследования последних лет. Важным этапом этих работ явились глубинные сейсмические исследования на опорном профиле Суша–Море 4В и 3-АР (Калевала – Кемь – Белое море – Канин Нос) [1]. При мощном осадочном чехле эффективным методом поиска глубинных структур остается аэромагниторазведка. Базовые аэромагнитные данные для региона Белого моря получены в ходе съемок разных масштабов от 1:1 000 000 до 1:200 000 за период 1958–1989 гг.

Интерпретацию сейсмических, гравиметрических, магнитометрических данных ведут в рамках 2D и 3D моделей, использующих петрологические характеристики горных пород плотность и намагниченность. Современным инструментом моделирования является разработанный ВНИИгеосистем, программный комплекс «Интегро» для решения прогнозно-диагностических задач [2]. Комплекс позволяет оформлять цифровые модели карт, выполнять картографические привязки, проводить 3D моделирование, обработку, визуализацию, хранение 3D данных. Расширенный блок решений, эффективные алгоритмы используют регулярные и нерегулярные сети данных, анализируют в пространстве вектора и поверхности, строят необходимые разрезы и сечения трехмерных объектов. Полученные с помощью комплекса плотностные и магнитные модели литосферы ряда регионов России отличаются детальностью, визуализируют положения геологических структур и границ, предоставляют возможность прослеживать их связи с геофизическими полями.

Цель работы – построить на основе имеющихся геофизических данных с применением комплекса «Интегро» плотностную и магнитную 3D модели земной коры акватории Белого моря и прилегающих территорий, провести интерпретацию результатов моделирования.

В работе использованы цифровые карты масштаба 1:1 000 000, построенные на основе данных гравиметрических, магнитных съемок, сейсмические материалы и результаты геофизических исследований вдоль геотраверсов 3-AP, 1-EB, КВАРЦ, АГАТ и др., схема блокового строения региона, петрофизическая и петромагнитные карты восточной части Фенноскандинавского щита, тектоническая карта Белого моря и сопредельных территорий, схема распределения температур разреза земной коры. В основу скоростного моделирования положена опорная сейсмоплотностная модель, задающая связь между плотностью горных пород и скоростью распространения сейсмических Р-волн [3]. Базовые аэромагнитные данные региона преобразованы в редуцированную к полюсу цифровую матрицу с ячейкой 500\*500 м восточной части листа Q-35 и листов Q-36–Q-38 в полном формате. С учетом значений теплового потока в регионе, исходными положениями предшествующих моделей мантию региона считали немагнитной, за границу нижних кромок магнитных источников принимали границу Мохо.

Методика моделирования включала выбор модели среды, ее геометрического каркаса, построение 2D плотностных моделей сейсмических разрезов, переход к 3D плотностной модели земной коры региона. 3D плотностную и магнитную модели получали путем решения обратных задачи гравиметрии и магнитометрии. Решения уточняли, применяя интерполяцию данных, корректировку плотностных и магнитных неоднородностей по остаточным гравитационному и магнитному эффектам. По объемным моделям строили поверхности границ скоростных слоев

земной коры, ее вертикальные и горизонтальные разрезы. В расчетах использовали стандартные геофизические процедуры пакета «Интегро»: редукцию аномального магнитного поля к полюсу, пересчет поля вверх, вниз, вычисление производных полей. TDR комбинацию производных модельного магнитного поля использовали в качестве детектора латеральных границ магнитных источников [4].

Разработанные модели позволили провести комплексную интерпретацию сейсмических, гравиметрических, магнитометрических, петрофизических и геологических данных региона Белого моря. С помощью 2D моделей, опирающихся на ГСЗ профили и цифровые карты геофизических полей, получены плотностные структуры локальных участков земной коры. 3D плотностная модель дает общую картину глубинного строения земной коры региона, устанавливает связи геофизических аномалий и плотностных неоднородностей. С помощью модели определены пространственные положения слоев опорной скоростной модели региона и границы Мохо, выявлены субвертикальные структуры, пронизывающие всю земную кору.

3D магнитная модель контрастно отражает блоковое строение региона, положения, градации намагниченности тел в объеме земной коры, позволяет отнести источники локальных и региональных аномалий соответственно к верхним, средним и нижним этажам земной коры. Локализацию и визуализацию магнитных тел и структур облегчают разрезы модели. Модель указывает на связь поверхностных и глубинных структур земной коры региона. Начинаясь от крупных источников в нижней коре, структуры намагниченности по мере подъема трансформируются, разветвляются в северо-западном и северо-восточном направлениях, распадаясь на отдельные тела в верхней коре. В горизонтальных разрезах 3D магнитной модели на глубинах 10, 15, 20 км структуры магнитных источников трассирующие рифтогенные грабены Белого моря северо-западного простирания, и кольцевые образования.

Субвертикальная плотностная структура в месте входа Горла Белого моря в Воронку, связана с депрессией границы Мохо. Здесь сочленяются три рифтогенные структуры региона, а на глубинах 10, 15, 20 км выявлены кольцевые замыкания магнитных источников. Аналогичные кольцевые структуры обнаружены для районов Зимнебережного поднятия и Онежского полуострова Белого моря. Появление субвертикальных структур и колец ожидаемо в тектонических узлах, при смене направлений главных разломов. Земная кора таких структур является нарушенной и проницаемой. С верхними этажами коры в регионе связывают проявления кимберлитового магматизма, поля развития трубчатых тел.

Структуры земной коры, даваемые 3D плотностной и магнитной моделями региона Белого моря, могут рассматриваться в качестве указателей перспективных участков для поиска кимберлитов и других полезных

ископаемых.

Работа выполнена в рамках темы НИР АААА-А18-118020290086-1 при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 21-05-00481 «Строение и динамика литосферы Беломорья» и № 21-35-90034 «Комплексирование геофизических методов для 2D и 3D моделирования земной коры Белого моря и прилегающих территорий».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаров Н.В., Журавлев А.В. Строение земной коры Белого моря и прилегающих территорий. // Арктика: экология и экономика. 2019. № 3 (35). С. 62–72. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-2-62-72
2. Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Любимова А.В. ГИС INTEGRO – импортозамещающий программно-технологический комплекс для решения геолого-геофизических задач // Геоинформатика. 2018. № 3. С. 8–17.
3. Шаров Н.В. Литосфера по северной Европе по сейсмическим данным. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. 173 с.
4. Miller H.G., Singh V. Potential field tilt – a new concept for location of potential field sources // Journal of Applied Geophysics. 1994. V. 32. P. 213–217.

The aim of the study is to build three-dimensional density and magnetic models of the Earth's crust of Belomorje using instrumental measurements and modeling technologies of the Integro software complex. Using a density model, the positions in the earth's crust of reference speed layers and the Moho boundaries are determined. The volumetric magnetic model demonstrates the relationship of depth and surface formations. Structural features of models can act as pointers of promising areas in the search for minerals.

**Вахрамеева Е.А., Лосюк Г.Н.**

(ФГБУН ФИЦ КИА им академика Н.П. Лаверова УРО РАН, г. Архангельск, e-mail: vakhr-elena@yandex.ru)

**Основные характеристики состава донных отложений реликтового озера Могильное (о. Кильдин, Баренцево море)**

**Vakhrameeva E.A., Losyuk G.N.**

(N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk)

**The main characteristics of the composition of the bottom sediments of the relict lake Mogilnoye (Kildin Is., Barents Sea)**

Ключевые слова: гранулометрический состав, донные отложения, реликтовое, меромиктическое озеро, органическое вещество, потери при прокаливании

Важной характеристикой донных отложений, определяющей степень дисперсности донных отложений озер, является гранулометрический состав. Накопление донных отложений в озерах сопровождается процессами перераспределения и трансформации органического вещества (ОВ), минерализации.

По своим морфометрическим признакам озеро Могильное, расположенное в юго-восточной части о. Кильдин в Баренцевом море, можно отнести к малым (длина 562 м, ширина 275 м) меромиктическим озерам с максимальной глубиной 16 м. Его специфический гидрологический режим сохраняется благодаря тому, что озеро отделено невысокой и узкой перемычкой, через которую происходит фильтрация морских вод [1]. В течение всего года наблюдается стратификация вод, что обусловлено пресными поверхностными и солеными глубинными водами.

Глубоководная часть озера до 16 м смещена на юг к перемычке, мелководная (глубины до 5 м) – к северной части озера. Площадь водосборной территории примерно в 23.5 раза превышает площадь водного зеркала озера. Объем осадков, поступающих в озеро с водосборной территории, составляет 16% от общего объема осадков, что обеспечивает поддержание солености верхнего опресненного слоя на уровне до 4‰ [1].

С целью исследования современного состояния донных отложений по продольному разрезу меромиктического озера Могильное были отобраны три колонки донных отложений (0–23 см) в летнюю межень 2019 г. (рис. 1).

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



Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений оз. Могильного

Гранулометрический состав донных отложений озера определяли в соответствии с методикой [2]. Расчет содержания фракций проводили на абсолютно-сухую навеску образца. Относительная погрешность измерения для всех гранулометрических фракций составляет от 19 до 29%.

Определение прокаленного остатка (потери при прокаливании (ППП)) донных осадков проводили по методике [3].

Определение массовой доли элементов проводили с использованием анализатора элементного состава (однореакторный вариант, конфигурационный набор CHN) EuroEA3000 (Eurovector, S.p.A., Италия). Диапазон измерения массовой доли элемента составляет от 0.01 до 100%. Среднее квадратичное отклонение случайной составляющей погрешности измерений, массовая доля: С – 0.3%; N – 0.1%.

Особенностью отложений оз. Могильного является их жидкая хлопьевидная консистенция верхних слоев и уплотнение осадка нижележащих. Влажность верхних слоев составляет от 81.8 до 93.6%, в нижележащих слоях влажность уменьшается до 33.2%.

Крупнозернистые осадки (>0.1 мм) обнаружены на всех горизонтах ДО станций и диапазон содержания составляет от 2.80 до 78.49%. В большинстве проб донных отложений алевритовая фракция составляет от 14.62 до 72.37% и с примесью песка образуют песчаный алеврит, а с пелитовой фракцией – алевропелит (рис. 2). Отложения разного состава чередуются послойно.

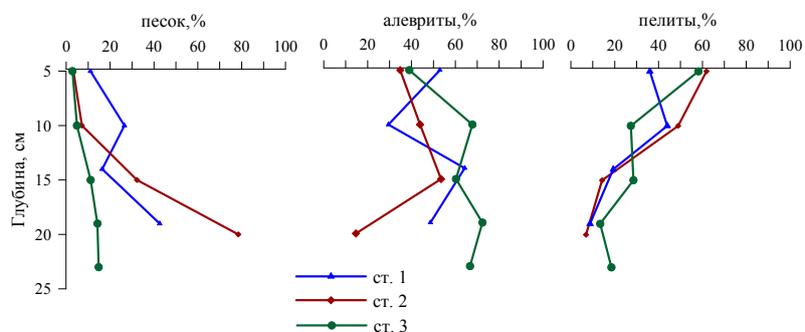


Рис. 2. Распределение гранулометрических фракций в колонках донных осадков озера Могильное

Для сопоставления результатов гранулометрического анализа донных отложений трех станций озера Могильное, полученных в 2019 г., использована треугольная диаграмма (рис. 3).

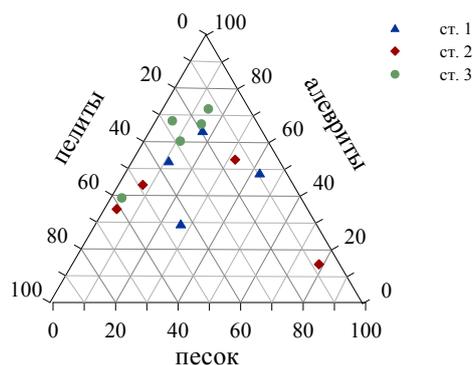


Рис. 3. Трехкомпонентная диаграмма гранулометрического состава донных отложений озера Могильное

Соотношение минеральной и органической составляющих выделенных гранулометрических фракций можно косвенным образом оценить по содержанию ППП в отобранных пробах [4]. Содержание ППП и  $C_{орг}$ , определенных по горизонтам отложений, изменяется в разной степени. По мере углубления в осадок наблюдается снижение ППП и  $C_{орг}$  на всех станциях примерно в 4 раза (рис. 4).

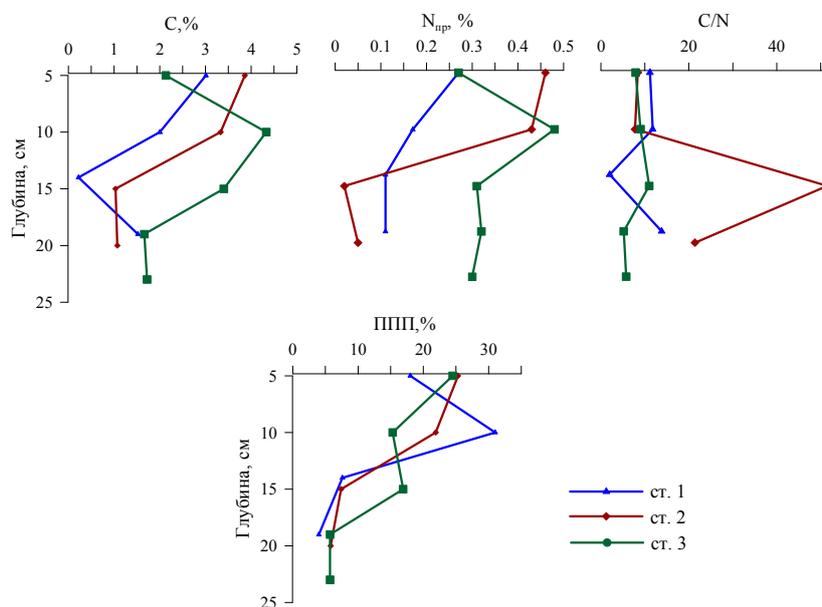


Рис. 4. Распределение органического вещества в донных отложениях озера Могильное

Как показано на рис. 4, все слои донных отложений в озере отличаются низкими концентрациями органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) и азота ( $N_{\text{орг}}$ ) и наблюдается снижение  $C_{\text{орг}}$  с 4.37 до 1.07% в нижних слоях, азот уменьшается с 0.46 до 0.05%.

В современных условиях озерные осадки формируются главным образом за счет взвесей аллохтонного происхождения. Аллохтонное ОВ образуется в результате поступления с водосборной площади.

Величины соотношения  $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$  показывают, что в донных отложениях озера роль планктона и аллохтонного материала в формировании органического вещества донных отложений различна. Можно отметить широкий диапазон измерений величины соотношения  $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$  на трех станциях донных отложений в озере Могильное от 2 до 52 (рис. 4). Особенно выделяются ДО ст. 2 озера с величиной  $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$  от 8 до 52 на глубине 15 см. Значения этого показателя минимальны в поверхностных осадках трех станций – от 8 до 14, что позволяет говорить о преобладании в этих отложениях автохтонного, возможно, частично планктонного органического вещества. Можно предположить, что прочие слои образовались при разложении наземной растительности и органического вещества, поступающего с водосбора прибрежной зоны.

На рис. 4 хорошо видно, как резко уменьшается количество ППП при переходе от илистых осадков к осадкам с доминированием песчаной фракции. Подтверждением этого является наличие обратной корреляционной зависимости  $r = -0.53$  ( $n = 13$ ) между содержанием ППП и количеством песчаной фракции в осадках.

Между содержанием  $S_{\text{орг}}$  и ППП выявлена хорошая корреляционная зависимость со значимым коэффициентом корреляции  $r = 0.57$  ( $n = 13$ ).

Полученные данные позволили оценить специфику водосбора озера, литологическое и ландшафтное окружение. Распределение гранулометрических фракций в поверхностном слое отложений по акватории озера подчиняется закону механической дифференциации – наиболее мелкодисперсные фракции концентрируются на глубоком удаленном от берега участке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реликтовое озеро Могильное (исследования 1997–2000 гг.). Мурманск: Из-во ПИНРО, 2002. 164 с.
2. МИ № 88-16365-010-2017 «Донные отложения водоемов. Определение гранулометрического состава ситовым и пипеточным методами» Введена 26.12.2017. Архангельск, 2017. 12 с.
3. Heiri O., Lotter A., Lemeke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // *Journal of Paleolimnology*. 2001. V. 25. P. 101–110.
4. Субетто Д.А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции. СПб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2009. 339 с.

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

**Гордеев В.В., Новигатский А.Н., Коченкова А.И.**

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

**Влияние зоны маргинального фильтра реки Северной Двины на вынос взвеси, железа и марганца в открытую область Белого моря**

**Gordeev V.V., Novigatsky A.N., Kochenkova A.I.**

(P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow)

**The marginal filter zone of the Severnaya Dvina River influence on the fluxes of suspended matter, iron and manganese to the White Sea open area**

Ключевые слова: Северная Двина, зона смешения река-море, потери взвеси, железа и марганца при смешении, оценки потерь за год

На основе выполненных за последние 20 лет исследований установлено, что потери взвешенного вещества и растворенных и взвешенных форм железа и марганца в зоне маргинального фильтра Северной Двины сильно зависят от сезона. Определены средневзвешенные по водному стоку величины потерь, составляющие 58% для взвеси, 55% для растворенного железа и 22% для растворенного марганца.

Введение. Речной сток давно рассматривается как важнейший источник поступления осадочного материала континентального происхождения в моря и океаны [1]. Последующие многочисленные исследования показали, что переходная зона река-море, названная академиком А.П. Лисицыным маргинальным фильтром (мф) и представленного им в виде модели [2, 3], является мощным барьером на пути этого материала в открытые части морей и океанов. Процессы трансформации речного материала в и результаты работы мф детально рассматриваются в монографии первого автора [4]. Установлено, что практически все протекающие в системе река-море процессы приводят к переходу растворенных форм элементов во взвешенные и осаждению речной взвеси и вновь образованных из раствора взвешенных частиц в донные осадки.

Не удивительно, таким образом, что основная часть приносимого к границе река-море рекой осадочного материала просто не может проникнуть в открытую область приемного бассейна. Во многих предыдущих работах, цитируемых в [4, 10], было показано, что в рассматриваемой зоне выпадает из транспорта в открытые воды до 80–95% транспортируемого рекой к морю твердого речного материала. Следует, однако, подчеркнуть, что такие оценки потерь осадочного вещества в мф рек почти всегда были основаны практически на единичных попытках получить их. В то же время, понятно, что все упоминаемые выше и другие процессы в зоне мф сильно зависят от сезона, по крайней мере, в зонах

умеренной и северной климатических зон.

Результаты наших первых попыток обобщить результаты и оценить средние за год потери взвеси, железа и марганца и других элементов в зоне мф С. Двины были опубликованы в работе [5]. Оказалось, что оценки потерь взвеси и химических элементов в воде и взвеси С. Двины, с учетом влияния сезонных вариаций, гораздо ниже, чем упомянутые выше для крупнейших рек мира, хотя причины более низких потерь взвеси в зоне река-море были связаны не только с сезонностью, но и с особенностями водосборного бассейна реки.

Цель настоящего сообщения состоит в том, чтобы представить результаты обобщения полученных нами и доступных из литературы данных по проблеме влияния маргинального фильтра С. Двины на потоки растворенного и взвешенного речного осадочного материала за последние 20 лет. Продемонстрировать новые оценки годовых потерь взвеси и металлов с учетом сезонных влияний на протекающие в мф процессы.

Материалы и методы. За последние 20 лет, начиная с 2000 г, сотрудники Лаборатории физико-геологических исследований ИО РАН под руководством А.П. Лисицына проводили работы в бассейне Белого моря. С мая 2015 г. по настоящее время ведутся систематические исследования стоков С. Двины и процессов в зоне ее мф в рамках проекта «Обсерватория мф С. Двины» Весной 2019 г. завершена первая фаза проекта, выполнено 8 разрезов река–море.

Работы по отбору проб на разрезах река–море проводились, как правило, с бортов малых и крупных НИС, таких как «Академик Мстислав Келдыш», «Профессор Штокман» и другие. В зимний период использовались ледокольные суда. Несколько попыток работать на небольших катерах, для которых выход в море до типичной для моря солености был недоступен, приводили в ряде случаев к неадекватным результатам, не позволяющим оценить потери взвеси и металлов в зоне мф. В последние годы пользовались заходами крупных НИС в порт Архангельска. В полученных с поверхности моря пробах воды определялась соленость, вода фильтровалась на борту судна, фильтрат подкислялся азотной кислотой и поступал в ИО РАН на ААС определения металлов, а фильтры со взвесью использовались для весового определения концентрации взвеси и определения металлов во взвеси.

Как ранее было показано [5, 7–8], для оценки потерь взвеси и металлов в зоне мф авторы использовали разработанный еще в 70-х годах прошлого века простой метод оценки потерь вещества в зоне смешения речных и морских вод [9]. Он заключается в том, что на зависимости концентрации того или иного элемента/компонента от солености проводится касательная в области высокой солености. Разница между концентрацией элемента/компонента в речной воде ( $C_0$ ) и в точке пересечения касательной с осью У ( $C_x$ ), отнесенная к  $C_0$ , дает вполне адекватную оценку их потерь в

мф, в % от исходной речной концентрации. К сожалению, достаточно часто встречаются случаи, когда зависимости от солёности оказываются сложными, не позволяющими провести надёжно касательную в области высокой солёности, что не даёт возможности получить оценку потерь.

Результаты и обсуждение. Результаты определения потерь взвеси и металлов в МФ, выполненных на основе большей части собственных и доступных литературных данных, представлены в Таблице. Как видно из рисунка, потери в зоне МФ С. Двины по результатам почти двух десятков разрезов река-море во все сезоны года вполне определённо показывают, что они сильно зависят от сезона. Максимум потерь наблюдается в период весеннего половодья, когда наиболее высоки доли коллоидных фракций Fe и Mn, тогда как в остальные периоды года потери снижаются как для взвешенного вещества, так и для металлов. Мы имеем возможность, пользуясь полученными зависимостями уровня потерь от сезона года, получить новые, ранее никем не публиковавшиеся, средне-взвешенные по водному стоку величины потерь взвешенного вещества, железа и марганца в воде эстуарной зоны (зоне МФ) С. Двины.

Таблица. Потери взвеси, растворенных Fe и Mn (в %) в зоне МФ С. Двины в разные годы и сезоны.

№	Экспедиция	Взвесь	Fe раст.	Mn раст.
1	Акванавт-2, октябрь 2001	– <sup>1</sup>	60	0
2	Акванавт-2, июнь 2003	64	71	–
3	Айсберг-2, май 2004	н.д. <sup>2</sup>	73	26
4	Сухопутная, март 2005	–	26	30
5	Капитан Чадаев, февраль 2006	43	44	н.д.
6	Акванавт-2, май 2006	80	87	47
7	ПШ-80, август 2006	–	63	–
8	Сухопутная, март 2010 <sup>3</sup>	н.д.	15	0
9	Катер, ноябрь 2010 <sup>3</sup>	н.д.	46	–
10	Катер, июль 2012 <sup>3</sup>	н.д.	72	–
11	Катер, май 2015	–	79	–
12	АМК-63, август 2015	20	42	30
13	Катер, май 2016	–	80	84
14	АМК-67, август 2015	36	72	69
15	АМК-68, август 2017	52	51	53
16	АМК-71, август 2018	71	–	–
17	АМК-75, август 2019	60	н.д.	н.д.

<sup>1</sup>Прочерк означает невозможность определить потери по зависимости концентрации от солёности; <sup>2</sup>нет данных; <sup>3</sup>оценки потерь получены из первичных данных работы [9], в которой исследовались только растворенные формы элементов.

Потери взвеси в МФ реки составляют в среднем за год 55%, а с учетом сезонных колебаний (средневзвешенные по стоку) 58% (отметим, что на основе всех доступных до 2010 г. по всем рекам мира потери взвеси

оценивались в 80–95% [4]). Соответствующие значения для растворенных Fe и Mn равны 55% (60–90% [4]) и 22% (20–30% [4]). Неожиданно, разница между средними и средневзвешенными по стоку оказались весьма незначительными – для Fe<sub>p</sub> эти оценки совпали полностью, для Mn<sub>p</sub> среднее значение по 8 определениям оказалось даже выше 36%. Что касается данных по взвешенным формам металлов, то поскольку зависимости концентраций Fe и Mn от солености, выраженные в мкг/л, очень часто повторяют поведение самого взвешенного вещества, то в первом приближении можно принять потери взвешенных форм металлов в мф равными потерям самой взвеси.

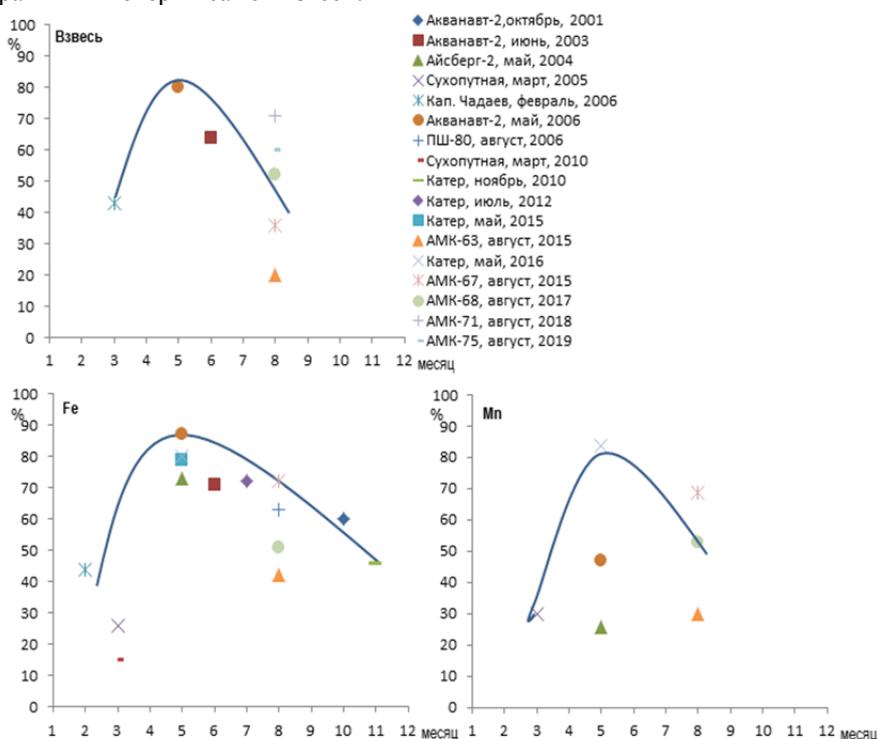


Рисунок. Потери взвеси, растворенных Fe и Mn (в %) в зоне мф С. Двины в разные годы и сезоны.

Таким образом, так называемые чистые стоки взвеси, железа и марганца в растворе и взвеси легко подсчитать, вычитая выбывающие в зоне мф их массы из валовых стоков. Последние недавно были представлены в работе [6].

**Выводы.** Обобщение выполненных за последние два десятка лет исследований переходной между Северной Двиной и Белым морем зоны

(маргинального фильтра) показало, что протекающие в ней процессы трансформации речного осадочного материала приводят к удалению в среднем за год 58% твердого стока и 55% стока растворенных железа и 22% марганца. Потери взвешенных форм металлов оцениваются в первом приближении равным потерям самого взвешенного вещества.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 19-17-00234.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974. 456 с.
2. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
3. Lisitzin A.P. The continental-ocean boundary as a marginal filter in the World Oceans / *Biogeochemical cycling and sediment ecology*. Dordrecht: Springer, 1999. P. 69–103.
4. Гордеев В.В. Геохимия системы река–море. М.: ИП Матушкина И.И. 2012. 452 с.
5. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Покровский О.С., Шевченко В.П., Дара О.М. Особенности геохимии речного стока в Белое море // *Система Белого моря*. М.: ГЕОС, 2012. С. 225–308.
6. Гордеев В.В., Шевченко В.П., Коробов В.Б. и др. Концентрации химических элементов в воде и взвеси р. Северная Двина и их годовой валовый сток в Белое море // *ДАН*. 2021. Т. 500 (1). С. 95–102.
7. Коченкова А.И., Новигатский А.Н., Гордеев В.В., Коробов В.Б., Белоруков С.К., Лохов А.С., Яковлев А.Е. Особенности сезонного распределения взвеси и органического углерода по данным обсерватории «Маргинальный фильтр реки Северная Двина» // *Океанологические исследования*. 2018. Т. 46 (2). С. 96–111.
8. Коченкова А.И., Новигатский А.Н., Гордеев В.В. Распределение взвеси в маргинальном фильтре Северной Двины в конце лета // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 2. С. 106–112.
9. *Estuarine chemistry* / Burton J.D. and Liss P.S. (eds.). London: Academic Press, 1976. 229 p.
10. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S., Viers J., Gordeev V.V., Shevchenko V.P., Chupakov A.V., Zouiten C. Fate of colloids during estuarine mixing in the Arctic // *Ocean Science*. 2014. V. 10(1). P. 107–125.

It was determined on a base of the last 20 years investigations in the marginal filter zone of the Severnaya Dvina River that the losses of suspended matter, dissolved and suspended forms of iron and manganese were significantly depended on the seasons. The average-weighted on water discharge estimations of SPM, dissolved and suspended forms of Fe and Mn were 58, 55 and 22% from total flux.

**Демиденко Н.А.<sup>1,2</sup>, Алабян А.М.<sup>3</sup>, Панченко Е.Д.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва; <sup>2</sup>Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, г. Москва, demidenko\_nikola@mail.ru,

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, andrei\_alabyan@mail.ru).

**Динамика взвешенных наносов и процессы седиментации в эстуариях Мезени и Кулоя Белого моря**

**Demidenko N.A.<sup>1,2</sup>, Alabyan A.M.<sup>3</sup>, Panchenko E.D.<sup>3</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, <sup>2</sup>Zubov State Oceanographic Institute, Moscow;

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography)

**Suspended sediment dynamics and estuarine sedimentation in the Mezen and Kuloy estuaries of the White Sea**

Ключевые слова: эстуарии, взвешенное вещество, пробка мутности, эстуарийная седиментация, донные формы рельефа, Белое море

В типичных эстуариях Мезени и Кулоя, имеющих эрозионное воронкообразное расширение в сторону моря и испытывающих сильное воздействие приливных колебаний уровня, основными факторами динамики взвешенного вещества и процессов седиментации являются реверсивные приливно-отливные течения, речной сток воды и наносов, стонно-нагонные явления и изменение вдольберегового транспорта взвешенных наносов в результате абразии берегов.

В макроприливных эстуариях с величиной приливов более 4 м, к которым относятся эстуарии Мезени и Кулоя, придонное перемещение взвешенных наносов вверх по эстуарию возникает вследствие асимметрии скоростей приливных течений. Зона смешения речных и морских вод функционирует как своеобразный гидродинамический и геохимический барьер, разделяющий эстуарий на области с резко отличающимися условиями осадконакопления.

Авторам в 2005, 2007–2009 и 2015–2019 гг. представилась возможность провести полевые гидрологические и геофизические исследования в эстуарии и на устьевом взморье р. Мезени и получить новые данные по режиму вод и наносов, морфологии дна и составу донных отложений.

Устьевая область Мезени и Кулоя относится к эстуарному типу. Она имеет сложную структуру, которая включает два речных устьевых участка, подверженных влиянию приливных колебаний уровня, два расширяющихся вниз по течению приливных эстуария и общее устьевое взморье – юго-восточную часть Мезенского залива (рис. 1). Вершина эстуария Мезень находится в 40 км от устьевого створа, у м. Белый Нос в районе г. Мезень. Вершина эстуария р. Кулой располагается в районе д. Долгощелье, в 30 км от устьевого створа. За устьевой створ этой реки принимается створ по направлению м. Карговский – м. Харин Нос.



Рис. 1. Схема Мезенского залива и устьевой области Мезени и Кулоя.  
 1 – граница устьевого взморья: м. Абрамовский – р. Мгла; 2 – устьевой створ эстуария Мезень; 3 – устьевой створ эстуария Кулой; 4 – граница проникновения морской воды в эстуарий Мезень; 5 – вершина эстуария Мезень – м. Белый Нос; 6 – граница проникновения морской воды в эстуарий Кулой.

За период наблюдений с 1921 по 2015 гг. средний годовой расход воды в вершине устьевой области р. Мезени составил  $850 \text{ м}^3/\text{с}$ , годовой сток воды в замыкающем створе с. Дорогорское составил  $27.4 \text{ км}^3/\text{год}$ , изменяясь в многолетнем разрезе в модульных коэффициентах от 0.57 до 1.37. Сток по устью Кулоя получен расчетным путем и средний расход в вершине устьевой области р. Кулой у с. Карьеполье равен  $180 \text{ м}^3/\text{с}$ , объем стока –  $6.76 \text{ км}^3/\text{год}$ . Коэффициент вариации годового стока равен 0.19.

Сизигийный прилив в районе устьевого створа эстуария Мезени у д. Семжи достигает 8.5 м и 4.8 м в квадратуру. Продолжительность подъема уровня воды равна 5.0 ч., падения уровня воды – 7.4 ч., коэффициент асимметрии приливной волны  $K_{ac}=0.39$ . Средний уровень воды, зафиксированный на ГМС Семжа, составил 350 см над местным нулем или – 26 см над «0» Кронштадского футштока. Многолетний размах колебаний уровня воды составил на ГМС Семжа 1003 см.

Приливные течения, имеющие в Мезенском заливе эллиптический характер, трансформируются из вращательных в реверсивные. Максимальные скорости приливных течений превышают максимальные

скорости отливных течений. Во время сизигийных приливов наибольшие приливные скорости течения в устьевом створе Мезени отмечаются через 3 часа после малой воды (МВ) и за 2–3 ч до полной воды (ПВ) и достигают 1.6–1.8 м/с, а наибольшие скорости отливного течения наблюдаются через 3 ч после ПВ и достигают 1.2 м/с (рис. 2).

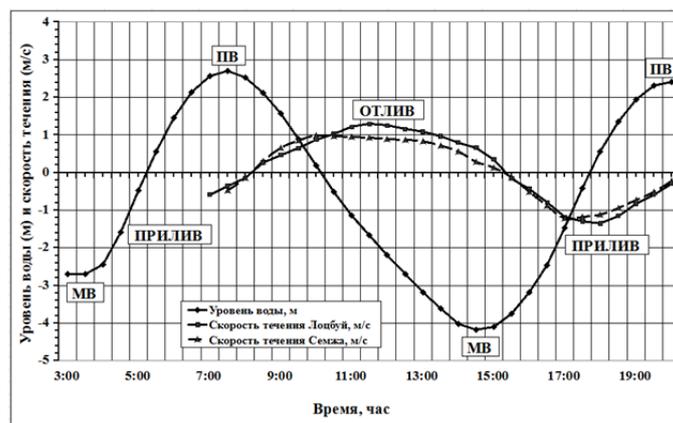


Рис. 2. График хода уровня на водпосту Семжа и скорости течения за приливный цикл в устьевом створе (станция Лоцбуй) эстуария Мезени 26.07.2007 г. и на станции Семжа (6 км от УС) 8.08.2015 г.

Эрозионно-аккумулятивные процессы эстуариях Мезени и Кулоя обусловлены приливо-отливными течениями, речными расходами воды и стоком наносов, ветровым волнением и вдольбереговым потоком наносов за счет абразии морских берегов. В приливных морях и эстуариях главной причиной изменения потока наносов является абразия морских берегов. В Мезенском заливе ее темпы могут достигать 10 м/год. На участке устья р. Семжи – м. Рябинов за 5 лет берег эстуария Мезени отступил на 15 м. В среднем скорость отступления высокого и обрывистого берега около 1.5 м/год. Интенсивная абразия восточного берега эстуария Мезени вблизи устья р. Семжи привела к разрушению жилой застройки. Количество обломочного материала, поступающего в водную толщу от абразии берегов Мезенского залива достигает 30 млн.т/год [1]. В сравнении с этим объемом, сток речных наносов, равный 0.8 млн.т/год, оказывается незначительным.

Сильные приливо-отливные течения обуславливают высокую динамичность рельефа дна эстуария. Основной приливо-отливный канал на участке р. Семжа–р. Пыя сместился от восточного края эстуария Мезени (1893 г.) к его центральной части (1927 г.), а затем, начиная с 1960 г., к западному берегу эстуария. До 30-х годов XX в. на месте современных осушек существовал судоходный фарватер, ориентированный в сторону

устья р. Семжи. В настоящее время для судоходства используется только западный фарватер эстуария Мезени. В целом для эстуария характерна тенденция к его заполнению наносами и обмелению. Со времени первого инструментального обследования залива в 1914–1915 гг. глубины в районе устьевого створа эстуария Мезени уменьшились на 2–3 м. Эти же тенденции характерны и для вершины эстуария в районе г. Мезень.

Характерной особенностью динамики взвешенных наносов в зоне смешения речных и морских вод является формирование зоны максимальных значений мутности или «литоклина» [2]. Возникновение этой зоны обусловлено процессами флокуляции глинистых частиц и органического вещества, а также особенностями эстуарной циркуляции воды [2, 3]. В ее пределах мутность воды значительно превосходит мутность в речных и морских водах.

В эстуарии Мезени миграция зоны максимума мутности за приливный цикл составляет 20–25 км. Течения перемещают наносы различной крупности и создают зону высокой мутности в эстуарии – «пробку мути» с максимальной концентрацией взмученных в прилив наносов до  $10\text{--}13 \text{ кг/м}^3$ , ядро которой располагается в 15–20 км от устьевого створа. Так, например, у д. Пыя величина мутности в придонном горизонте колеблется от 0.5 до  $8.5 \text{ кг/м}^3$  (средняя –  $3.5 \text{ кг/м}^3$ ), а у д. Семжа от  $0.35$  до  $13 \text{ кг/м}^3$  [4]. В период наблюдения на суточной станции в августе 2015 г. на фарватере эстуария Мезени по траверзу д. Семжа (в 6.5 км от УС) при квадратурных приливах мутность воды в поверхностном горизонте изменялась от  $128 \text{ г/м}^3$  в ПВ до  $1.3 \text{ кг/м}^3$  в МВ. В придонном горизонте мутность воды изменялась в значительном диапазоне от  $150 \text{ г/м}^3$  в ПВ до  $56 \text{ кг/м}^3$  в МВ при подходе «пробки мутности». Максимальная концентрация взвешенного вещества в воде в придонном горизонте была  $56.3 \text{ кг/м}^3$  и наблюдалась в начальной фазе прилива (МВ+1 ч) при обратных скоростях течения  $0.3 \text{ м/с}$ .

Высокая мутность воды и транспорт наносов в эстуариях Мезени и Кулоя активно влияют на переформирование донных форм рельефа и морфологии береговой зоны залива. Русло реки в районе вершины эстуария Мезени характеризуется чередованием плесов и перекатов. Оно заполнено многочисленными подвижными отмелями, которые быстро изменяют свое плановое положение. Глубина потока на перекатах в малую воду не превышает 1.0 м.

В вершине эстуария существует система больших, не затопляемых в прилив, островов, прижатых к правому берегу. Острова Середовая Кошка, Заречье, Балуиха образуют начальную стадию приливной дельты реки. Они имеют относительно молодой возраст. В 6 км от устьевого створа отметки их поверхности имеют высоту, совпадающую с отметками уровней воды в период отлива. Причиной односторонней группировки дельтовых островов является преобладающая ориентация приливного потока, прижимающегося к левому берегу реки [5].

Ниже о. Мишина Кошка (в 25 км от устьевое створа) располагается зона затапливаемых в прилив песчано-илистых осушек. Зона больших гряд и осушек простирается до участка крутого изгиба эстуария в створе м. Толстик–устье р. Пыи. Размеры гряд постепенно увеличиваются, превращаясь в сплошной массив ваттов. Вследствие интенсивного перемещения наносов происходят интенсивные деформации ваттовых илисто-песчаных отмелей, переформирования ложа эстуария и резкие смещения фарватеров по ширине эстуария. Вследствие этого г. Мезень, находившийся в XVI в. на берегу эстуария Мезень, сейчас отделен от реки дельтовой равниной шириной 2.5 км. В целом идет процесс заполнения эстуария Мезени речными и морскими наносами.

Аналогичные процессы заполнения эстуария морскими наносами происходят в устье Кулоя. Показателем этого служит, например, блокирование русла и образование излучины у вершины эстуария в районе мыса Митинского (ниже с. Долгощелье).

Таким образом, динамика воды и наносов в эстуариях Мезени и Кулоя тесно связана с величиной речного стока, приливными и волновыми процессами на устьевом участке реки и взморья.

Работа выполнена в рамках темы № 0128-2021-0006 государственного задания ИО РАН и при поддержке РФФИ (грант 18-05-60021, 19-35-90032).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев В.С. Вопросы динамики прибрежной зоны Мезенского залива Белого моря в связи с проектированием приливных электростанций. // Геоморфология и литология береговой зоны. М.: Наука, 1971. С. 23–29.
2. Dyer K.R. Coastal and estuarine sediment dynamics. Chichester: Wiley, 1986. 342 p.
3. Демиденко Н.А., Землянов И.В., Горелиц О.В., Михайлов В.Н. Исследование гидролого-морфологических процессов в устьевой области реки Мезень для целей проектирования Мезенской приливной электростанции // Труды ГОИН. 2008. Вып. 211. С. 273–288.
4. Демиденко Н.А. Формирование максимума мутности воды в сильноприливных эстуариях Мезени и Кулоя // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Т. IV. М.: ГЕОС, 2009. С. 65–69.
5. Римский-Корсаков Н.А., Коротаев В.Н., Иванов В.В., Пронин А.А., Демиденко Н.А. Гидрологический режим и литологические процессы в эстуарии Мезени // Океанология. 2018. Т. 58. № 4. С. 1–9.

In the typical Mezen and Kuloy estuaries, which have an erosion funnel-shaped extension towards the sea and are strongly affected by tidal level fluctuations, the main factors in the dynamics of suspended matter and sedimentation processes are reversible tidal currents, river flow of water and sediments, surge phenomena and changes of the longshore transport of suspended sediments as a result of coastal abrasion.

**Зарецкая Н.Е.<sup>1</sup>, Корсакова О.П.<sup>2</sup>, Баранов Д.В.<sup>1</sup>,  
Луговой Н.Н.<sup>1,3</sup>**

(<sup>1</sup>Институт географии РАН, г. Москва, e-mail: n\_zaretskaya@inbox.ru;

<sup>2</sup>Геологический институт ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты; <sup>3</sup>МГУ им. Ломоносова, г. Москва)

### **Поздненеоплейстоценовый разрез юго-восточного Беломорья**

**Zaretskaya N.E.<sup>1</sup>, Korsakova O.P.<sup>2</sup>, Baranov D.V.<sup>1</sup>,  
Lugovoy N.N.<sup>1,3</sup>**

(<sup>1</sup>Institute of Geography RAS, Moscow; <sup>2</sup>Geological Institute of FRC KSC RAS, Apatity;

<sup>3</sup>Moscow State University, Moscow)

### **Late Pleistocene summary section of South-eastern White Sea region**

Ключевые слова: поздний неоплейстоцен, оледенения, морская трансгрессия, ледниково-морской седиментогенез, хронология, Белое море

На восточном побережье Белого моря изучались естественные обнажения позднеплейстоценовых отложений, вскрывающие морские, ледниково-морские и ледниковые отложения для установления их возраста и условий формирования. Установлено, что в разрезах представлены шесть разновозрастных толщ. Генезис и стратиграфическое положение, по крайней мере, двух из них пока неясны.

Белое море, представляющее собой внутренний шельфовый бассейн, расположено в области сочленения двух крупнейших современных геоструктур Восточно-Европейской платформы, а именно: тектонически активной северо-восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита (северо-западное Беломорье) и более стабильной северо-западной части Русской плиты (юго-восточное Беломорье), на которую и направлено наше внимание. Она включает в себя Двинский и Мезенский заливы, Онежский полуостров и Беломорско-Кулойское плато, в пределах которых побережья имеют свои географические названия (с запада на восток) – Онежский, Летний, Зимний, Абрамовский, Конушинский и Канин берега. Для изучения поздненеоплейстоценовых отложений в 2020–21 гг. проведены полевые работы, в результате которых были получены новые данные по хроностратиграфии и палеогеографии Зимнего и Абрамовского берегов, прилегающих к Беломорско-Кулойскому плато.

Реконструкции поздненеоплейстоценовой истории юго-восточного Беломорья все еще основаны на противоречащих друг другу концепциях, касающихся хронологии и событийности оледенений. Пока достоверно установлено, что в начале позднего неоплейстоцена здесь имела место обширная бореальная трансгрессия, синхронная изотопно-кислородной стадии 5e и микулинскому межледниковью [1, 2]. В ранневалдайское время,

многими сопоставляемого с МИС5d – МИС4, здесь предполагается несколько ледников с центром в Карско-Баренцевоморском регионе. Это оледенения, которые возможно развивались 90 тыс л.н. [3], 75–70 тыс л.н. и 70–65 т.л.н. [4], отмечаются и оледенения ранневалдайского, но неустановленного конкретно возраста [5, 6]. Кроме того, на рубеже раннего и среднего валдая, т.е на границе МИС4 и МИС3 60 тыс. л.н., реконструируют и оледенение [3], и морскую трансгрессию, названную мезенской [7], после которых опять наступило оледенение 50–45 тыс. л.н. [4]. Некоторого единообразия мнений исследователи достигают только в отношении последнего оледенения во время МИС2, которое полностью перекрывало район исследования, однако его восточная граница и границы разновозрастных его стадий пока не установлены [8]. Поэтому основная цель наших исследований – получение достаточно достоверных геохронологических и литостратиграфических данных для реконструкции поднеоплейстоценовой истории региона.

В ходе исследований на Зимнем и Абрамовском берегах Белого моря изучались разрезы рыхлых отложений, проводилось их литостратиграфическое описание, отбор образцов на ОСЛ-датирование и диатомовый анализ, а также привязка слоев и образцов к Балтийской шкале высот. По серии разрезов уже получены первые ОСЛ-даты, на основе которых мы приводим некоторые предварительные результаты.

Сводный разрез позднего неоплейстоцена юго-восточного Беломорья выглядит следующим образом (рис.). Нижняя часть разреза представлена отложениями микулинского межледниковья. Ранее они были описаны в скважине в Горле Белого моря. Это пески, перекрытые мореной последнего оледенения и датированные 161–111 тыс. л.н. В подстилающих их голубовато-серых глинах выявлен комплекс фораминифер, представленный преимущественно бореальными видами [9]. На прилегающей суше отложения микулинского времени обнаружены нами в подошве одного из разрезов на Зимнем берегу. Они представлены розовато-бурой толщей мелкозернистого песка со знаками ряби, неравномерно переслаивающегося с алевритом. По песку получена ОСЛ-дата 104 тыс. л.н. Мы предполагаем, что толща формировалась в прибрежно-морских условиях приливного моря.

Была выявлена еще одна толща, представленная темно-серыми до черного алевритистыми глинами, иногда с обломками пород разной степени окатанности, иногда без таких включений, с ракушечным детритом или целыми раковинами. Эти отложения встречаются в нижних частях разрезов практически по всему Зимнему берегу. Подошва толщи не вскрывается. По нашим предположениям, эта толща представляет собой морские или ледниково-морские осадки. По-видимому, она накапливалась в обстановке ледовитого моря в условиях покровного оледенения, когда граница ледника, наступавшего со стороны Баренцева моря, возможно находилась в Мезенском заливе или Воронке Белого моря. Возможный возраст этой

толщи соответствует МИС 5d или МИС 5b.



Рисунок. Сводный разрез неоплейстоценовых отложений юго-восточного Беломорья

Третья толща, с разрывом лежащая на предыдущей, представлена «немыми» коричневыми глинами, вверх по разрезу сменяющимися песчаными слоистыми отложениями с ракушечным детритом и целыми

раковинами. Она прослеживается во всех разрезах Зимнего и Абрамовского берегов. Для этой толщи были получены ОСЛ-даты в диапазоне 62-52 тыс. л.н. Ее можно коррелировать с отложениями мезенской трансгрессии, реконструированной для Чешской губы и Мезенского залива, возраст которой оценивается в 60 тыс. л.н. [7] и для которой была получена большая серия дат в диапазоне 77–52 т.л. [4, 7, 8].

В стратиграфической последовательности юго-восточного Беломорья в двух разрезах Зимнего берега в восточной части побережья Двинского залива была выделена еще одна толщина. Она представлена переслаиванием песка и алеврита, иногда алевритистой глины, с невыдержанными прослоями песка с гравием, галькой и валунами. Для этой толщи были получены ОСЛ-даты в диапазоне 39–34 тыс. л.н. Генезис этой толщи пока не выяснен.

Неясно пока и происхождение серии геологических тел, обнаруженных нами на юго-восточном берегу пролива Горло (Зимний берег). Они встречаются от устья р. Ручьи до мыса Толстый Нос, и представляют собой линзовидные тела длиной до 500 м и мощностью до 25 м, сложенные переслаивающимися тонкозернистым песком и алевритом, частую переходящим в глинистый алеврит. Мощность прослоев как тех, так и других осадков варьирует от долей мм до первых десятков см. В некоторых их пачках прослеживаются знаки ряби. Эти тела залегают стратиграфически выше отложений мезенской трансгрессии, иногда сменяя их по простиранию. Они перекрыты глинистыми валунно-галечными отложениями, возможно являющимися мореной. Однако, их возраст и генезис пока под большим вопросом.

В кровле стратиграфической последовательности позднего неоплейстоцена юго-восточного Беломорья отмечена толщина, синхронная МИС 2, включающая осадки ледникового парагенетического ряда. Предположительно морена последнего оледенения прослежена нами на всем протяжении Зимнего и Абрамовского берегов, а отложения стадий деградации последнего ледника отмечена на «побережье Двинского залива в пределах Зимнего берега. Здесь по флювиогляциальным отложениям была получена ОСЛ-дата 15 тыс. лет. Мощность ледниковых и водно-ледниковых отложений изменяется от 18–20 м в западной части исследованного района до 1–2 м в восточной. В разрезе на мысе Абрамовский по водно-ледниковым пескам ранее была получена ОСЛ-дата 21 тыс. л. [4].

Таким образом, можно предположить, что на протяжении почти всего позднего неоплейстоцена, кроме МИС2, в пределах юго-восточного Беломорья доминировали морские обстановки осадконакопления. Множественность оледенений в ранневалдайское время пока представляется сомнительной и противоречит полученным литологическим и геохронологическим данным. Следует отметить, что наиболее полные позднечетвертичные разрезы вскрываются в разрезах Зимнего берега,

сильно сокращаясь на Абрамовском берегу, где на глинах и песках мезенской трансгрессии лежат отложения максимальной стадии последнего оледенения. Можно предположить, что Абрамовский берег, в отличие от Зимнего, в новейшее время испытывает тектоническое погружение.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-05-00613).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаврова М.А. О географических пределах распространения бореального моря и его физико-географическом режиме // Проблемы палеогеографии четвертичного периода. Труды института географии. 1946. Вып. 37. С. 64–79.
2. Девятова Э.И. Природная среда позднего плейстоцена и ее влияние на расселение человека в Северодвинском бассейне и Карелии. Петрозаводск, 1982. 156 с.
3. Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I. et al. Late Quaternary ice sheet history of Northern Eurasia // *Quaternary Science Reviews*. 2004. V. 23. P. 1229–1271.
4. Larsen E., Kjær K.H., Demidov I.N., Funder S., Grøsfjeld K., Houmark-Nielsen M., Jensen M., Linge H., Lysa A. Late Pleistocene glacial and lake history of Northwestern Russia // *Boreas*. 2006. V. 35 (3). P. 394–424. <https://doi.org/10.1080/03009480600781958>
5. Семенова Л.Р., Рыбалко А.Е., Журавлев В.А. Четвертичная система // ГК РФ (1:1000000), третье поколение, серия Мезенская, лист Q-38 (Мезень), Объяснительная записка. 2012. С. 86–122.
6. Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko M. Glaciomorphological map of the Russian Federation // *Quaternary International*. 2016. V. 420. P. 4–14.
7. Jensen M., Larsen E., Demidov I., Funder S., Kjær K.H. Depositional environments and sea level changes deduced from Middle Weichselian tidally influenced sediments, Arkhangelsk Region, northwestern Russia // *Boreas*. 2006. V. 35. P. 521–538.
8. Zaretskaya N.E., Rybalko A.E., Repkina T.Yu., Shilova O.S., Krylov A.V., Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangelsk region, Russia): stratigraphy and palaeoenvironments // *Quaternary International*. 2020. V. 605–606. P. 126–141. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.057>
9. Соболев В.М. Состав, стратиграфия четвертичных отложений Горла Белого моря и основные черты его палеогеографии // Региональные палеогеографические реконструкции. 2008. С. 144–156.

On the eastern coast of the White Sea, natural outcrops of Late Pleistocene sediments including marine, glaciomarine and glacial deposits were studied, to establish their age and sedimentary setting. It was found that the sections include six strata of different ages. The origin and stratigraphic position of at least two of them still remains unclear.

**Иглин С.М.<sup>1</sup>, Коробов В.Б.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>ФГУП «Росморпорт», г. Москва, e-mail: [iglin.sm@bk.ru](mailto:iglin.sm@bk.ru); <sup>2</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва)

**Исследование влияния глубины судоходного канала на его заносимость в период сильных штормов на устьевом взморье Северной Двины**

**Iglin S.M.<sup>1</sup>, Korobov V.B.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>FSUE Rosmorport, Moscow; <sup>2</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Investigation of the influence of the depth of the navigable canal on its drift during severe storms on the estuary seaside of the Northern Dvina**

Ключевые слова: заносимость, шторм, судоходный канал, Белое море, Северная Двина

Оценивалось влияние средних и минимальных глубин Мудьюгского канала на устьевом взморье реки Северная Двина на объемы его штормовой заносимости. Установлено, что связь минимальной глубины на канале и штормовой заносимости отсутствует, а для средних глубин связь можно охарактеризовать как слабую.

Заносимость, то есть обмеление судоходных акваторий – негативный процесс, протекающий под воздействием природных и антропогенных факторов. Судоходные объекты подвержены заносимости неравномерно, отдельные участки заносятся более интенсивно из-за особенностей морфологии дна и берегов. Наибольших масштабов транспорт наносов достигает во время штормов. Морфодинамические процессы формирования рельефа морского дна в ходе штормовых процессов обусловлены комплексным взаимодействием системы «атмосфера–гидросфера–литосфера», имеют сложную и многокомпонентную структуру.

Морской порт Архангельск находится в устьевой области реки Северная Двина. Особенности гидродинамического режима акватории формируют локальные зоны с обособленными гидрохимическими и гидрофизическими характеристиками, могут существенно определять специфику рельефа и литодинамику речного и морского дна [1]. Наиболее подверженной наносам акваторией является Мудьюгский канал – северные 9.5 км судового хода (рисунок) с годовой заносимостью до 1 млн м<sup>3</sup>. Формирование рельефа дна устьевого взморья Северной Двины определяется в основном стоком воды и наносов, а также морским волнением [2]. Деформация дна взморья носит сезонный характер: наиболее интенсивно рельеф взморья изменяется осенью в период действия штормовых ветров северо-западного направления [3].

Транспорт наносов и, следовательно, заносимость определяется главным образом течениями и волнением [4], а также взаимодействием волн и

течений [5]. В период штормов практически всю морскую акваторию, по которой проходит канал, можно отнести к зоне обрушения волн. Во время обрушения волны взмучивают осадки и генерируют сильные течения, которые вместе с постоянной циркуляцией, приливами и стоком Северной Двины формируют чрезвычайно сложную картину сильных течений, до сих пор недостаточно изученную и с трудом поддающуюся моделированию.

Наносы, находящиеся в канале в течение года и существенно не влияющие на судоходство, находятся как правило ближе к нижним бровкам канала и формируют конфигурацию откоса канала. Целью работы является оценка влияния глубин Мудьюгского канала до шторма на его штормовую заносимость.

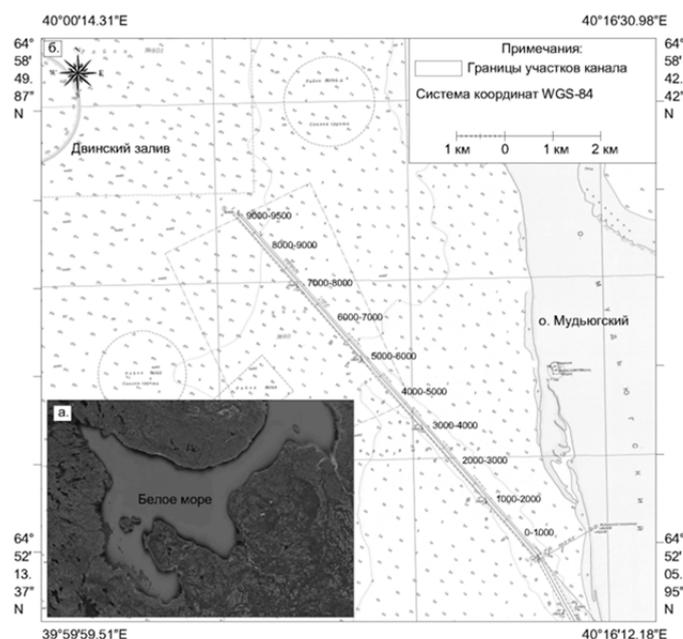


Рисунок. Схема расположения Мудьюгского канала в Белом море

Основой для оценки послужили съемки рельефа дна, полученные в ходе гидрографических работ, выполненных в период с 2011 по 2020 гг. Архангельским филиалом ФГУП «Росморпорт», представляющие собой XYZ-файлы в ASCII формате с генерализацией глубин в 1 м по средним значениям. Методики расчета объемов заносимости описывались ранее авторами [6, 7]. Выполненные гидрографические исследования и примененные методы подсчета объемов соответствуют актуальным нормативным, техническим и регламентирующим документам.

Оценка влияния глубин канала на его штормовую заносимость выполнялась путем расчета коэффициентов линейной корреляции Пирсона ( $r$ ) в программном продукте Microsoft Excel. Было проанализировано 90 XYZ-файлов рельефа дна и учтены данные о 56 штормовых явлениях со скоростью ветра от 10 до 26 м/с длительностью от 1 до 4 суток. Диапазоны глубин перед штормами и объемов заносимости для исследуемых штормов представлены в Таблице. Результаты оценки взаимосвязи средних и минимальных глубин на участках Мудьюгского канала и штормовой заносимости представлены в Таблице.

Таблица. Коэффициенты линейной корреляции Пирсона зависимости средних и минимальных глубин Мудьюгского канала и объемов его штормовой заносимости

Участок канала	Диапазон средних глубин, м	Диапазон минимальных глубин, м	Диапазон заносимости, м <sup>3</sup>	$r$ (по средним глубинам)	$r$ (по минимальным глубинам)
0–1000	9.32–10.39	5.24–8.24	119–30450	0.49	–0.05
1000–2000	9.36–10.24	7.24–8.84	430–56025	0.44	0.14
2000–3000	9.29–10.67	5.65–9.16	585–78005	0.33	0.30
3000–4000	8.92–10.62	7.51–9.00	108–68555	0.34	0.24
4000–5000	8.86–10.39	7.78–9.37	917–79087	0.25	0.30
5000–6000	8.69–10.65	7.62–9.91	205–117584	0.31	0.24
6000–7000	8.77–10.25	7.28–9.36	918–133676	0.29	0.28
7000–8000	9.26–10.22	8.58–9.87	1176–71097	0.46	0.29
8000–9000	9.38–10.26	8.80–9.69	169–53011	0.37	0.28
9000–9500	10.06–10.27	9.49–9.96	245–13495	–0.33	–0.24

Рассчитанные коэффициенты корреляции говорят о слабой и практической отсутствующей связи между глубиной на морском канале и его штормовой заносимостью. Связь минимальной глубины на участках Мудьюгского канала несколько ниже: средний коэффициент корреляции 0.24, и практически отсутствует на некоторых участках. Связь средней глубины на участках Мудьюгского канала можно охарактеризовать как слабую. Наибольшие коэффициенты корреляции наблюдаются на участках 0–1000, 1000–2000 и 7000–8000 (0.49, 0.44 и 0.46 соответственно), что можно предположить обусловлено конфигурацией откоса с запада. С одной стороны шторма с западным направлением ветра несут наибольший объем наносов, вследствие возможности возникновения волны большей высоты из-за существенной длины разгона волны. С другой стороны, чем меньше коэффициент заложения естественного откоса морского канала, тем более интенсивно может происходить его оползание в ходе шторма.

В целом же глубина канала слабо влияет на штормовую заносимость. Из этого можно сделать вывод, что заносимость каналов во время штормов обуславливается обрушением волн на прилегающих к нему акваториях.

Также следует принимать во внимание и состав донных отложений, которые крайне неоднородны на этой акватории [8]. Еще одной причиной различного влияния прилегающей акватории на заносимость могут быть особенности штормов и сочетание фаз шторма и прилива, но это является уже самостоятельной и очень сложной для реализации задачей.

В ходе проведенного исследования все шторма рассматривались как единый процесс, в то время как следует их разделять на периоды весеннего паводка, когда твердый сток максимален, и остальной период, в течение которого твердый сток существенно меньше [9]. Эти различия могут иметь принципиальное значение. Величину этих различий предстоит выяснить в течение следующих исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лещев А.В. Влияние судоходного канала порта Архангельск на перенос взвешенных веществ в зоне смешения «река–море» устья реки Северной Двины // Проблемы региональной экологии. 2018. № 2. С. 17–21.
2. Гидрология устьевой области Северной Двины / Зотин М.И., Михайлов В.Н. (ред.). М.: Гидрометеиздат, 1965. 376 с.
3. Иглин С.М., Коробов В.Б. Пространственно-временные особенности заносимости канала Мудьюгских башен в морском порту Архангельск // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 2. С. 48–58.
4. Динамические процессы береговой зоны моря. М.: Научный мир, 2003. 326 с.
5. Лавренов И.В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. 500 с.
6. Иглин С.М., Лещев А.В., Коробов В.Б. Оценка масштабов заносимости судоходного канала в морском порту Архангельск. // Инженерные изыскания. 2019. Т. 13. № 1. С. 46–54.
7. Иглин С.М., Коробов В.Б. Геоэкологическое районирование акватории морского порта Архангельск при проведении дноуглубительных работ // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 2. С. 131–149. doi:10.22449/2413-5577-2021-2-131-149
8. Маслов А.В., Шевченко В.П., Подковыров В.Н., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Новигатский А.Н., Филиппов А.С., Шевченко Н.В. Особенности распределения элементов-примесей и редкоземельных элементов в современных донных осадках нижнего течения р. Северной Двины и Белого моря // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 6. С. 463–492.
9. Коченкова А.И., Новигатский А.Н., Лисицын А.П., Гордеев В.В., Коробов В.Б., Белоруков С.К., Лохов А.В., Яковлев А.Е. Особенности сезонного распределения взвеси и органического углерода по данным обсерватории «Маргинальный фильтр реки Северная Двина» // Океанологические

исследования. 2018. Т. 46. № 2. С. 96–111. doi:10.29006/2587-9634.JOR-2018.46(2).9

The influence of the average and minimum depths of the Mudyug canal at the mouth of the Severnaya Dvina River on the volume of its storm drift was estimated. It was found that there is no connection between the minimum depth on the channel and storm drift, and for medium depths the connection can be characterized as weak.

**Коробов В.Б.**

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

**Исследования устьевых областей малых рек Белого моря  
ИО РАН в XXI веке**

**Korobov V.B.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Studies of estuarine areas of small rivers of the White Sea by IO  
RAS in the XXI century**

Ключевые слова: устьевая область, малые реки, Белое море

Исследование устьевых областей малых рек северных и арктических морей уже много лет является одним из направлений деятельности Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. В ходе этих исследований было установлено большое разнообразие процессов, протекающих в их эстуариях, и особенности маргинальных фильтров, принципиально отличающихся от средних и крупных рек.

Введение. Малые реки играют заметную роль в формировании и функционировании морских прибрежных экосистем. Вклад малых рек в природные процессы все еще не оценен должным образом. Однако, по мере роста натурных наблюдений, приводящихся непосредственно в руслах и на площадях водосбора, ситуация коренным образом начинает меняться. Получено ряд новых результатов, краткий обзор которых представлен в настоящем докладе.

Район исследований. В качестве района исследований были выбраны устьевые области Онежского, Двинского и Мезенского залива, что не в последнюю очередь обуславливалось и транспортной доступностью. Отметим, что помимо Института океанологии, в этих некоторых исследованиях принимали участие представители и других организаций Академии Наук, а также кафедры гидрологии суши Московского государственного университета.

Этапы исследований. Начало целенаправленным исследованиям устьевых областей малых рек было положено в конце прошлого века, когда к Белому морю по инициативе академика А.П. Лисицына стал применяться системный подход. Вскоре последовали и первые публикации. Поскольку этапы пересекаются, что вполне естественно, будет разумным указывать только их начало.

*Первый этап (2001 г.).* Первые масштабные исследования устьевых областей были проведены на Карельском берегу Онежского залива совместно с другими учреждениями РАН. Были получены сведения о природных процессах в эстуариях под действием на них приливных движений морских вод [1–3]. Эти результаты дали основание провести рекогносцировочные исследования и в устьевых областях других малых рек

на противоположном берегу Онежского залива, а также в Двинском заливе [4–5].

*Второй этап (2011 г.).* Его можно определить как уточняющий [6–9]. Исследования, выполненные в предшествующие годы, показали существенные различия в процессах, протекающих в устьевых областях малых рек, даже расположенных рядом. Возникла необходимость уточнения ряда характеристик, чтобы сконцентрировать внимание на ключевых вопросах. Следствием стало выбор реки Кянды на восточном берегу Онежского залива, как полигона для проведения фундаментальных исследований.

*Третий этап (2017 г.).* На этот период приходится регулярные исследования на Кянде и исследование специфических процессов в других эстуариях, включая реки Двинского и Мезенского залива [10–16]. На этом этапе ряд исследований проводился совместно с учеными географического факультета МГУ.

Основные результаты. Было получено ряд новых результатов. Наиболее важными из них являются следующие. Природные условия в устьевых областях малых рек отличаются большой изменчивостью, что обусловлено главным образом приливными движениями морских вод и ледяным покровом. В устьях малых рек приливного моря в зависимости от условий развития приливных осушек, галофитной растительности, их глубин и конфигурации береговой черты пространственная структура маргинального фильтра может кардинально отличаться от таковой в устьях больших и средних рек, таких как Северная Двина [17].

Весьма интересны результаты гидрофизических исследований. В ходе прямых измерений были обнаружены случаи распространения приливной волны по типу ударной [5] и феномен «отрицательного трения» [18]. Концентрации взвешенных веществ вследствие интенсивного турбулентного перемешивания могут повышаться на порядки [15, 19].

Заключение. Дальнейшие направления исследований видится следующим: расширение района и изучение особенности маргинальных фильтров. Как показали исследования устьевых процессов в других местах западного сектора Арктики [13], лагунные устья рек арктических островов рассматриваемого региона могут «закрывать» маргинальный фильтр, препятствуя при разрушении ледников и многолетнемерзлых грунтов переносу веществ с тальми водами с территории суши в арктические моря. Вышеуказанные условия способны создать локальные геохимических аномалии в опресняемых лагунах западного сектора российской Арктики, включая накопление токсических веществ.

Также необходимо расширить исследования ионного состава снежного покрова на площадях водосбора, характеристики которого отличаются в прибрежной части Арктических морей [20], что оказывает влияние на гидрохимический режим малых рек и, соответственно, прилегающих к их

устьевым областям морским акваториям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долотов Ю.С., Коваленко В.Н., Лифшиц В.Х., Петров М.П., Платонов А.В., Прего Р., Ратькова Т.Н., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. О динамике вод и взвеси в эстуарии р. Кереть (Карельское побережье Белого моря) // *Океанология*, 2002. Т. 42. № 5. С. 765–774.
2. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П., Петров М.П., Кутчева И.П., Толстикова А.В., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Платонов А.В., Филиппов А.С. О характеристике природных процессов в фазы прилива и отлива в эстуариях Карельского побережья Белого моря // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 5. С. 784–792.
3. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П., Немова Н.Н., Римский-Корсаков Н.А., Денисенко Н.В., Кутчева И.П., Бояринов П.М., Петров М.П., Лифшиц В.Х., Платонов А.В., Демина Л.Л., Кухарев В.И., Коваленко В.Н., Здоровеннов Р.Э., Ратькова Т.Н., Сергеева О.М., Новигатский А.Н., Паутова Л.А., Филипьева К.В., Нюттик Е.-М., Лоренцен Х. Мониторинг приливно-отливных обстановок в эстуариях Карельского побережья Белого моря // *Водные ресурсы*. 2005. Т. 32. № 6. С. 670–688.
4. Хоменко Г.Д., Лещев А.В., Коробов В.Б. Особенности гидрологического режима устьевых областей малых рек Белого моря (по данным экспедиционных наблюдений 2010–2012 гг.) // *Геология морей и океанов. Материалы XX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. 3. Москва, 18–22 ноября 2013 г. М.: ГЕОС, 2013. С. 266–268.
5. Коробов В.Б. Исследования режима устьевых областей рек Белого моря // *Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. 3. Москва, 16–20 ноября 2015 г. М.: ГЕОС, 2015. С. 199–202.
6. Мискевич И.В. Оценка цикличности короткопериодичной изменчивости гидрологических и гидрохимических показателей в мезоприливном устье р. Кянда в Белом море в период летней межени // *Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. М.: ГЕОС, 2015. С. 235–239.
7. Мискевич И.В., Яковлев А.Е. Критерии оценки риска появления высоких концентраций взвешенных веществ в мезоприливных эстуариях Белого моря (на примере устья реки Кянда) // *Инженерные изыскания*. 2016. С. 30–35.
8. Лещев А.В., Коробов В.Б., Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Савицкий В.А., Хоменко Г.Д., Доценко И.В. Первые комплексные исследования реки Кянда и ее маргинального фильтра, Онежский залив Белого моря (22 июля – 3 августа 2014 г.) // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 5. С. 850–851.
9. Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б., Демиденко Н.А.,

Попрядухин А.А. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля – 15 августа 2016 г.) // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 3. С. 369–373.

10. Мискевич И.В. Оценка синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости гидролого-гидрохимического режима устьев малых рек Белого моря на примере эстуария реки Кянды // *Геология морей и океанов. Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. М.: ГЕОС, 2017. С. 235–339.

11. Мискевич И.В., Нецветаева О.П. Короткопериодная изменчивость насыщения кислородом вод в устьях рек Белого моря // *Проблемы региональной экологии*. 2017. № 2. С. 101–105.

12. Мискевич И.В., Чульцова А.Л., Мосеев Д.С. Марши мезомакроприливных эстуариев рек арктической зоны как источник растворенного органического азота для водных экосистем // *Естественные и технические науки*. 2018. № 4 (118). С. 75–81.

13. Мискевич И.В., Коробов В.Б. Маргинальный фильтр как регулятор поступления загрязняющих веществ в морские воды с речным стоком с островов западного сектора Российской Арктики // *Проблемы региональной экологии*. 2020. № 5. С. 87–91.

14. Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К., Булохов А.В., Коробов В.Б., Яковлев А.Е. Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 2. С. 140–145.

15. Мискевич И.В., Коробов В.Б., Алабян А.М. Специфика инженерно-экологических изысканий в приливных устьях малых рек западного сектора российской Арктики // *Инженерные изыскания*. 2018. Т. 12. № 3-4. С. 50–61.

16. Мискевич И.В., Коробов В.Б., Мосеев Д.С. Специфика формирования маргинальных фильтров в приливных устьях малых рек арктических морей. – *Океанология*, 2021, т. 61, № 1. С.141-146.

17. Коченкова А.И., Новигатский А.Н., Лисицын А.П., Гордеев В.В., Коробов В.Б., Белоруков С.К., Лохов А.В., Яковлев А.Е. Особенности сезонного распределения взвеси и органического углерода по данным обсерватории «Маргинальный фильтр реки Северная Двина» // *Океанологические исследования*. 2018. Т. 46. № 2. С. 96–111. doi:10.29006/2587-9634.JOR-2018.46(2).9

18. Алабян А.М., Панченко Е.Д. Гидравлическое сопротивление в приливных устьях и феномен «отрицательного трения» в речной гидравлике // *Инженерные изыскания*. 2017. № 3. С. 18–26.

19. Демиденко Н.А., Зиновьев А.Т., Алабян А.М., Панченко Е.Д., Фингерт Е.А., Льюменс М.Х. Исследование и моделирование параметров гидрологического режима и динамики взвешенных наносов в Мезенском заливе и эстуариях Мезени и Кулоя // *Геология морей и океанов. Материалы*

XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. Москва, 16–20 ноября 2015 г. // М.: ГЕОС, 2015. С. 175–179.

20. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора арктических морей России // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: [www.science-education.ru/106-7843](http://www.science-education.ru/106-7843) (дата обращения: 11.08.2020).

The study of estuarine areas of small rivers of the northern and arctic seas has been one of the activities of the Institute of Oceanology named after V.I. P.P. Shirshov RAS. In the course of these studies, a wide variety of processes taking place in their estuaries, and the features of marginal filters, fundamentally different from medium and large rivers, were established.

**Косевич Н.И., Брянцева Г.В., Рысакова М.А.**

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

**Морфоструктуры дна пролива Великая Салма  
(Кандалакшский залив Белого моря)**

**Kosevich N.I., Bryantseva G.V., Rysakova M.A.**

(Lomonosov Moscow State University)

**Morphostructures of the bottom of the Velikaya Salma Strait  
(Kandalaksha Bay of the White Sea)**

Ключевые слова: рельеф морского дна, морфометрический анализ, Белое море, пролив Великая Салма

Проведено исследование рельефа дна пролива Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря и составлен комплект карт на исследуемый район с помощью морфоструктурного ГИС-анализа. Построенная результирующая схема морфоструктурного районирования отражает геологическое и тектоническое строение территории.

Кандалакшский залив Белого моря характеризуется разнообразием природных процессов и сложной геологической историей. Северная и западная часть акватории моря располагаются в пределах Лапландско-Беломорского гранулитово-гнейсового подвижного пояса, разделяющего Кольский и Карельский мегаблоки Фенноскандинавского щита, а восточная часть находится в пределах Русской плиты [1]. Беломорский пояс, занимающий большую часть Кандалакшского залива, сложен «беломоридами»: кристаллическими сланцами, кварцитами, биотитовыми и гранат-биотитовыми гнейсами и амфиболитами архейского возраста, общей мощностью до 10 км. Для Лапландского пояса характерны, в основном, кислые гранулиты. На границе комплекса развиты гранатовые амфиболиты, к которым приурочены интрузивные тела субщелочных гранитов, являющиеся индикатором обстановок растяжения. Породы фундамента перекрываются осадочными отложениями ледникового, ледниково-озерного и ледниково-морского происхождения позднплейстоценового–голоценового возраста различного генезиса [2].

Расположение Беломорской впадины в области сочленения крупных тектонических структур оказало огромное влияние на формирование сложно построенного рельефа побережий и дна моря. [3, 4]. Современная структура Кандалакшского залива Белого моря находит свое отражение в унаследованном развитии Кандалакшского грабена на фоне активного воздымания западной части региона при относительном погружении его восточной части [3, 4 и др.].

Пролив Великая Салма располагается в центральной части

Кандалакшского залива Белого моря. Рельеф его дна неоднородный, от береговой линии наблюдается ступенчатое увеличение глубин от 3 до 160 м. Центральная часть представляет собой котловину, протяженностью 15 км, внутри которой выделяются локальные поднятия и впадины. В юго-западной мелководной части пролива встречаются линейно-вытянутые поднятия – гряды, которые имеют флювиогляциальное происхождение с морской переработкой. Вдоль северо-восточной части пролива прослеживается приглубый берег, его формирование связано с геологическим строением и тектонической позицией района исследования.

Отражением всех неотектонических процессов на земной поверхности является рельеф, поэтому его детальное изучение специальными геоморфологическими методами позволяет дать объективную информацию о новейшем строении района исследования. Структурные формы данного района являются наиболее молодыми и характерны для рельефа, сформировавшегося в позднеледниковое время, хотя заложение этих форм произошло значительно раньше, еще в доледниковое время. Рельеф района формировался в условиях общего поднятия Балтийского щита, при преобладании абразионных процессов над аккумулятивными, что привело к образованию абразионно-аккумулятивных равнин и низменностей.

В наиболее общем виде морфоструктурный план данного района сложился в девоне [2], однако рельеф, близкий к современному, начал формироваться на границе палеогена и неогена, то есть на этапе неотектонической активизации. Наиболее существенные рельефообразующие процессы происходили в четвертичном периоде, поскольку в это время рельеф неоднократно моделировался процессами экзарации и эрозии, а также в результате ледниковой и водно-ледниковой аккумуляции. В настоящее время на формирование рельефа оказывает наибольшее влияние неотектонический фактор.

Исследование рельефа морского дна проводилось на основе данных геоакустической съемки, результатом которой стала высокоточная батиметрическая модель дна пролива Великая Салма. Использование специальных программ для морфометрического ГИС-анализа позволило создать комплект производных морфометрических карт, определенных показателей: батиметрических уровней, углов наклона поверхности, глубины и густоты расчленения рельефа и др.

Данные батиметрической модели дна пролива Великая Салма позволили провести выделение линейных нарушений в полуавтоматическом режиме с помощью встроенного инструмента LINE ГИС Geomatica. Согласно розд-диаграмме главная ориентировка линейных нарушений ССЗ-ЮВ. В рамках визуального и автоматического дешифрирования батиметрической модели дна пролива Великая Салма выделены линейные структуры, которые приурочены к системе разломов, ограничивающих ступени и протягивающиеся вдоль пролива. Они имеют ЗСЗ и СЗ ориентировку.

Разрывные нарушения, выделенные по геофизическим данным, имеют СЗ и СВ ориентировку [5]. Поскольку разломные зоны СЗ простирания прослеживаются как в кровле архейского фундамента, так и в рельефе дна пролива, то они, по-видимому, развиваются унаследовано. Разломы СВ простирания не были выявлены при анализе батиметрии. Линейные нарушения ССЗ простирания, проявленные в рельефе дна пролива, являются новообразованными и не отражены в кровле архейских пород. Это может быть связано с тем, что они представляют собой оперяющие зоны трещиноватости разломов ЗСЗ простирания.

На карте углов наклона поверхности дна пролива Великая Салма полученные значения хорошо ранжируются на 9 областей, которые приурочены к 4 типам структур. Пологие и субгоризонтальные поверхности с максимальными значениями крутизны до  $3-5^\circ$  окаймляют юго-западную и северо-восточную части пролива, а также прослеживаются в пределах линейно вытянутых структур центральной части; участки покатых и крутых склонов со значениями до  $30^\circ$  маркируют границы между линейно вытянутыми локальными поднятиями и понижениями в пределах всего дна пролива; участки со значениями крутизны в диапазоне  $30-80^\circ$  в восточной и юго-восточной части дна пролива маркируют разломы, выделенные при анализе батиметрической карты. Грабенообразная структура в центральной части пролива хорошо маркирует участки с максимальными значениями углов наклона дна пролива. Большинство выделенных линейных нарушений хорошо прослеживаются в рисунке карты углов наклона, т.е. они соответствуют участкам крутых склонов.

На карте горизонтального расчленения рельефа наблюдается увеличение коэффициента расчленения от центра пролива к береговой линии. Выделяются слаборасчлененные, средне расчлененные, умеренно расчлененные и сильно расчлененные поверхности. Прямой корреляции выделенных областей с линейными нарушениями не наблюдается, но отмечается, что часть областей с максимальными и минимальными показателями горизонтального расчленения имеют СЗ простирание, как и большая часть выделенных линейных нарушений. Участки максимального расчленения рельефа дна пролива по горизонтали хорошо коррелируются с участками максимальных значений углов наклона.

На карте вертикального расчленения рельефа можно выделить участки очень мелко расчлененные и мелко расчлененные по вертикали (со значениями до  $7.95 \text{ м/км}^2$ ), которые прослеживаются вдоль берегов пролива в его мелководной части, а также выделяются отдельными линейно вытянутыми структурами в центральной глубокой части пролива. Среднерасчлененные по вертикали (со значениями до  $14.13 \text{ м/км}^2$ ) районы наблюдаются также в виде линейных структур, огибающих центральную впадину залива, а также отмечаются в строении юго-восточной части пролива. Глубоко расчлененные по вертикали (со

значениями более 15 м/км<sup>2</sup>) зоны выделяются в центральной части впадины пролива и соответствуют грабенообразной структуре. Участки максимального расчленения рельефа по вертикали сопоставляются с областями максимальных значений углов наклона.

По результатам ГИС-анализа полученных показателей разработана схема морфометрического районирования дна пролива Великая Салма, согласно которой выделены несколько крупных областей, отражающих геологическое и тектоническое строение района исследования: структурно-денудационные равнины прибрежного мелководья; крупная структурно-денудационная равнина с четко выраженной грабенообразной центральной частью с локальными грядами и впадинами; структурно-денудационные склоны. Данная схема дает количественное представление о распределении восходящих тектонических движений и более точную информацию о направленности и интенсивности вертикальных движений в течение новейшего этапа.

Формирование рельефа дна пролива Великая Салма шло в несколько этапов, которые нашли свое отражение в выделенных областях морфометрических комплексов и хорошо выражены в виде ступеней рельефа. Черты современного рельефа заложены совместной деятельностью плейстоценовых оледенений Фенноскандии, гляциоизостатических колебаний уровня моря и активизации тектонических движений.

Авторы признательны коллективу кафедры сейсмометрии и геоакустики Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, в частности ведущему научному сотруднику, к.т.н. Токареву Михаилу Юрьевичу и доценту к.г.-м.н. Старовойтову Анатолию Васильевичу за предоставленные материалы по результатам детальной съемки глубинного локатора бокового обзора. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АААА-А16-116033010119-4). The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. АААА-А16-116033010119-4).

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Балувев А.С., Журавлев В.А. Геологическое строение и тектоническая эволюция дочетвертичного ложа Белого моря и прилегающих территорий // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С. 9–24.
2. Терехов Е.Н. Геологическое строение Лапландско-Беломорского пояса и роль процессов растяжения в его эволюции. Автореф. дисс. д.г.-м.н. М., 2003. 49 с.
3. Шварев С.В., Никонов А.А., Фроль В.В. Морфоструктура, тектоническая и сейсмическая активность в бассейне Белого моря: анализ на основе ЦМР, геологических и сейсмических данных // Геоморфологические ресурсы и

геоморфологическая безопасность: от теории к практике. Сб. трудов конф. М.: ООО "МАКС Пресс", 2015. С. 199–202.

4. Романенко Ф.А., Шилова О.С. Последледниковое поднятие Карельского берега Белого моря поданным радиоуглеродного и диатомового анализом озерно-болотных отложений п-ова Киндо // Док. РАН. 2012. Т. 442. № 4. С. 544–548.

5. Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Терехина Я.Е. Атлас по интерпретации геофизических данных для морской практики на Белом море: учебное пособие. М.: «КДУ», «Университетская книга», 2018. 110 с.

The bottom relief research of the Velikaya Salma Strait of the Kandalaksha Bay on the White Sea was conducted. As a result, we received a set of maps for the studied territory using morphostructural GIS-analysis. The resulting scheme of morphostructural zoning reflects the geological and tectonic structure of the territory.

**Котова Е.И.<sup>1,2</sup>, Новикова Ю.В.<sup>2</sup>, Махнович Н.М.<sup>1</sup>**

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

**Альгофлора снежного покрова побережья Белого моря в марте 2021 г.**

**Kotova E.I.<sup>1,2</sup>, Novikova Yu.V.<sup>2</sup>, Makhnovich N.M.<sup>1</sup>**

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

**Algoflora of the snow cover of the White Sea coast in March 2021**

Ключевые слова: микроводоросли, снежный покров, Белое море

Проведены исследования ионного состава и альгофлоры снежного покрова на побережье Онежского и Двинского заливов Белого моря. В снеге обнаружено девять таксонов микроводорослей, относящиеся к отряду *Bacillariophyta*. Неретический бореальный вид *Rhizosolenia setigera* преобладает в большинстве районов исследования.

Снежный покров является одним из важных компонентов экосистем северных территорий и тесно связан с другими компонентами. В последнее время увеличивается число работ, освещающих структуру альгофлоры снега и льда, но прибрежные районы Белого моря в этом отношении изучены слабо [1–3]. В данной работе представлены результаты исследования ионного и альгологического состава снежного покрова водосборного бассейна Белого моря.

В марте 2021 г. были отобраны пробы снега на 7 станциях, расположенных вблизи Белого моря в Приморском и Онежском районах Архангельской области, и на 1 станции (Сия), отдаленной от побережья (рис. 1). Образцы снега отбирались при помощи пластикового пробоотборника в пластиковые 20-литровые ведра. Снег растапливали в помещении при температуре 15–17°C, определяли значения минерализации. Для определения ионного состава часть пробы фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм. Определение ионов в фильтрате (хлориды, сульфаты, натрий, кальций и магний) проводилось хроматографически на жидкостном хроматографе LC-20 Prominence с кондуктометрическими детекторами. Идентификацию ионов проводили по времени удерживания, количественное определение – по площадям пиков методом абсолютной калибровки. Обработка полученных результатов проводилась с помощью программы LC Solution. Погрешность определения 10–20%. Для определения фитопланктона пробы концентрировались методом седиментации. Фиксация проводилась раствором Люголя.

Определение видового состава и численности микроводорослей проводили стандартными методами [4]. Концентрированные пробы просматривали и проводили идентификацию под микроскопом "БиОптик С-300" при увеличении 400х. Таксономическая принадлежность организмов приведена в соответствии с глобальной базой данных AlgaBase (<https://www.algaebase.org/>). Фотографии сделаны при увеличении 400х.

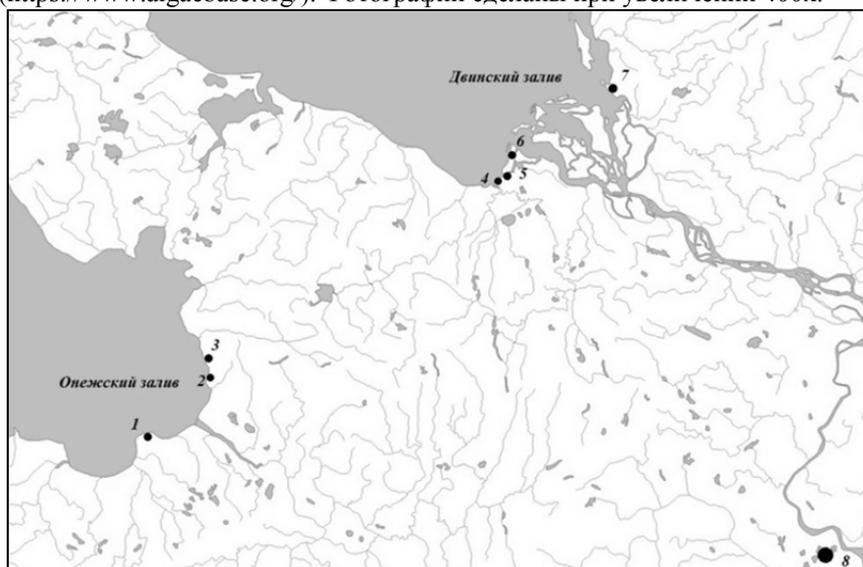


Рис. 1. Расположение точек отбора проб: 1 – Ворзогоры, 2 – Скалы, 3 – Каменный ручей, 4 – Солза, 5 – Параниха, 6 – Ягры, 7 – Лапоминка, 8 – Сия.

В период пробоотбора мощность снежного покрова варьировала от 21 до 53 см. При этом наблюдалась тенденция увеличения высоты снежного покрова с юго-запад на северо-восток с 27 до 45 см в пределах Онежского залива, с 21 см до 53 см в пределах Двинского залива.

Проба снега, отобранная вблизи залива Параниха (т. 5) в 2021 г. отличалась высокой минерализацией – 140 мг/л, при значениях 8–23 мг/л в других точках. Здесь же определено значительное содержание хлорид-ионов (38 мг/л), сульфат-ионов (2.8 мг/л), ионов натрия (18 мг/л), магния (2.7 мг/л), кальция (1.4 мг/л). Скорее всего, причиной являлся выход морской воды на лед вследствие нагонных явлений, способствующий образованию и переносу морских аэрозолей на близлежащие территории. Существенное увеличение содержания хлорид-ионов и ионов натрия в снежном покрове в отдельные годы характерно для прибрежных районов Белого моря [5]. В среднем содержание хлорид-ионов, сульфат-ионов, ионов натрия и магния в снежном покрове побережья Онежского залива было в 1.6–2 раза ниже (без учета в расчетах т. 5), чем в снеге побережья

Двинского залива.

В пробах снега, отобранных в районах исследования, обнаружено всего 9 таксонов микроводорослей (виды и надвидовые таксоны), относящиеся к отделу *Bacillariophyta* (Диатомовые). Таксономические группы и численность водорослей по станциям приведены в табл. 1.

Таблица 1. Видовой состав и численность водорослей на станциях отбора проб

Район исследования	Таксономическая группа, вид	Отдел	Численность (тыс. кл./л)	Общая численность (тыс. кл./л)
Сия	<i>Rhizolenia setigera</i> Brightwell, 1858	<i>Bacillariophyta</i>	0.017	0.067
	<i>Melosira</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.008	
	<i>Navicula</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.008	
	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing, 1844	<i>Bacillariophyta</i>	0.008	
	<i>Synedra</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.017	
	<i>Hantzschia</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.008	
Параниха	<i>Rhizolenia setigera</i> Brightwell, 1858	<i>Bacillariophyta</i>	0.045	0.073
	<i>Navicula</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.018	
	<i>Hantzschia</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.009	
Ворзогоры	<i>Rhizolenia setigera</i> Brightwell, 1858	<i>Bacillariophyta</i>	0.063	0.063
Лапоминка	<i>Rhizolenia setigera</i> Brightwell, 1858	<i>Bacillariophyta</i>	0.018	0.045
	<i>Navicula</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.018	
	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing, 1844	<i>Bacillariophyta</i>	0.009	
Каменный ручей	<i>Rhizolenia setigera</i> Brightwell, 1858	<i>Bacillariophyta</i>	0.025	0.034
	<i>Diploneis</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.008	
Солза	<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.007	0.030
	<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.015	
	<i>Navicula</i> sp.	<i>Bacillariophyta</i>	0.007	
Ягры	<i>Rhizolenia setigera</i> Brightwell, 1858	<i>Bacillariophyta</i>	0.008	0.008
Скалы	Не обнаружено	Не обнаружено	–	–

В 2021 г. снег был заселен типичными представителями альгофлоры

северных морей – *Rhizosolenia setigera*, а также обитателями пресноводных экосистем – *Tabellaria fenestrata*. Перетический бореальный вид *Rhizosolenia setigera* (рис. 2) является доминирующим во всех районах исследования, за исключением района Солза. Его численность по разным станциям варьировала от 0.063 тыс. кл./л на станции Ворзогоры до 0.008 тыс. кл./л на станции Ягры. На обеих станциях *Rhizosolenia setigera* – единственный обнаруженный вид водорослей. Следующими по обилию были виды *Synedra* sp. (0.017 тыс. кл./л), *Navicula* sp. (0.018 тыс. кл./л), *Achnanthes* sp. (0.015 тыс. кл./л). Изредка встречались *Hantzschia* sp., *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *Diploneis* sp., *Cyclotella* sp.

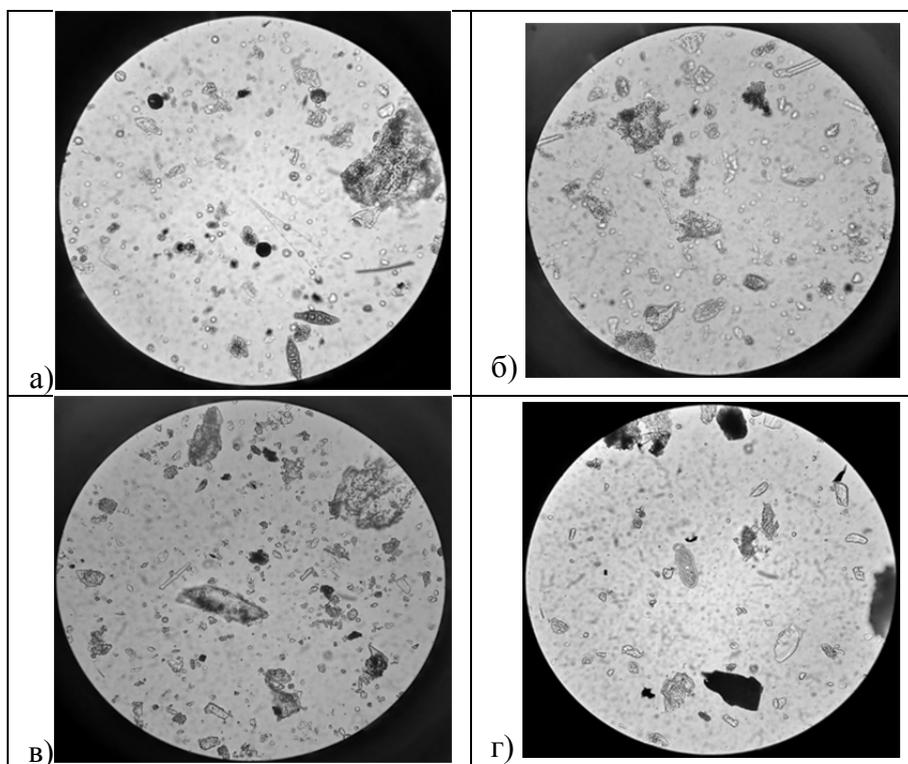


Рис. 2. Фото представителей альгофлоры, обнаруженных в снегу: а, б – *Rhizosolenia setigera*, в – *Tabellaria fenestrata*, г – *Diploneis* sp.

Общая численность микроводорослей в пробах снежного покрова варьировала от 0.008 тыс. кл./л в районе Ягры до 0.073 тыс.кл./л в районе Параниха, где было определено высокое содержание в снегу ионов

морского происхождения. Наибольшее видовое разнообразие водорослей зафиксировано на станции Сия – 6 видов и надвидовых таксонов.

Анализ состава водорослей в снежном покрове свидетельствует о низком видовом разнообразии альгофлоры в зимний период в прибрежной зоне Белого моря по всем станциям. Численность и биомасса микроводорослей сильно отличалась от аналогичных показателей прошлого года. Общая численность организмов по станциям в 10 раз ниже показателей прошлого года. В видовом составе по сравнению с 2020 г. есть отличия [6]. В частности, в 2020 г. помимо отдела *Bacillariophyta* нами были отмечены представители отделов *Chlorophyta* и *Ochrophyta*.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сажин А.Ф., Сапожников Ф.В., Ратькова Т.Н., Романова Н.Д., Шевченко В.П., Филиппов А.С. Население весеннего льда, воды и грунтов Белого моря в устьевой зоне Северной Двины // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 2. С. 307–318.
2. Ильяш Л.В., Житина Л.С. Сравнительный анализ видового состава диатомовых водорослей льдов морей Российской Арктики // *Журн. общей биологии*. 2009. Т. 70. № 2. С. 143–154.
3. Михайловский Г.Е., Житина Л.С. Криопланктонная флора Белого моря и ее сезонная динамика, выявленная методами корреляционного анализа // *Океанология*. 1989. Т. 29. № 5. С. 796–803.
4. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора арктических морей России // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6. С. 631.
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
6. Котова Е.И., Новикова Ю.В., Махнович Н.М. Водоросли в снеге прибрежных районов Белого моря // *Труды Архангельского центра РГО. Сб. научных статей*. Архангельск, 2020. С. 136–138.

The ion composition and algaeflora of the snow cover on the coast of the Onega and Dvina bays of the White Sea were investigated. In the snow, only nine microalgae taxa belonging to the Bacillariophyta department were determined. The nonretic boreal species *Rhizosolenia setigera* prevails in most study areas.

**Краснова Е.Д.**

(Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: e\_d\_krasnova@mail.ru)

**Беломорские отделяющиеся от моря водоемы: к вопросу о природе меромиксии**

**Krasnova E.D.**

(Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow)

**White Sea isolation basins: on the meromixis genesis**

Ключевые слова: реликтовые водоемы, стратификация, аноксия, ковшовые губы, температура, соленость, подземные воды

За десять лет наблюдений за беломорскими прибрежными стратифицированными водоемами накопились факты, которые указывают на возможное подземное поступление соленых сульфидных вод в придонный слой воды. Решение вопроса о происхождении нижней водной массы важно для построения модели их экосистемы.

В результате подъема берега на беломорском побережье образовалось множество водоемов, в разной степени отделенных от Белого моря. Они характеризуются устойчивой вертикальной стратификацией, вплоть до меромиксии [1]. Слоистая структура вод возникает из-за перекрытия остаточной морской воды слоем с меньшей соленостью, разбавленным пресным стоком с водосбора водой, или даже совсем пресным. По принятой классификации меромиктических водоемов такой механизм возникновения плотностной стратификации относится к эктогенному типу Ib, характерному для прибрежных морских меромиктических водоемов [2]. Дальнейшая эволюция водоема состоит в микробной переработке реликтовой морской воды микроорганизмами, в том числе – бактериями сульфатредукторами, которые восстанавливают сульфат морской воды до сульфида. В таком случае сероводород придонной анаэробной зоне имеет бактериальное происхождение, изменения в составе анионов также связаны с деятельностью бактерий-сульфатредукторов, которые расходуют сульфат, а беломорские водоемы могут служить простой моделью для изучения геохимических циклов. Однако за десять лет наблюдений за беломорскими прибрежными стратифицированными водоемами накопилось несколько фактов, которые указывают на возможное подземное поступление соленых сульфидных вод в придонный слой.

Поводом для сомнений стало внезапное появление в августе 2020 г. аноксиейной зоны в губе Лобаниха (66°33'19" N; 33°14'17" E) на острове Великом, принадлежащем Кандалакшскому государственному заповеднику [3]. Это ковшовая губа с максимальной глубиной 13.5 м, соединяющаяся с морем узким мелководным проливом глубиной около 2 м во время отлива. Летом 2020 г. мы ежемесячно проводили в этой губе

наблюдения за гидрологическими характеристиками и планктоном, и в августе в нижней части водоема неожиданно появился сероводород, распространившийся до глубины 8 м. Наибольшая концентрация  $H_2S$  возле дна была 0.61 мг/л. Был замечен замор бентоса. Губа расположена в заповеднике, где нет источников загрязнения, нет жилья и хозяйственной деятельности. По предшествовавшим наблюдениям в водоеме не было цветения фитопланктона, а, соответственно, не было и существенного поступления органических веществ, которые могли послужить причиной вспышки бактериальной сульфатредукции. Не было цветения и на морской акватории, с которой сообщается губа. В сентябре граница аноксийной зоны опустилась до 12 м, но концентрация сероводорода увеличилась до 4.1 мг/л. К октябрю водоем очистился благодаря вертикальной циркуляции. В 2021 г. мы продолжили наблюдения, сероводород не появился. Происхождение сероводорода в губе Лобаниха представляется загадочным, и, нельзя исключать его подземную природу.

В нескольких километрах от Лобанихи на южном берегу полуострова Киндо есть другой необычный ковшовый водоем – бухта Биофильтров ( $66^{\circ}32'20''$  N,  $33^{\circ}10'10''$  E), которая вообще не отделена от моря [4]. Она представляет собой желоб глубиной 14–16 м (в зависимости от фазы прилива), окруженный более мелким широким плато 4–5 м глубиной. Несмотря на свободный водообмен с морем, в бухте Биофильтров ниже 8–9.5 м существует постоянная аноксийная зона с концентрацией сероводорода более 25 мг/л. Сероводородная водная масса не исчезает при зимнем охлаждении воды в море. В зимнее время температура придонного слоя остается положительной ( $+1.6^{\circ}C$ ). Постоянная положительная температура вынуждает отказаться также от бытующих представлений о причине повышенной солености в желобе бухты Биофильтров. Мы прежде считали, что это результат ледового высаливания и выпадения рассола при замерзании морской воды. Этот механизм, безусловно, существует [5, 6], но рассол, который опускается вниз переохлажден, и неминуемо остужал бы придонную водную массу, чего не происходит.

Еще один объект, который заставил задуматься над происхождением растворенных солей и сероводорода, стала губы Канда ( $67^{\circ}05'50''$  N,  $32^{\circ}10'34''$  E). Вершина этой губы искусственно отделена от моря дамбами железной дороги и автостреды, из-за чего полностью опреснилась. Но в одном из донных понижений в кутовой части этой губы под пресноводной толщей глубже 8–10 м обнаружена линза соленой сероводородной воды, которую принято считать сохранившейся со времени строительства первой дамбы в 1916 г. [7, 8]. Анионный состав ее отличается от морского меньшей концентрацией сульфатов и повышенной щелочностью, что может быть результатом деятельности сульфатредукторов, которые восстанавливают сульфат до сульфида [9]. Настораживает значительная концентрация фтора, нехарактерная для морской воды (Н.А. Демиденко, личное сообщение). Это

заставляет задуматься над возможным подземным источником вод.

В то же время, на Кандалакшском берегу Белого моря в районе п. Умба и Порьей губы, многие ковшовые губы, отделенные от Белого моря в значительно большей степени, лишены анаэробной зоны [10]. В их числе – губа Малая Пирья (66°41'25" N, 34°20'13" E), на берегу которой расположен пос. Умба. Она отделена от моря дамбой с небольшим свободным участком под мостом, через который происходит водообмен. В кутовой части губы есть два углубления 9 и 11 м, глубина пролета под мостом – 1 м. Бытовые стоки из поселка вызывают эвтрофирование, которое приводит к массовому развитию фитопланктона и прибрежных матов из нитчатых водорослей. Несмотря на эвтрофирование, в донных углублениях сероводород не обнаружен. Нет аноксийной зоны и в губе Педуниха (66°44'50" N, 33°32'48" E), отделенной от моря узким мелким протоком. А также в лагуне за Тихими островами в западной части Порьей губы (66°45'12" N, 33°36'11" E).

Если задуматься о возможности поступления в прибрежные водоемы подземных соленых вод, нужно также вспомнить о сообщении А.Н. Пантюлина о загадочном соленом «фонтане», обнаруженном им в оз. Кисло-Сладком (66°32'54" N, 33°08'05" E) в 1.5 км от Беломорской биостанции МГУ в начале февраля 2011 г. В ледовом покрове озера образовалась промоина, которой не было в предыдущие дни; поток воды под напором снизу сформировал купол. Вода в водяном куполе была соленой. Однако, это не могло быть следствием напора из моря, поскольку уровень озера (в том числе зимой) находится выше уровня среднего прилива, и, кроме того, в море в это время был отлив.

И еще одно ошеломляющее наблюдение. В марте 2021 г. нам удалось добраться до озера Еловое (66°28'55" N, 33°16'49" E), за которым мы наблюдаем уже 10 лет, но ни разу не попадали туда зимой. Это меромиктическое озеро с пресным миксолимнионом глубиной 1 м, соленой водой внизу с максимальной соленостью возле дна 22‰. Аэробная зона начинается с глубины 3 м. Температура воды возле дна (5.5 м) летом в любой месяц на протяжении 10 лет была примерно одинаковой – около +9°C, в марте оказалась +9.8°C. Постоянство придонной температуры – одно из ключевых свойств меромиктических водоемов. Однако представляется сомнительным, чтобы летний прогрев сохранялся до конца зимы, и ошеломляет настолько высокая температура.

В других прибрежных меромиктических озерах беломорского побережья температура придонного слоя воды тоже положительная. В озере Трехцветном (66°35'33" N, 32°58'43" E) глубиной 7.5 м в течение всего года температура +6°C, в озере Большие Хрусломены на острове Оленьем в заливе Ковда (66°43'01" N, 32°51'34" E) – около +8°C. В желобе бухты Биофильтров, где наблюдается устойчивая круглогодичная стратификация, температура придонной воды +1.6°C. Почему температура в них разная и

чем она определяется? Нет ли подтока подземных вод со свойственной им стабильной температурой?

Таким образом, за годы наблюдений за прибрежными стратифицированными водоемами на побережье Белого моря, мы накопили некоторое количество фактов, которые заставляют задуматься над происхождением нижней водной массы. Не исключено, что вышеперечисленные сюжеты не связаны между собой и имеют разную природу. Тем не менее, необходимо удостовериться, нет ли, например, притока соленых сероводородных вод из трещин подстилающих пород или иных их источников.

Решение вопроса о происхождении нижней водной массы важно также для оценки вклада живых организмов в формирование вертикальной структуры беломорских прибрежных меромиктических водоемов и для построения модели их экосистемы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 19-05-00377а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснова Е.Д. Экология меромиктических озер России. 1. Прибрежные морские водоемы // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 3. С. 322–333.
2. Walker K.F., Likens G.E. Meromixis and resognized typology of the lake circulation patterns // Verh. Internat. Verein. Limnol. 1975. V. 19. P. 442–458.
3. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Пацаева С.В., Кокрятская Н.М., Жадан А.Э., Цетлин А.Б. Внезапный замор бентоса из-за появления сульфидной зоны в губе Лобаниха в августе 2020 г. (Белое море, Кандалакшский залив) // География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения, С-Пб, РГПУ им. А.И. Герцена, 21–23 апреля 2021 г. Т. 1. С. 313–317.
4. Краснова Е.Д., Воронов Д.А. Подводное меромиктическое озеро в бухте Биофильтров (Белое море, Кандалакшский залив, окрестности Беломорской биостанции МГУ) // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ИО РАН, 2019. С. 165–169.
5. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Воронова А.Д. Влияние образования льда на формирование вертикальной стратификации в соленых лагунах, отделяющихся от Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. С. 168–170.
6. Voronova A., Krasnova E., Voronov D. A simple method to demonstrate that ice formation creates stratification in salt meromictic lakes // EARSeL eProceedings. 2015. V. 14. № S1. P. 23–27.
7. Саввичев А.С., Демиденко Н.А., Краснова Е.Д., Калмацкая О.В., Харчева А.Н., Иванов М.В. Микробные процессы в губе Канда –

меромиктического водоеме, искусственно отделенном от Белого моря // Докл. РАН. 2017. Т. 474. № 5. С. 637–641.

8. Демиденко Н.А., Саввичев А.С. Гидрологический режим меромиктических водоемов губы Канда, отделенных от Белого моря дамбой // География: развитие науки и образования. Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 22-25 апреля 2020 года. Т. 1. С-Пб: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. С. 285–290.

9. Савенко А.В., Демиденко Н.А., Саввичев А.С., Покровский О.С. Распределение главных ионов и растворенных микроэлементов в меромиктических водоемах Кандалакшского залива Белого моря // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2015. С. 271–275.

10. Краснова Е.Д., Воронов Д.А., Кожин М.Н. В поисках реликтовой лагуны, изученной 85 лет назад: исследование ковшовых губ Восточная Порья, Педуниха и Малая Пирья на Кандалакшском берегу Белого моря // Труды VIII Международной научно-практической конференции Морские исследования и образование (MARESEDU-2019). Т. II. Тверь: ООО ПолиПРЕСС, 2020. С. 310–313.

Over ten years of observations of the White Sea coastal stratified water bodies, facts have accumulated that indicate the possible underground influx of saline sulfide waters into the bottom layer. Solving the question of the origin of the lower water mass is important for building a model of their ecosystem.

**Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М.**

(Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврова УрО РАН, г. Архангельск, e-mail: glosyuk@yandex.ru)

**Бухта Биофильтров – новый объект исследования сероводородного заражения прибрежных водоемов Белого моря**

**Losyuk G.N., Kokryatskaya N.M.**

(N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk)

**Biofiltry Bay – a new object of study of hydrogen sulfide contamination of coastal waters of the White Sea**

Ключевые слова: сероводород, процесс сульфатредукции, стратификация

В марте 2021 г. были проведены исследования в рамках работ по изучению озер на разных стадиях изоляции от Кандалакшского залива Белого моря в окрестностях ББС МГУ нового объекта – бухты Биофильтров. В работе показано наличие стратифицированной структуры в заливе, предположительно, за счет рельефа дна, подобного ковшовым губам, и наличия сероводородного заражения на глубине ниже 10 м. Концентрации  $H_2S$  в придонных горизонтах достигают значений 25–27 мг/л.

Кольский берег Белого моря имеет изрезанную береговую линию с множеством заливов и лагун, которые могут начать изолироваться от моря и превращаться в озера. В течение последних нескольких лет проводятся исследования таких водоемов, образующихся путем отделения от Белого моря в результате постгляциального поднятия берега. Все изучаемые акватории имеют сезонную или постоянную стратификацию и в разной степени заражены сероводородом [1–4]. Новым объектом таких исследований стала бухта Биофильтров, расположенная вблизи Беломорской биологической станции им. Н.А. Перцова биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ББС МГУ).

Бухта Биофильтров расположена на южном берегу полуострова Киндомыс и ограничена с одной стороны отвесной скалой. Координаты: 66°32'20" N, 33°10'10" E [5]. Свое название она получила благодаря работам доцента кафедры зоологии беспозвоночных животных К.А. Воскресенского по изучению обитающих в бухте фильтратов – мидий. Губа имеет треугольную форму и ковшовый рельеф дна. Она никак не изолирована от моря и ежедневно в ней наблюдаются приливно-отливные явления. Параллельно скалистому восточному берегу проходит желоб с максимальной глубиной до 14–15 м, окруженный более мелким широким плато до 4–5 м глубиной [5].

Для исследований в бухте Биофильтров были отобраны пробы воды с

разных горизонтов погружным насосом Mini Purger WP 4012 и горизонтальным поликарбонатным батометром. Сероводород определялся фотометрическим методом по РД 52.24.450-2010 на фотометре Эксперт 003 и йодометрическим методом по РД 52.10.742-2010. Пробы воды с высоким содержанием сероводорода были отобраны с разбавлением дистиллированной водой при отборе и анализировались обоими методами [4, 6]. Содержание реакционноспособного железа в воде определяли фотометрическим методом реакцией с феррозином [7].

Бухта Биофильтров представляет собой небольшой морской залив, соленость (S) поверхностной воды в марте 2021 г. была немного понижена до 24.5 епс за счет атмосферных осадков и увеличивалась с глубиной, максимальная S в придонных слоях достигала 26.8 епс. (рис. 1). Такую же тенденцию имел и график распределения температуры, наблюдался резкий температурный скачок на глубине 10 м:  $-1^{\circ}\text{C}$  у поверхности воды и  $+1.9^{\circ}\text{C}$  на глубине ниже 10 м. Также на глубине чуть выше 10 м заканчивалась кислородная зона и ниже располагался анаэробный слой, в котором был обнаружен сероводород. В результате полученных распределений профилей гидрологических параметров был зафиксирован градиент физико-химических характеристик (гало и термоклин), а на глубине 10 м начиналась анаэробная зона.

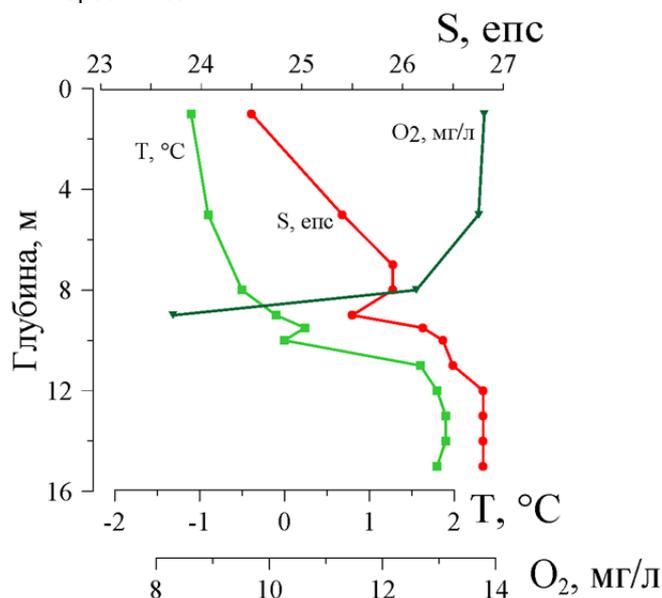


Рис. 1. Гидрологические показатели в марте 2021 г. в бухте Биофильтров.

В результате проведенных исследований по содержанию сероводорода в бухте Биофильтров были получены данные, начиная с сентября 2019 г. Так

как в заливе наблюдаются ежедневные приливно-отливные явления, граница начала сероводородной зоны в разные сезоны немного смещалась. В зависимости от даты и времени отбора проб граница была на глубине от 8 до 10 м, эта разница примерно равна высоте приливов в этом районе.

Максимальные концентрации сероводорода в придонных горизонтах бухты достигали значений порядка 25–27 мг/л (рис. 2). Столь значительное содержание токсичного для аэробной фауны морского залива сероводорода свидетельствует об интенсивно протекающем процессе анаэробного восстановления сульфатов в водной толще. Что также подтверждается и обнаружением спектров поглощения в пробах воды, свидетельствующих о присутствии серобактерий [5]. Полученное значение количества сероводорода превышает почти в два раза содержание  $H_2S$  в Черном море [8].

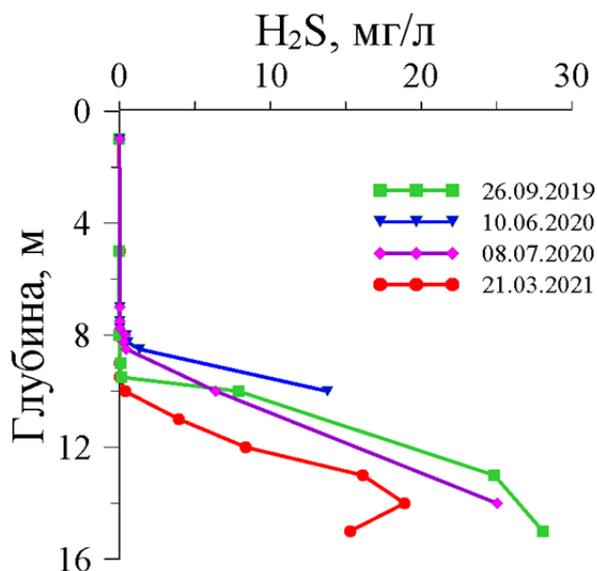


Рис. 2. Содержание сероводорода в разные сезоны

Содержание в воде реакционноспособного железа, участвующего в окислительно-восстановительных реакциях и способного связать свободный сероводород до различных форм сульфидов железа, плохо растворимых в воде, около 27.4 мкг/л. Максимальные концентрации были получены на горизонтах 10–13 м и находились в диапазоне 36.8–59.9 мкг/л, что значительно больше среднего содержания железа в Белом море (4.5 мкг/л [9]), скорее всего, за счет поступления с берега. Преобладающей формой реакционноспособного железа в верхних слоях была более окисленная форма Fe (III) (до 24.2 мкг/л), на глубине ниже 10 м основной вклад вносила

восстановленная форма Fe(II) (максимальные концентрации 59.9 мкг/л получены на глубине 11 м).

Таким образом, еще одним интересным объектом исследований стратифицированных водоемов с сероводородным заражением придонных вод, стала бухта Биофильтров. Несмотря на то, что бухта никак не изолирована от моря и ежедневно в ней наблюдаются приливно-отливные явления, в связи с особенностями строения дна, в ней сформировалась стратифицированная структура с выраженным физико-химическим градиентом и анаэробной зоной ниже глубины 10 м. Максимальные концентрации сероводорода в придонных слоях достигают довольно больших значений – порядка 25–27 мг/л, что свидетельствует об интенсивно протекающем процессе анаэробного восстановления сульфатов в водной толще.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krasnova E., Matorin D., Belevich T., Efimova L., Kharcheva A., Kokryatskaya N., Losyuk G., Todorenko D., Voronov D., Patsaeva S. The characteristic pattern of multiple colored layers in coastal stratified lakes in the process of separation from the White Sea // *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. 2018. V. 6. P. 1.
2. Краснова Е.Д., Пантюлин А.Н., Белевич Т.А. и др. Комплексные исследования отделяющихся водоемов на разных стадиях изоляции от Белого моря в марте 2012 г. // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 5. С. 714–717.
3. Лунина О.Н., Саввичев А.С., Бабенко В.В. и др. Сезонные изменения структуры сообщества анаэробных фототрофных бактерий меромиктического озера Трехцветное (Кандалакшский залив Белого моря) // *Микробиология*. 2019. Т. 88. № 1. С. 100–115. DOI: 10.1134/S0026365619010051.
4. Лосюк Г.Н., Кокрятская Н.М. Сероводородное заражение прибрежных озер на разных стадиях изоляции от Белого моря // *Океанология*. 2021. Т. 61. № 3. С. 401–412.
5. Краснова Е.Д., Воронов Д.А. Подводное меромиктическое озеро в бухте Биофильтров (Белое море, Кандалакшский залив, окрестности Беломорской биостанции МГУ) // *Материалы XXIII международной научной конференции (Школы) по морской геологии «Геология морей и океанов», 18–22 ноября 2019 г., г. Москва. М.: ИО РАН, 2019. Т. 3. С. 165–169.*
6. Дубинин А.В., Демидова Т.П., Кременецкий В.В., Кокрятская Н.М., Римская-Корсакова М.Н., Якушев Е.В. Определение восстановленных форм серы в анаэробной зоне Черного моря: сравнение методов спектрофотометрии и иодометрии // *Океанология*, 2012. Т. 52. №2. С. 200–209.
7. Кононец М.Ю. и др. Определение растворенных форм железа в морской воде с помощью феррозина // *Журнал аналитической химии*. 2002. Т. 57. №

7. С. 704–708.

8. Волков И.И. Соединения восстановленной серы в воде Черного моря // Докл. РАН. 2007. Т. 417. № 2. С. 232–235.

9. Гордеев В.В., Филиппов А.С., Шевченко В.П. Микроэлементы в воде и взвеси открытой части Белого моря // Система Белого моря. Том II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 579–604.

In March 2021, the researches were held as part of the study of lakes at different stages of isolation from the Kandalaksha Bay of the White Sea surroundings of the BBG MSU new object – Bays of Biofilters. The existence of a stratified structure in the gulf is presented in the work. It is due to the relief of the bottom, like bucket lips and the presence of hydrogen sulfide infection at depths below 10 m. H<sub>2</sub>S concentrations in the bottom horizons reach values of 25 – 27 mg/l.

**Махнович Н.М.**

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

**Распределение макрозообентоса на осушках в районе устьев рек Летняя Золотица и Лопшеньга (бассейн Белого моря)**

**Makhnovich N.M.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Distribution of macrozoobenthos on drylands at the mouths of the Letnyaya Zolotitsa and Lopshenga rivers (White Sea basin)**

Ключевые слова: макрозообентос, пространственное распределение, осушки, малые реки, Белое море

Приведены данные по распределению, численности и биомассе макрозообентоса на осушках в районе устьев рек Летняя Золотица и Лопшеньга бассейна Белого моря. Численность и биомасса бентосных организмов по станциям неоднородны и сильно отличаются. На всех станциях отбора проб отмечено невысокое биоразнообразие макрозообентоса.

Пробы макрозообентоса были отобраны в 2020 г. на побережье Белого моря и в нижней части осушек на малой воде приливного цикла в устьях рек Летняя Золотица, Лопшеньга, ручьев. Река Летняя Золотица относится к водотокам с мезоприливным эстуарием, здесь формируются обширные приливные осушки, являющиеся зонами активных геохимических и гидробиологических процессов. Лопшеньга – река с микроприливным эстуарием [1]. В устьевых областях рек донные биоценозы испытывают периодическое осыхание и подвергаются воздействию устьевых вод различной минерализации.

Донные отложения исследуемых частей осушек рек и побережья преимущественно представлены мелко- и среднезернистым песком с наилком, включая примеси гальки, камней и обломков раковин моллюсков, гниющей растительности, на устьевом взморье – крупнозернистым песком.

Отбор гидробиологического материала производился по общепринятым методикам [2]. Применяли рамку со сторонами 50×50 см, в пределах ограниченного рамкой пространства крупных животных выбирали вручную, поверхностный слой грунта промывали через сито с размером отверстий 2 мм. Полученный материал просчитывали на месте, обнаруженных животных фиксировали 70 % спиртом. В местах отбора проб отмечался характер донных отложений. При обработке материалов обнаруженные организмы определяли до вида или более крупных таксонов, также находили численность и биомассу гидробионтов. Вес донных

животных определяли в лаборатории на аналитических весах *Adventurer Ohaus RV214*.

Всего за период исследования было обнаружено девять представителей бентофауны, среди которых три вида полихет, три вида моллюсков, один вид ракообразных, один вид двукрылых и один вид жуков. Встреченные организмы относились к трем типам (кольчатые черви *Annelida*, моллюски *Mollusca*, членистоногие *Arthropoda*) и пяти классам (многощетинковые черви *Polychaeta*, двустворки *Bivalvia*, брюхоногие *Gastropoda*, высшие ракообразные *Malacostraca* и насекомые *Insecta*).

Состав макрозообентоса исследованных приливных осушек был неоднороден, количественные и качественные показатели развития донных беспозвоночных на разных участках различны, что связано с изменением условий обитания по акватории устьевых областей рек и побережья (колебания солености). Наибольшее видовое разнообразие и наиболее высокие показатели численности и биомассы выявлены на станциях, расположенных около морской и речной границ устьевых областей рек.

По отдельным станциям численность и биомасса бентосных организмов неоднородны и сильно отличаются. На всех станциях отбора проб отмечено невысокое биоразнообразие макрозообентоса.

Станция 1 – устьевая область р. Летняя Золотица. Грунт – крупнозернистый песок с остатками водорослей и с наличием раковин моллюсков. В гидробиологических пробах отсутствовали представители макрозообентоса.

Станция 2 – небольшая лагуна недалеко от устья р. Летняя Золотица. Грунт – мелко- и среднезернистый песок с наилком и остатками гниющих водорослей. В гидробиологических пробах отсутствовали представители макрозообентоса.

Станция 3 – побережье Белого моря. Грунт – среднезернистый песок. В биоценозе на этом участке эстуария представлены 2 вида - *Spirorbis spirorbis* и *Mytilus edulis*. Наибольшее представительство имели полихеты. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 12 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 0.1128 г/м<sup>2</sup>.

Станция 4 – побережье Белого моря. Донные отложения осушки представлены наилком с мелкозернистым песком с примесью мелких камней и остатков гниющей растительности. Типичный биоценоз на этом участке эстуария представлен литоралобионтами *Gammarus oceanicus*. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 24 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 1.1936 г/м<sup>2</sup>.

Станция 5 – побережье Белого моря. Грунт – мелкозернистый песок с небольшим наилком. В биоценозе на этом участке эстуария представлены полихеты, *Gammarus oceanicus*, *Macoma balthica*. Всего на этой станции были обнаружены 3 вида донных гидробионтов. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 16 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 2.0424

г/м<sup>2</sup>.

Станция 6 – берег ручья Паранинский. Грунт – мелкозернистый песок с наилком и многочисленными остатками гниющей растительности. Типичный биоценоз на этом участке эстуария представлен личинками двукрылых. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 16 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 0.134 г/м<sup>2</sup>.

Станция 7 – побережье Белого моря. Грунт – мелко- и среднезернистый песок. В пробе присутствовали представители жесткокрылых и *Gammarus oceanicus*. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 12 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 0.0276 г/м<sup>2</sup>.

Станция 8 – мыс Никольский. Грунт – ил. Типичный биоценоз на этом участке эстуария представлен литоралобионтами *Littorina obtusata*. Всего на этой станции были обнаружены 39 экземпляров гидробионтов. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 156 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 6.6408 г/м<sup>2</sup>.

Станция 9 – побережье Белого моря. Грунт – мелкозернистый песок и ил. Типичный биоценоз на этом участке эстуария представлен литоралобионтами *Littorina obtusata* + *Gammarus oceanicus*. Всего на этой станции были обнаружены 3 вида донных гидробионтов. Наибольшее представительство имели литорины. Также был обнаружен 1 вид моллюсков. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 152 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 10.2784 г/м<sup>2</sup>.

Станция 10 – залив Сатанцы. Грунт – мелкозернистый песок с наилком. Присутствуют валуны и галька с зарослями фукоидов. Типичный биоценоз на этом участке эстуария представлен литоралобионтами *Littorina obtusata* + *Gammarus oceanicus* как и на станции 9. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 96 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 5.8032 г/м<sup>2</sup>.

Станция 11 – залив Сатанцы. Грунт – мелкозернистый песок. В биоценозе представлены *Littorina obtusata* и *Arenicola marina*. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 128 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 35.8144 г/м<sup>2</sup>.

Станция 12 – побережье Белого моря. Грунт – мелкозернистый песок и галька. Обнаружен один экземпляр *Littorina obtusata* и *Arenicola marina*. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 16 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 10,0456 г/м<sup>2</sup>.

Станция 13 – побережье Белого моря в районе реки Лопшеньга. Грунт – мелкозернистый песок и слой спрессованных водорослей из штормовых выбросов. Типичный биоценоз на этом участке эстуария представлен литоралобионтами *Arenicola marina* + *Gammarus oceanicus*. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 80 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 53.4016 г/м<sup>2</sup>.

Станция 14 – район реки Летняя Золотица. Грунт – мелкозернистый песок. Типичный биоценоз на этом участке эстуария представлен

литоралобионтами *Arenicola marina*. Плотность поселений донных беспозвоночных здесь составляет 200 экз./м<sup>2</sup> и биомасса – 185.08 г/м<sup>2</sup>.

Видовой состав фауны макрозообентоса представлен в таблице 1.

Таблица 1. Видовой состав бентофауны на станциях отбора проб

Виды	Номера станций												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Тип <i>Annelida</i> , класс <i>Polychaeta</i>													
1 <i>Arenicola marina</i> (Linnaeus, 1758)										+	+	+	+
2 <i>Spirorbis spirorbis</i> (Linnaeus, 1758)	+												
3 <i>Polychaeta sp.</i>			+										
Тип <i>Mollusca</i> , класс <i>Bivalvia</i>													
4 <i>Macoma balthica</i> (Linnaeus, 1758)			+										
5 <i>Mytilus edulis</i> (Linnaeus, 1758)	+						+						
Тип <i>Mollusca</i> , класс <i>Gastropoda</i>													
6 <i>Littorina obtusata</i> (Linnaeus, 1758)							+	+	+	+	+		
Тип <i>Arthropoda</i> , класс <i>Malacostraca</i>													
8 <i>Gammarus oceanicus</i> (Segerstrale, 1947)		+	+		+		+	+				+	
Тип <i>Arthropoda</i> , класс <i>Insecta</i>													
9 <i>Coleoptera sp.</i>						+							
10 <i>Diptera sp.</i>				+									

В целом донная фауна приливных осушек на побережье Белого моря и в устьях рр. Летняя Золотица, Лопшеньга и ручьев бедна, отличается пространственной неоднородностью и сравнительно низкими численностью и биомассой. Наиболее часто встречаемыми видами в таких зонах оказались полихета *Arenicola marina*, ракообразное *Gammarus oceanicus* и брюхоногий моллюск *Littorina obtusata*.

В районе станций 1, 2 исчезновение представителей макрозообентоса на осушке можно связать с наличием высокой короткопериодной и сезонной приливной изменчивостью температуры и солености воды. Подобная закономерность в пространственном распределении макрозообентоса была выявлена в устьевых областях рек Кянда, Ухта и Тамица [3]. Биомасса и численность донных беспозвоночных на этих реках возрастают на морской и речной границах устьевых областей, где короткопериодная изменчивость гидрологических параметров выражена сравнительно слабо. На станциях

11, 12, 14 гораздо более высокая биомасса связана с наличием в пробах большого количества относительно крупных организмов *Arenicola marina*.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 5–14.
2. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зообентос и его продукция / Под ред. А.А. Салазкина, А.Ф. Алимova, Н.П. Финогеновой. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 52 с.
3. Махнович Н.М. Макрозообентос устьевых областей малых рек бассейна Белого моря // Материалы конференции II Пахтусовские чтения (в печати).

Data on the distribution, abundance and biomass of macrozoobenthos on drylands in the mouths of the Letnyaya Zolotitsa and Lopshenga rivers of the White Sea basin are presented. The abundance and biomass of benthos across stations are heterogeneous and differ greatly. Low benthos biodiversity was noted at all stations.

**Мискевич И.В.**

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

**О формировании процессов перенасыщения воды кислородом в устьях рек Белого моря в конце зимы**

**Miskevich I.V.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**On the formation of processes of water oversaturation with oxygen at the mouths of the rivers of the White Sea at the end of winter**

Ключевые слова: Белое море, устья рек, зима, кислород, фитопланктон, прилив, лед, седиментация, органика

Исследованы особенности перенасыщения воды кислородом в устьях рек Белого моря в конце зимы при наличии ледового покрова. Они в основном регулируются величиной прилива, определяющей масштаб нарушения целостности ледового покрова и условия для массового развития микроводорослей. В условиях южных районов Белого моря уже в марте в мезоприливных устьях рек перенасыщение кислорода достигает 105–109% и становится соизмеримым с уровнем, фиксируемым в летний период. Подобная ситуация может также наблюдаться на участках интенсивной работы ледокольного флота. Подобное явление, видимо, характерно для только для XXI века на фоне наблюдаемого потепления климата.

Исследования, проведенные Северо-Западным отделением Института океанологии РАН (СЗО ИО РАН) в 2017–2021 гг. в устьях рек Белого моря в зимний период, выявили наличие в ряде ситуаций значительного перенасыщения устьевых вод кислородом [1]. При этом в короткопериодной изменчивости кислородонасыщения появляется хорошо заметный суточный цикл, генерируемый солнечной активностью, что, в свою очередь, указывает на возможность массового развития фитопланктона даже при наличии ледового покрова. Данные, представленные в таблице, позволяют сделать вывод, что интенсивность перенасыщения вод устьев рек во многом зависит от величины прилива. Последняя, в свою очередь, помимо геоморфологической специфики различных районов Белого моря, определяется ледовыми условиями на их акваториях. Ледовый покров заметно снижает величину прилива, но в последние годы на фоне череды очень теплых зим, его влияние в значительной мере ослабло.

Возможность интенсивной вегетации микроводорослей в зимний период, как показали наблюдения в эстуарии р. Тамицы на границе его устьевого взморья и устьевого участка реки обеспечивал доступ солнечного света устьевым водам через многочисленные приливные трещины, ширина

которых могла достигать 10 см, и лужи («ванны»), сформированные на поверхности льда. Такие лужи имеют протяженность около нескольких метров-десятков метров, ширину 1–3 м и глубину 5–30 см. Они образуются за счет вытеснения воды на поверхность льда в фазу прилива и не успевают перемерзнуть в течение полусуточного приливного цикла. При этом цветение вышеуказанных микроводоемов за счет массового развития фитопланктона фиксировалось визуально.

Получаем, что, чем больше величина прилива в устьевом водотоке, тем интенсивнее происходит нарушение целостности ледового покрова, сопровождаемое усилением притока солнечной энергии в водную толщу. С другой стороны, в зимний период в устьевых водах в Белом море наблюдаются наиболее высокие концентрации биогенных веществ, стимулирующих бурный рост фитопланктона.

Таблица. Характеристика изменчивости кислородосодержания вод устьев рек Белого моря при наличии ледового покрова

Река	Створ	Период	Величина прилива, м	S, ‰	O <sub>2</sub> , ‰
Северная Двина	Порт Экономия	5–6.04. 2018	0.86	0.43–0.73	41.5–58.3
Кулой	Село Долгощелье	18–21.03. 2020	0.50	0.74–0.94	87.5–92.4
Мудьюга	Село Патракеевка	15–16.03. 2019	0.04	0.27–0.28	79.0–91.6
Кянда	Центр эстуария	2.02.2017	1.1	0.10–2.6	95.6–99.7
Тамица	Центр эстуария	4–5.04. 2019	1.0	0.19–7.7	84.9–107.8
Тамица	Центр эстуария	12.02. 2020	1.3	0.13–15.4	98.6–108.8

В микроприливной дельте р. Северной Двины, для которой характерен значительный дефицит кислорода в период зимы [2], обусловленный высоким содержанием органических веществ [3], перенасыщение вод кислородом не наблюдается. Однако, в районе порта Экономии, где целостность ледового покрова постоянно нарушается ледоколом, в этот период отмечается четко выраженный суточный ход кислородонасыщения, сопровождаемый обратной корреляцией с изменениями нитратного азота.

Таким образом следует предположить, что в мезоприливных и макроприливных устьях рек Белого моря в конце зимы на участках, где величина прилива начинает превышать один метр, кислородонасыщение

вод может достигать уровня характерного для вегетационного периода. Аналогичный эффект может наблюдаться и в некоторых микроприливных устьях малых рек при отсутствии их блокировки «ледяной дамбой» [4].

Зимний дефицит солнечного освещения воды, которое в устье реки поступает только через приливные трещины, разводья и приливные «ванны» компенсируется увеличением концентраций биогенных веществ и прозрачности устьевых вод при уменьшении их гидродинамичности. Здесь необходимо учитывать, что в Белом море наблюдается явное доминирование мезоприливных и макроприливных устьев рек (76.2% от общего количества устьев рек [5]).

Значительное удлинение периода вегетации микроводорослей в приливных устьях рек на фоне наблюдаемого потепления климата может генерировать дополнительный приток органического углерода в морские воды и сформировать тенденцию к его накоплению в донных осадках Белого моря. Этому, в частности, будет способствовать возможное возрастание величины прилива при дальнейшем уменьшении ледовитости как Белого моря, так и всего Северного Ледовитого океана в целом.

Обогащение органикой донных отложений близ устьев малых рек за счет специфики гидрологических процессов будет происходить преимущественно в виде узких и сильно вытянутых полос (пятен) в прибрежной полосе моря с глубинами в несколько метров [5]. Это, в свою очередь, будет формировать аналогичную пространственную структуру с повышенной биомассой донных беспозвоночных. Возможно подобным эффектом можно объяснить такой феномен, как «экологическая катастрофа» с протяженным выбросом морских звезд на западном побережье Двинского залива в 1990 г. [6]. Одна из гипотез данного явления гласит, что большая концентрация морских звезд в узкой прибрежной полосе моря привела к их массовому выбросу при сильном штормовом нагоне [7]. Здесь необходимо заметить, что вышеуказанные полосы прибрежной селиментации осадков, выносимых из малых рек Белого моря, обычно оказываются вне судовых геохимических исследований из-за ограничений навигационного характера.

Работа выполнена в рамках темы «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов - литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» № 0128-2021-0006.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мискевич И.В., Лещев А.В., Мосеев Д.С., Лохов А.С. Гидролого-геохимические исследования устьев малых рек Белого моря в зимнюю

межень 2019 года // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 6. С. 1089–1092.

2. Кузнецов В.С., Мискевич И.В., Зайцева Г.Б. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 195 с.
3. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П., Иглин С.М. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море) // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 5. С. 121–129.
4. Мискевич И.В., Лохов А.С., Чульцова А.Л. Специфика формирования маргинальных фильтров в приливных устьях малых рек в зимний период на примере реки Солза в Двинском заливе Белого моря // *Успехи современного естествознания*. 2021. № 7. С. 54–59.
5. Ружникова Н.Н., Мискевич И.В. Оценка роли малых рек в геохимических процессах Белого моря // *Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. III. Москва. 2019. С. 217–221.
6. Yufit S.S., Miskevich I.V., Shtemberg O.N. Chemical weapons dumping and White Sea contamination // *Sea-dumped chemical weapons: aspects, problems and solutions*. Dordrecht: Kluwer, 1996. P. 157–166.
7. Буряков В.Ю., Наумов А.Д. Антропогенная катастрофа или редкое природное явление? // *Природа*. 1991. № 6. С. 30–31.

The features of the oxygen saturation of water in the mouths of the rivers of the White Sea at the end of winter in the presence of ice cover are studied. They are mainly regulated by the magnitude of the tide, which determines the scale of the violation of the integrity of the ice cover and the conditions for the mass development of microalgae. In the conditions of the southern regions of the White Sea, already in March, in the mesotidel estuaries of rivers, the oxygen supersaturation reaches 105-109 % and becomes commensurate with the level recorded in the summer period. A similar situation can also be observed in the areas of intensive work of the icebreaker fleet. Such a phenomenon is probably characteristic only for the XXI century against the background of the observed climate warming.

**Мосеев Д.С.<sup>1</sup>, Махнович Н.М.<sup>1</sup>, Березина М.О.<sup>2,3</sup>,  
Брагин А.В.<sup>4</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: viking029@yandex.ru; <sup>2</sup>Полярный филиал ВНИРО, Отдел Северный, г. Архангельск; <sup>3</sup>ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск; <sup>4</sup>ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский», г. Архангельск)

**«Подводные луга» зостеры (*Zostera marina* L.) в эстуариях  
Двинского и восточной части Онежского залива Белого  
моря**

**Moseev D.S.<sup>1</sup>, Makhnovich N.M.<sup>1</sup>, Berezina M.O.<sup>2,3</sup>,  
Bragin A.V.<sup>4</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>Polar branch of the FSBI «VNIRO» (PINRO named after N.M. Knipovich), <sup>3</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, <sup>4</sup>National Park Kenozersky)

**«Underwater meadows» of *Zostera marina* L. in the estuaries of  
the Dvina bay and eastern part of the Onega Bay of the White  
Sea**

Ключевые слова: *Zostera marina*, сообщества, биомасса, биометрические параметры, Белое море

В статье представлены сведения о сообществах сосудистого макрофита Белого моря – *Zostera marina*. Приведены данные о местах произрастания вида в разных экологических условиях Двинского и Онежского залива и некоторые биометрические показатели зостеры, собранной на осушке и в сублиторали.

Зостера морская, или взморник (*Zostera marina* L.) – представитель высших сосудистых растений, образующий в мелководной зоне Белого моря поселения, которые являются составной частью макрофитобентоса и играют важную роль в прибрежных экосистемах. *Zostera marina* – обитатель верхней сублиторали, реже литоральной зоны, который произрастает на илистых и песчано-илистых субстратах, преимущественно в спокойных, защищенных от волнового воздействия местообитаниях. Наилучшим образом зостера развивается в эстуариях, характеризующихся изменчивыми условиями температуры и солености (связанные с приливно-отливными явлениями), постоянным перемешиванием вод и достаточным количеством биогенных элементов, поступающих с речными водами [1].

Согласно литературным сведениям до середины прошлого столетия *Zostera* занимала значительные площади дна в прибрежной зоне Белого моря. Наибольшие скопления морской травы встречались вдоль Поморского и Карельского берегов в Онежском и Кандалакшском заливах. В Двинском заливе и в северо-восточной части Онежского залива разреженные и мелкие по площади поселения зостеры встречались практически повсеместно,

более крупные и плотные поселения взморника концентрировались у мысов Красный и Яреньгский Рог, в губах Унская и Пушлахта. В незначительных количествах zostera отмечалась в Лумбовском заливе, на восточном берегу Воронки и Мезенском заливе [2].

С учетом крупных запасов zostеры в Белом море (величина запаса на 1958 г. оценивалась в 400 тыс. т сырой массы) данный вид рассматривался как объект промысла, однако к 1960 г. при обследованиях прибрежной зоны было зафиксировано значительное изменение площадей ее зарослей и биомассы. Изменения в поселениях zostеры объяснялись перемещением и исчезновением зарослей, а также массовой гибелью популяций. При этом, отмечено, что перемещение зарослей — это естественный процесс, обусловленный переносом донных осадков, не вызывающий значительного изменения площадей, занятых zostерой [2]. Исчезновение зарослей связывали с естественными процессами затухания жизненного цикла zostеры и антропогенной деятельностью. Существенное сокращение площади зарослей было зарегистрировано в губах Унская и Ухта, в этом случае предполагалось, что изменения вызваны естественными процессами и через некоторое время заросли восстановятся. Почти полное исчезновение зарослей в период 30-50-х гг. XX в. было зарегистрировано в гб. Яндовая, предположительно из-за поступления речных отложений через искусственный проток из Подужемского русла р. Северная Двина и в гб. Сорокская под влиянием стока Беломорского канала. Массовую гибель популяций zostеры, зафиксированную в июле 1960 г. у Соловецких островов, а также в ряде районов Поморского и Карельского берегов, связывали с массовым поражением zostеры миксомицетом *Labyrinthula macrocystis* [1, 2].

Сокращение зарослей и гибель zostеры в Белом море отрицательно сказались на воспроизводстве фитофильных видов рыб, главным образом сельди, что привело к снижению ее численности и уловов в Белом море [3]. Исчезновение зарослей zostеры в ряде районов также обусловило усиление процесса переноса подвижных грунтов, замывающих каменистый субстрат, необходимый для развития макроводорослей, что привело к сокращению площадей их зарослей и запасов [4].

Однако, несмотря на масштабные изменения в зарослях zostеры, процесс восстановления ее популяций регистрировался уже с конца 60-х гг. XX в. К настоящему времени увеличение площадей ее зарослей установлено в ряде районов Кандалакшского залива [4]. Также имеются сведения о частой встречаемости zostеры на мелководьях Онежского залива, наиболее заметные скопления взморника отмечены в акватории Поморского берега [3]. Эти данные свидетельствуют о возможной стабилизации популяций zostеры в указанных районах. Сведения о современном состоянии поселений беломорской *Z. marina* в других районах Белого моря в настоящее время отсутствуют. В связи с этим, целью нашей работы являлась оценка состояния и распределения зарослей zostеры у Онежского берега Онежского залива и в Двинском заливе Белого моря.

Изучение сообществ *Z. marina* проводились в августе 2013 г. в губе Сухое море, в конце мая и середине сентября 2020 г. в Унской губе Двинского залива и вдоль побережья Онежского полуострова восточной части Онежского залива (рисунок). Проведенные исследования являлись рекогносцировочными.



Рисунок. Исследованные участки произрастания *Zostera marina* в Онежском и Двинском заливах Белого моря: 1 – устье р. Котова, 2 – осушка около устья р. Вейга, 3 – вершина («кут») Унской губы, 4 – воронка и ковш Унской губы (включая Кинжугскую губу), 5 – северная часть губы Сухое море

При обследовании прибрежных участков отмечено, что на песчаных грунтах литорали Онежского (устья рек Котова и Вейга) и Двинского заливов (у мыса Красногорский Рог) распространены небольшие скопления zostеры площадью до 1 м<sup>2</sup>. Слабое развитие растительного покрова на таких участках объясняется слабым закреплением морской травы в песчаном грунте и отрицательным влиянием волнового воздействия, что также показано в работе [6]. Напротив, в литоральных ваннах обширных ваттовых осушек и в губах с песчано-илистыми грунтами морская трава образует относительно крупные скопления.

В Унской губе (участки 3, 4) *Z. marina* образует сообщества от вершины (именуемой «кутом») до устья. В осушаемой на отливе Кинжугской губе и «ковше» Унской губы морская трава отмечена на илисто-песчаных осушках в среднем и нижнем горизонте литорали. Проективное покрытие дна (ПП) zostерой достигало здесь 60–80% (соленость на малую воду составила 17–18‰). Самые плотные скопления zostеры (ПП дна до 90 %) отмечены на глубине около 1.0 м (в период малой воды при солености 17.4‰) на выходе в широкую часть губы, именуемой «воронка». У вершины «кута» Унской губы обилие zostеры постепенно снижалось и в приустьевых участках лагуны сообщества zostеры исчезали, сменяясь на сообщества рдеста

гребенчатого (*Potamogeton pectinatus*), устойчивого к более низкой солености воды.

В губе Сухое Море (участок 5) zostera отмечена в северной ее части, осушаемой в отлив, здесь встречались заросли с проективным покрытием дна – 10–30% (соленость вод на обследованном участке составила 10–15‰). В этом районе zostera также проникает в устья малых рек [7]. Южнее мелководной северной части лагуны, на участках дельт рек Кади и Мудьюги, где соленость воды понижалась до 3–5‰, zostera не встречалась [8].

По биометрическим показателям отчетливо выделяются 2 экологические формы *Z. marina*, что соответствует литературным данным [1]. Это, имеющая малые размеры литоральная форма и более крупная – сублиторальная форма. Сообщества литоральной формы морской травы описаны на осушках Унской губы, у восточного побережья Онежского залива (мыс Чесменский, устье р. Вейга), в губе Сухое Море. У растений *Zostera*, отобранных в конце мая Унской губе, средняя длина побегов на литорали варьировала от 11.0 до 14.2 см, длина листа – 7.5–10.4 см, ширина листа – 1.8–2.0 мм. У взморника, собранного в сентябре с верхней сублиторали, средняя длина побегов составила 61.5 см, длина листа – 50.4 см, ширина листа – 2.9 мм, что также согласуется с данными для zostеры западного побережья Белого моря в Карелии [9]. Также изменялась и биомасса данного вида. В литоральных сообществах из устья Унской губы величина биомассы побегов варьировала от 0.51 до 0.67 кг/м<sup>2</sup> сырой массы (наиболее высокая величина биомассы зарегистрирована на участке отбора с нижнего горизонта литорали). В сублиторали биомасса вегетативных побегов zostеры составила 0.64–3.14 кг/м<sup>2</sup> сырой массы и также как показатель проективного покрытия дна возрастала с увеличением солености. В отношении видового состава исследованные сообщества *Z. marina* в основном были монодоминантными, в эстуариях Двинского залива в их составе отмечались *Ruppia maritima* и зеленая водоросль *Ulva prolifera*. Бентосная фауна, ассоциированная с литоральными зарослями zostеры, представлена моллюсками *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*, *Macoma baltica*, в сублиторальных поселениях в большом количестве отмечена *Littorina*.

Результаты проведенного исследования показали, что в *Z. marina* остается одним из ключевых компонентов фитобентоса эстуарных и типично морских биотопов мягких грунтов на побережьях Онежского и Двинского заливов. Проективное покрытие дна и биомасса *Z. marina* возрастают с увеличением солености воды. Биометрические параметры морской травы из исследованных районов сходны с показателями, установленными для zostеры, произрастающей на литорали и сублиторали западного побережья Белого моря. Относительно крупные скопления zostера образует в Унской губе, где условия для произрастания данного вида наиболее благоприятные.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН тема №

0128-2021-0006 и при финансовой поддержке гранта (№ договора 02/2021-Р) ВОО «Русское географическое общество»: «Белое море – ворота в Арктику. Загадки пернатых мигрантов».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вехов В.Н. Зостера морская (*Zostera marina* L.) Белого моря. М.: Изд-во МГУ, 1992. 144 с.
2. Гемп К.П. Сырьевые запасы морских водорослей и трав и перспективы дальнейшего развития их промысла в Белом море // Труды всесоюзного совещания работников водорослевой промышленности СССР. Т. 1. 1962. С. 15–31.
3. Горенко В.А., Фролов С.Б., Березина М.О., Левицкий А.Л. Значение зостеры морской (*Zostera marina* L.) как субстрата для нереста беломорской сельди // Материалы Международной научной конференции по водным макрофитам «Гидробиотаника-2020». Борок, 2020. С. 40–42.
4. Коренников С.П. Промысловые водоросли сублиторали Двинского, Онежского и Канда拉克шского заливов Белого моря: вопросы биологии, распределения и запасы. Дис. ... кандидата биол. наук. Архангельск, 1982. 188 с.
5. Шкляревич Г.А. Восстановление зарослей *Zostera marina* L. в Канда拉克шском заливе Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 4. С. 13–18.
6. Терентьев А.С. Взморник морской (*Zostera marina* L., 1753) на различных грунтах Джарылгачского залива Черного моря // Материалы Междунар. науч. конф. по водным макрофитам «Гидробиотаника-2020». Борок, 2020. С. 156–158.
7. Мискевич И.В., Мосеев Д.С., Брызгалов В.В. Комплексные экспедиционные исследования северной части губы Сухое Море в Двинском заливе Белого моря. Архангельск, 2018. 74 с.
8. Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А. Растительный покров солоноватых приливных устьев малых рек юго-востока Двинского залива Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 2 (155). С. 25–37.
9. Марковская Е.В., Шкляревич Г.А., Корзунина А.А. Биометрические показатели *Zostera marina* L., произрастающей в различных условиях гидрологического режима Канда拉克шского залива Белого моря // Труды Петрозаводского государственного университета. Серия Биология, Вопросы популяционной экологии. Сб. науч. статей. Петрозаводск, 2008. С. 228–234.

The article gives us information on the communities of *Zostera marina* – the vascular macrophyte found in the White Sea. It presents the data on new habitats of the species, taking into consideration different ecological conditions of the Dvina and Onega gulfs, as well as some biometric indicators from samples taken on the dry lands of littoral and sublittoral areas.

**Мосеев Д.С.<sup>1</sup>, Яковлев А.Е.<sup>1</sup>, Футоран П.А.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: viking029@yandex.ru; <sup>2</sup>ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский», г. Архангельск)

### **О маршах побережья Белого моря на Онежском полуострове**

**Moseev D.S.<sup>1</sup>, Yakovlev A.E.<sup>1</sup>, Futoran P.A.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>National Park Kenozersky)

### **On the marches of the White Sea coast on the Onega Peninsula**

Ключевые слова: марши, рельеф, приморские фитоценозы, грунты, Белое Море.

Значительную протяженность побережья Белого моря на Онежском полуострове занимают низкие приливные берега – марши. Они в основном приурочены к эстуариям рек и заливам, где уменьшается волноприбойное воздействие. В статье рассмотрены классификации маршей Онежского полуострова по типу гидрологического режима и типу галофитной растительности, инициирующей накопление наносов.

Марши, являются одним из характерных элементов рельефа аккумулятивных берегов Белого моря. Они представляют собой обширные осушки, образующиеся под влиянием приливов и нагонов путем приноса илистых и песчаных наносов влекомых приливной волной в осушную зону, покрытые галофитной субаэральной растительностью<sup>1</sup>. С позиции биологической зональности океана, это часть верхней литорали и супралиторали.

На побережье Белого моря марши распределены неравномерно и в основном формируются на низких берегах, защищенных от волноприбойного воздействия [1]. Обычны они и на Онежском полуострове, расположенном между Онежским и Двинским заливами, где исследования биоценозов морских побережий проводились на территории национального парка «Онежское Поморье» и прилегающих районах. Это, побережье Онежского залива: мыс Чесменский, мыс Глубокий, мыс Сатанский, устья рек Котова, Вейга, Кянда, Тамица, Золотица, а также побережье Унской губы Двинского залива (рисунок).

Основным фактором, способствующим формированию и развитию маршей, являются морские приливы. Но, их формирование не везде одинаково. По особенностям географического положения и гидрологического режима, можно различать два типа маршей: 1) приуроченные к приливному устьям рек (эстуариям, дельтам) и 2) расположенные вне устьевых зон рек.

---

<sup>1</sup> Марши, также рассматривают как тип биоценозов морских побережий, с характерными для них условиями засоления почвы и воды и влиянием приливов [2].

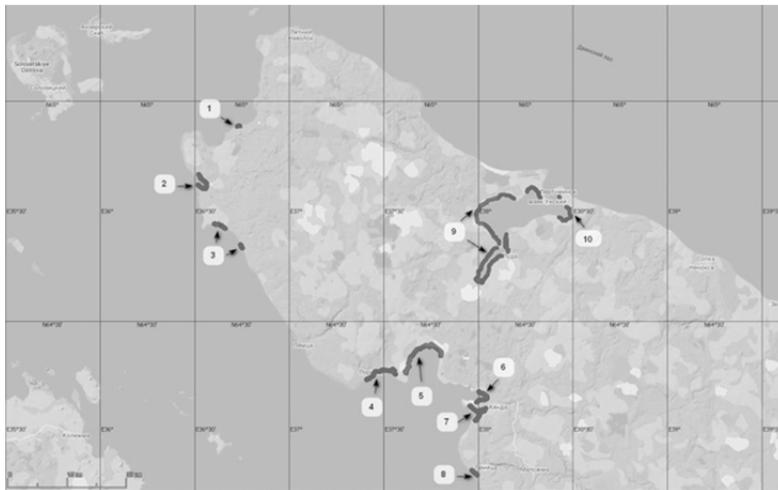


Рисунок. Расположение маршей (выделены темно-серым цветом) на Онежском полуострове: 1 – мыс Сатанский, 2– губа Пушлахта, 3 – мыс Чесменский и устье р. Котова, 4 – устье р. Вейга, 5 – губа Ухта, 6 – Нижмозерская губа, 7 – Кяндская губа и устье р. Кянда, 8 – устье р. Тамица, 9 – Унская губа (кут и ковш), 10 – губа Кинжуга в Унской губе.

Первый тип, объединяет марши эстуариев рек. Они формируются под влиянием нескольких причин: регрессии моря, приливных процессов, выноса влекомых наносов приливной волной в осушную зону, солености почвы и воды. Но, важным фактором их образования являются и гидрологические условия устьев рек. Так, значительные по площади осушки заливаются водой в весенние паводки, что способствует распреснению грунтов, соленых озер и приливных желобов. К таким можно отнести большинство маршей исследованного района Онежского полуострова. Это – марши приливных устьев и прилегающих морских акваторий по берегам устьев рек: Кянда, Тамица, Нижма, Котова. Устья этих рек продолжают эстуариями в обсыхаемые на отливе губы Онежского залива, откуда собственно и начинается формирование этого типа рельефа. Образование маршей в Унской губе, также связано с влиянием устьевых вод рек, которые впадают в залив на всем протяжении побережья.

Образование обширной приливной осушки в устье р. Вейга больше связано с регрессией моря, так как, устье реки проходит только около участка рядом с мысом Вейнаволоок, где уже проявляются паводковые процессы реки. Отметим, что широкие устья рек, протекающих через марши, усиливают боковую фильтрацию грунтов при отливе и значительная часть веществ и взвесей, поступающих на марш во время отлива, выносятся в русла [3, 4].

Второй тип маршей имеет исключительно морское происхождение. Они образуются при регрессии моря и путем наращивания осушек за счет выноса наносов приливами. Малые реки не протекают через такие марши. Определенное влияние на их формирование могут оказывать лишь небольшие пересекающие их ручьи, но оно незначительно. Поэтому, можно предположить, что их образование больше связано с регрессией моря и с воздействием приливных процессов, без влияния устьевых вод рек. Таковы марши у мыса Чесменский и у мыса Сатанский Онежского залива. По наличию большого количества широких озер на низких берегах мыса Чесменский можно предположить, что здесь ранее существовал мелководный морской залив, который обсох в результате регрессии. Но, большая часть осушки здесь в прилив покрыта водой, что также формирует облик залива.

Приливная волна приносит на осушки маршей, взвешенные и влекомые наносы, которые постепенно накапливаясь, способствуют приросту осушки в высоту. Накопление наносов инициируется галофитной растительностью. Как показывают наблюдения, проведенные на реперных участках эстуариев рек Кянда и Тамица за период 2017–2020 гг., наибольшая интенсивность накопления илстых наносов отмечается в осоковых сообществах из *Carex recta* и *Carex aquatilis* – 0.6–0.8 см в сезон по высоте рейки и сообществе из *Bolboschoenus maritimus* – 0.5 см в сезон, где проективное покрытие растительных сообществ достигает 70–80%. Значительно меньше наносов накапливается в слабо сомкнутых сообществах *Phragmites australis*, где покрытие всего 20 %, а в отдельные годы здесь наблюдался размыв грунта, с углублением ниже 2 см по высоте рейки.

По типу растительного покрова и степени засоления грунтов и воды различают соленые и солоноватые марши. Ближе к морю и наиболее осолоняемому участкам устьев рек, где соленость воды выше и повышается степень засоления грунтов, формируется галофитная растительность соленых маршей. На побережье Белого моря Онежского полуострова здесь господствуют сообщества облигатных галофитов из *Carex subspathacea*, *C. salina*, *C. glareosa*, *C. mackenziei*, *Plantago maritima*, *Puccinellia phryganodes*, *Salicornia europaea*, *Triglochin maritima*, *Tripolium pannonicum*. В водоемах и водотоках обычен *Hippuris tetraphylla*, зеленые и желто-зеленые водоросли. На удалении от моря соленость уменьшается, что способствует формированию солоноватых маршей, растительность которых образована преимущественно солеустойчивыми видами галофитов и толерантными к солёности гликофитами. Это – *Alopecurus arundinaceus*, *Bolboschoenus maritimus*, *Eleocharis uniglumis*, *Phragmites australis*. Формируются солоноватые марши и в полосе влияния нагонов, где растительность представлена сомкнутыми приморскими лугами из *Calamagrostis langsdorfii*, *Festuca rubra*, *Sonchus humilis*, а в водоемах и водотоках обычны гидрофильные мхи – *Drepanocladus aduncus*, *Warnstorfia fluitans*, *Calliergon*.

На Онежском полуострове обычны оба типа маршей. Так, в вершине Унской губы, на значительной протяженности устьев рек Кянды и Тамицы большие площади занимают солоноватые марши из *Bolboschoenus maritimus*, *Eleocharis uniglumis*, *Phragmites australis*. У мыса Чесменского, мыса Сатанского, устья р. Вейги, ближе к устью Унской губы, на выходе в Кяндскую губу, с повышением солености существенно возрастают площади осушек занимаемых сообществами с доминированием облигатных галофитов. Они образуют фон растительности соленых маршей, а растительность солоноватых маршей здесь занимает в основном экотонные зоны расположенные ближе к лесу.

Одной из особенностей маршей Онежского полуострова является их значительная обводненность территории, с развитой сетью солоноватых водоемов и приливных желобов, что способствует господству гидрофильных представителей флоры. В отличие от Онежского полуострова на полуострове Канин, обводненные марши лучше развиты ближе к морю, а в вершинах эстуариев основные площади занимают высокие марши с луговой растительностью, вышедшие из-под влияния прилива, но подверженные влиянию нагонов, которые чаще случаются здесь осенью и весной [5].

Таким образом, на Онежском полуострове можно различать различные типы маршей, покрытые не одинаковыми растительными сообществами. Они входят в часть водно-болотных угодий полуострова и являются важнейшими биотопами перелетных и гнездящихся птиц, что особенно важно для территории национального парка «Онежское Поморье» и, несомненно, требует их охраны.

Также, марши очень подвержены к антропогенному прессу и особенно уязвимы к нефтяному загрязнению, что требует контроля и экологических наблюдений за этими приливными берегами.

Работа выполнена в рамках государственного задания тема № 0128-2021-0006 Института океанологии РАН и при финансовой поддержке гранта (№ договора 02/2021-Р) ВОО «Русское географическое общество»: «Белое море – ворота в Арктику. Загадки пернатых мигрантов».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мосеев Д.С. Динамика растительности маршей приливных устьев рек побережий Белого моря и Чешской губы Баренцева моря // Океанологические исследования. 2019. Т. 47. № 4. С. 32–52.
2. Bakker J.P. Ecology of salt marshes. 40 years of research in the Wadden Sea. «Waddenacademie», Leeuwarden the Netherlands, 2014. 53 p.
3. De Leeuw J. Dynamics of salt marshes vegetation. CEMO/NIOO publication no. 586. Enschede the Netherlands, 1987. 177 p.
4. Сергиенко Л.А. Флора и растительность побережий Российской Арктики и сопредельных территорий. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 225 с.

5. Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А. Приморская растительность эстуариев рек на полуострове Канин // Растительность России. 2020. № 39. С. 47–34.

A significant part of the Onega Peninsula's White Sea coast is occupied by marshes (low tidal shores), where they are mainly confined to river estuaries and bays, where the wave-breaking effect decreases. Their development is different in development zones. The article discusses the classification of marshes of the Onega Peninsula by the type of hydrological regime and the type of halophytic vegetation that initiates the accumulation of sediments.

**Нечаев С.Ю.<sup>1,2</sup>, Никонов А.А.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Библиотека РАН, г. Санкт-Петербург, e-mail: donotdespair@yandex.ru; <sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, e-mail: nikonov@ifz.ru)

**Новые исходные данные и характеристики мощного исторического землетрясения 13 августа 1550 г. (числящегося под 1542 г.) на Русском Севере в Беломорье**  
**Nechaev S.Yu.<sup>1,2</sup>, Nikonov A.A.<sup>2</sup>**

(<sup>1</sup>Russian Academy of Sciences Library, Saint Petersburg; <sup>2</sup>Scmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow)

**New initial data and characteristics of strong historical earthquake on August 13, 1550 (cataloged under 1542) in the White Sea, Russian North**

Ключевые слова: историческое землетрясение, сейсмодислокации, цунами, 1542 г., 1550 г., Белое море, Кандалакшский грабен

Землетрясение занесено в действующие каталоги с неверной датой и неточными значениями параметров. На основе ранее не использованного первоисточника дается более надежная трактовка одного из сильнейших событий в регионе.

Район Кандалакшского залива, в западной части бассейна Белого моря и Кандалакшского грабена, известен как наиболее сейсмически активный на всем Европейском Севере РФ. Это проявляется и в значительном числе слабых землетрясений за инструментальный период, начиная с 1956 г., и в историческое время по землетрясениям умеренной силы, и, как теперь выяснено, по нескольким сильным палеоземлетрясениям за тысячелетия. В публикации одного из авторов [1] кратко изложены имевшиеся к тому времени сведения о землетрясениях и цунами 1542, 1627, 1635, 1888, 1911, 1936 и 1967 гг. в Беломорском бассейне.

О землетрясении, числящемся под 1542 г. в работах сейсмологов. Первая публикация в научном геофизическом журнале о землетрясении 1542 г. в Кандалакшском заливе Белого моря появилась в 1977 г. [2] со ссылкой на книгу кандалакшского краеведа [3], который, в свою очередь, процитировал запись из так называемого «Летописца Соловецкого»: «7050 (1542) года, в трех погостах: Керети, Ковде и Кандалакше до Умбы, расстоянием на 300 верст, в 1-м часу дни было великое трясение земли». Землетрясение не могло попасть в только что изданный базовый сейсмический каталог [4], но его не оказалось и в более поздних англоязычных версиях этого каталога [5, 6]. В 1999 г. на конференции в Архангельске и в последовавшей публикации [7] одним из авторов давалась оценка параметров землетрясения по дополнительным историко-сейсмологическим сведениям: тогда представлялось «разумным и без риска завышения принять сотрясения в эпицентре V–VI баллов, если не около VII баллов ( $\pm 0.5$ )». В

2013 г. Р.Э. Татевосян и Т.Н. Татевосян предложили два варианта истолкования события, хотя поиски авторами дополнительной информации о землетрясении не привели к результатам [8].

Вновь обнаруженные исходные данные. В 2001 г. филолог и историк С.В. Минеева осуществила полное научное издание сводных текстов памятника древнерусской литературы «Житие преп. Зосимы и Савватия Соловецких» [9]. На рукописной книге «Жития» из Кирилло-Белозерского собрания Российской национальной библиотеки (Ф. 351. Ед. хр. 35/1274. Л. 440) ею обнаружена следующая запись писца: «В лето 7058 [1550 г.], августа в 4 день, на первом часу дни, бысть трясение земли на море окияне в трех погостах – в Керете, да в Ковде, да в Кандалакше и до Умбы реки, верст на триста подле море, а в гору неведомо бысть, далече ли, были на реках жемчужники от моря за 60 верст, и оне скажут, в той день и в то время и у них земля тряслася же и леса и горы высокия с час времени» [9, с. 596–597].

Как видно, рукописный текст соотносится с процитированным выше «Летописцем Соловецким». Вызывает вопрос различная датировка события в указанных источниках – 1542/1550 г. В описи Кирилло-Белозерского собрания книга, в свое время перевезенная из библиотеки Соловецкого монастыря, датирована «1550 г.». С.В. Минеева так же датировала книгу по сделанной на последнем листе записи писца о землетрясении, принимая во внимание и водяные знаки XVI в. на бумаге. По мнению О.В. Панченко, «ошибка объясняется тем, что при включении этого известия в летописный текст его составитель, по-видимому, потерял в дате “7058” последнюю цифру и тем самым сделал дату землетрясения старше на 8 лет» [10, с. 274]. В рукописном тексте первые цифры византийского летоисчисления «7000» + «50» обозначены буквами кириллицы («#3» + «Н»), а последняя цифра «8» записана словом – «осмаго», которое могло быть пропущено. Свидетельство писца о землетрясении 4 (13) августа 1550 г. является аутентичным и детализированным, тогда как в «Летописце Соловецком» оно передано с ошибками и сокращением, как показывает текстологический анализ.

Для новых характеристик события 1550 г. важно упоминание о «жемчужниках», которые сообщили, что землетрясение было «на реках от моря за 60 верст». Добыча жемчуга на Русском Севере велась как раз в июле–августе, когда вода в реках спадала [11, с. 52]. В 1849 г. гидрограф И.Ф. Штукенберг опубликовал исторические записки «о реках России, в которых водятся жемчужные раковины» [12]. В бассейне Белого моря среди прочих им названы: Кереть, Ковда, Нива (у Кандалакши) и Умба – пункты, обозначенные писцом как испытавшие сотрясения. Единновременность получения писцом новых сведений от «жемчужников», находившихся, скорее всего, в верховьях перечисленных рек, доказывают описи Соловецкого имущества за 1514 и 1539 гг. [13]: добытым жемчугом инкрустировались монастырские вещи, иконы, кресты.

Сейсмогеологические данные. Вновь обнаруженные исходные данные для события 13 августа 1550 г. (новый стиль) существенно расширяют его фактологию. Указание на распространение сотрясений «верст на триста подле море», с учетом последовательного расположения перечисленных писцом пунктов вокруг берегов Кандалакшского залива, следует понимать как обозначение расстояния от Керети до Умбы по периметру залива [7, с. 197–198]. Сообщение о сотрясениях на расстояние, по крайней мере, до 60 км от побережья, вглубь материка, наиболее вероятно относится к Карельскому берегу (ближайшим вотчинам Соловецкого монастыря – местам жемчужного промысла). Вероятно, в той же стороне, к западу от Карельского берега, тряслись «леса и горы высокыя» (высотой не более 100–200 м), которые определяются по карте в 40–60 км от берега с названными пунктами. «Трясению» подверглась не только суша, но и «море окиян» – Кандалакшский залив, по всей вероятности, как прибрежные полосы, так и часть акватории, от них удаленная.

Полевыми исследованиями в Кандалакшском заливе, на Кузокоцком архипелаге (о-ва Кокоиха, Покормежный, Медвежий), установлены крупные, выразительные сейсмодислокации [14]. Они имеют одинаково свежий облик (острые края и бортов, и свалившихся на дно обломков), так что вполне оправдано относить их к одному событию и определять величину общего растяжения первыми метрами. По их типам и размерам авторы исследования оценили силу землетрясения (в эпицентре) не менее IX баллов по макросейсмической шкале INQUA Scale. С такой оценкой согласуется анализируемое сообщение писца о сотрясениях на прилегающей с запада суше: «земля тряслася же и леса и горы высокыя», с упоминанием трех погостов – «в Керете, да в Ковде, да в Кандалакше и до Умбы реки», что позволяет принять  $I \geq VIII$  или VIII–IX ( $\pm 0.5$ ) баллов. Принципиально важно в указанной публикации сейсмогеологов определение методом  $^{14}C$  возраста крупных сейсмонарушений на о-ве Кокоиха – 400–500 лет, то есть совпадающее с датой «1550 г.».

Столь мощное землетрясение не могло не породить цунами. Рассматривая данное, явно экстремальное, событие 13 августа 1550 г. цунамигенным, естественно обратиться к истории Беломорья и обратить внимание на то, что цунами здесь происходили не только в древности, но и в XX в. Очень сильное цунами постигло Соловецкие острова в 1635 г., когда пострадал и сам монастырь [15]. В XX в. цунами отмечено в Кандалакшском заливе в пос. Кереть, на западном берегу Белого моря, после землетрясения 1967 г. [7, с. 210]. Факты свидетельствуют о том, что Беломорский бассейн подвержен явлениям цунами, в том числе мощным, которые, как и в других сейсмических областях, порождаются главным образом землетрясениями.

Агиографическое произведение «Житие преп. Зосимы и Савватия Соловецких» в данном случае также является наглядной (и, возможно,

единственной) иллюстрацией аномальных возмущений Белого моря в XV–XVI вв. В описаниях так называемых «посмертных чудес» преподобных содержатся характерные признаки цунамиподобных возмущений, без отождествления их с бурями или продолжительными штормами. Герои таких рассказов, как правило, находятся на судах в море, либо действие происходит на побережье, неожиданное стихийное воздействие (внезапные морские волны, налеты воды на берег или нагромождения ледяных торосов) подвергает участников событий смертельной опасности, но «явление» преподобных так или иначе оказывает помощь терпящим бедствие. Некоторые из таких эпизодов были квалифицированы одним из авторов как проявление другого мощного моретрясения и цунами первой половины XVI в. [16]. Осуществленная С.В. Минеевой работа по описанию «Жития» и 70-ти «посмертных чудес» Зосимы и Савватия Соловецких в 360-ти списках [17] теперь позволит не только провести полный сравнительный анализ текстов, но и выстроить примерную хронологию их написания, а также установить приблизительное время возникновения экстремального гидрологического явления в Беломорье, в попытке найти вариант его соотнесения с событием 13 августа 1550 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никонов А.А. Землетрясения и цунами в Беломорском бассейне // Всероссийская конф. с международным участием «Северные территории России: проблемы и перспективы развития». Архангельск, 2008. С. 964–967.
2. Панасенко Г.Д. Землетрясение в районе Кандалакшского залива Белого моря 1542 г. // Известия АН СССР. Сер. Физика Земли. 1977. № 10. С. 78.
3. Минкин А.А. Топонимы Мурмана. Мурманск, 1976.
4. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / отв. ред. Н.В. Кондорская и Н.В. Шебалин. М., 1977.
5. New Catalog of Strong Earthquakes in the U.S.S.R. from Ancient Times through 1977 / eds. N.V. Kondorskaya and N.V. Shebalin. NOAA, EDIS, Boulder, CO, 1982.
6. Earthquake Catalogue for the Former Soviet Union and Borders Up to 1988 / eds. N.V. Shebalin, G. Leydecker. Luxembourg, 1997.
7. Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / под ред. Н.В. Шарова. Петрозаводск, 2004. С. 192–213.
8. Татевосян Р.Э., Татевосян Т.Н. О критериях надежности макросейсмической информации: землетрясение 1542 г. на Русском Севере // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. Т. 40. № 1. С. 55–64.
9. Минеева С.В. Рукописная традиция Жития преп. Зосимы и Савватия Соловецких (XVI–XVIII вв.). Т. I. М., 2001.
10. Панченко О.В. Памятники летописания Соловецкого монастыря. Статья 1. Соловецкие летописцы XVI в. // Труды Отдела древнерусской

литературы. Т. 63. СПб., 2014. С. 262–277.

11. Ушаков И.Ф. Избранные произведения. Т. 2. Кольский Север в досоветское время. Мурманск, 1998.

12. Штукенберг И.Ф. О реках в России, в которых водятся жемчужные раковины // Журнал Министерства народного просвещения. 1849. Ч. LXII. Отд. 7. С. 54–57.

13. Опись Соловецкого монастыря XVI века / сост. З.В. Дмитриева, Е.В. Крушельницкая, М.И. Мильчик. СПб., 2003.

14. Мараханов А.В., Романенко Ф.А. Новые данные о послеледниковых сейсмодислокациях Северной Карелии (Карельский берег Белого моря) // Юдахинские чтения. Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI в.: материалы докл. Всерос. конф. с международным участием. Архангельск, 2014. С. 137–140.

15. Никонов А.А. Древнее цунами на Соловецких островах // Природа. 2007. № 9. С. 33–40.

16. Никонов А.А., Флейфель Л.Д. Мощное моретрясение и цунами в Белом море (по забытой рукописи XVI в.) // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М., 2017. С. 259–263.

17. Минеева С.В. Рукописная традиция Жития преп. Зосимы и Савватия Соловецких (XVI–XVIII вв.). Т. II. Тексты. М., 2001.

The earthquake is cataloged with an incorrect date and inaccurate parameter values. On the basis of a previously unused primary source, a more reliable interpretation of one of the strongest events in the region is given.

**Репкина Т.Ю.<sup>1</sup>, Зарецкая Н.Е.<sup>2,3</sup>, Луговой Н.Н.<sup>1,2</sup>,  
Шварев С.В.<sup>2</sup>, Шилова О.С.<sup>1</sup>, Аляутдинов А.Р.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, e-mail: t-gerkina@yandex.ru; <sup>2</sup>Институт географии РАН, Москва; <sup>3</sup>Геологический институт РАН, Москва)

**Морфодинамика и блоковые движения устьевой области р. Варзуги в голоцене (Терский берег Белого моря)**

**Repkina T.Yu.<sup>1</sup>, Zaretskaya N.E.<sup>2,3</sup>, Lugovoy N.N.<sup>1,2</sup>,  
Shvarev S.V.<sup>2</sup>, Shilova O.S.<sup>1</sup>, Alyautdinov A.R.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of geography, Moscow; <sup>2</sup> Institute of Geography of RAS, Moscow; <sup>3</sup>Geological Institute of RAS, Moscow)

**Morphodynamics and block uplift and of the mouth area of the river Varzuga in the Holocene (Tersky coast of the White Sea)**

Ключевые слова: морские берега, морфодинамика, голоцен, хронология, блоковые движения, Белое море, Терский берег

По данным полевых геолого-геоморфологических исследований, радиоуглеродного датирования и диатомового анализа слагающих террасы отложений, дешифрирования космических снимков и ЦМР уточнен морфоструктурный план устьевой области р. Варзуги, оценены скорости поднятия блоков и реконструирована динамика берегов района за последние ~7.5 тыс. кал.л.

Эстуарий р. Варзуги (рис. 1) приурочен к зоне пересечения крупных разломов ССЗ и ССВ простирания [1], разделяющих блоки с большей (западнее реки) и меньшей (в долине реки и к востоку от нее) величиной денудационного среза [2]. В новейшее время западный блок поднимался быстрее «устьевого» и восточного [3]. Различия геологического строения и скорости поднятия не могли не сказаться на динамике береговой зоны. Современные берега западного блока - абразионные и абразионно-аккумулятивные [4], выработаны в осадочных породах терской свиты [2]; на поднятых террасах с абс. отметками до 55 м соседствуют абразионные и аккумулятивные участки [5]. Центральный блок – зона унаследованной аккумуляции. Здесь расположен эстуарий р. Варзуги, отгороженный от моря голоценовой косой (длина ~10 км, ширина до 3 км, абс. отметки до 30 м). В пределах восточного блока на тех же высотах развиты аккумулятивные террасы с береговыми валами [6]. Современные берега «устьевого» и восточного блоков – аккумулятивные пляжевые. Пески поступают с твердым стоком р. Варзуги, а также с вдольбереговыми и поперечными потоками наносов [4]. Песчаные голоценовые террасы изменены эоловыми процессами. На базе морфологических признаков и 8 радиоуглеродных дат, полученных по подошвам озерно-болотных отложений, перекрывающих террасы и террасовидные поверхности с абс. отметками 7.5–70 м, было сделано предположение о существенно большей скорости послеледникового поднятия западного блока по сравнению с центральным и восточным [6]. Результаты исследований последних лет позволили уточнить границы и темпы поднятия блоков, а также реконструировать динамику

берегов района в голоцене.

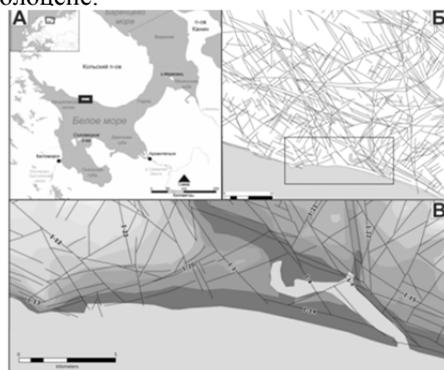


Рис. 1. Положение района работ (А), схема морфолинеаментов (Б) и блоковая структура устьевой области (В) р. Варзуги

Морфолинеаментный анализ (рис. 1Б, В) проведен на основе космических снимков (КС) Landsat ETM+ и цифровым моделям рельефа (ЦМР), созданным по данным ArcticDEM и топографических карт масштаба 1:100000. При геоморфологическом дешифрировании (рис. 2) использованы КС Landsat ETM+ и GeoEye (сервисы Google Earth и Яндекс-Карты), а также детальные топографические карты и результаты полевых исследований.

Полевые работы были проведены в 2012, 2018 и 2021 гг. и включали геоморфологическое и тахеометрическое профилирование, съемку DGPS и БПЛА, ручное бурение и литолого-фациальный анализ отложений заболоченных межваловых понижений, лагун и террас (абс. отметки 20–42 м). По образцам из подошвы озерно-болотных отложений получены радиоуглеродные даты, калибровка выполнена в программе Calib 8.2 (<http://calib.org/calib/calib.html>). Образцы из 6 разрезов изучены методом диатомового анализа (рис. 2).

Для морфоструктуры устьевой области долины р. Варзуги ключевую роль играет сопряжение морфолинеаментных зон северо-западного, запад-северо-западного и северо-восточного направлений (рис. 1В). Они разделяют три крупных морфоструктурных блока на более мелкие. Так, в пределах западного блока обособляются «приморский» (юго-западный; включает хребет Корабль) и «приэстуарный» (северо-западный) блоки.

Строение и история развития рельефа района на текущем этапе исследований представляются следующими.

Террасовидные заболоченные поверхности на высотах 55–80 м с сохранившимися моренными останцами не имеют признаков волнового воздействия. По данным [2], они перекрыты морскими отложениями позднеледниковой трансгрессии. Дата ~9.6–9.5 тыс. кал.л.н. из подошвы болота Морские мхи (абс. высоты 70–80 м) отражает только время начала накопления торфа и не проясняет возраст этого уровня [6].

Поверхность на высотах 40–55 м в приморской части западного блока представляет собой пологонаклонную абразионно-аккумулятивную террасу

с береговыми валами, сложенными на верхних уровнях щебнем, а ниже – галькой терских песчаников. Б.И. Кошечкин [5] выделяет верхнюю морскую границу вблизи верхней, а В.В. Колька и О.П. Корсакова [7] – вблизи нижней границы террасы, считая валы на больших отметках образованиями приледникового бассейна. На внутренних берегах эстуария палео-Варзуги (северо-западный, центральный и восточный блоки) развиты заболоченные поверхности, по морфологии аналогичные расположенным выше, и, вероятно, испытавшие пассивное затопление.

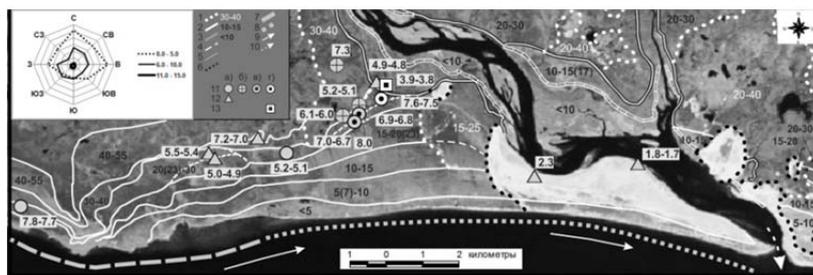


Рис. 2. Строение рельефа приустьевой области р. Варзуги.

Границы: 1 – поверхностей водно- и озерно-ледникового генезиса, частично переработанных морем (цифра – абс. высота, м), 2 – морских и аллювиально-морских террас, 3 – аллювиальных террас; 4 – генераций береговых форм, 5 – эстуария р. Варзуги при положении уровня моря на отметках 14–15 м; 6 – участков интенсивного перевевания. Генетические типы современных берегов: 7 – абразионные и абразионно-аккумулятивные, 8 – аккумулятивные. Направления: 9 – потоков наносов, 10 – стокового течения р. Варзуги. Положение разрезов и скважин: 11 – данная работа, 12 – [6], 13 – [9]; а) отложения датированы (цифра – возраст подошвы озерно-болотных отложений, тыс. кал.л.н.); б-в) отложения датированы и изучены методом диатомового анализа: б – диатомеи не обнаружены; в – обнаружены пресноводные диатомеи, г – обнаружены солоноватоводные и/или морские диатомеи. Роза-диаграмма – преобладающие направления и скорость ветра по данным ГМС Кашкаранцы (м/с)

На отметках 30–40 м формы берегового рельефа – галечные береговые валы и абразионные уступы, сформировавшиеся, по мнению Б.И. Кошечкина [5], во время регрессии раннего голоцена, также присутствуют только на открытом побережье. На берегах эстуария развиты заболоченные террасы с сизо-бурыми суглинками в подошве торфа [6], и формы озерно- и водно-ледниковой аккумуляции [2], слабо измененные морем. Начало накопления торфа на осушенных пространствах северо-западного блока датировано интервалом 7.3–6.0 тыс. кал.л.н. (рис. 2). Это дало основание соотнести формирование террасы с трансгрессией тапес [6].

Терраса на высотах 20(23)–30 м отделена от вышележащих поверхностей отчетливым абразионным уступом, что может быть признаком стабилизации уровня моря или возросшей силы воздействия волн. Строение рельефа указывает на резкую активизацию береговых

процессов. На открытых берегах восточного блока начали формироваться песчаные береговые валы, параллельные современной береговой линии, а в зоне контакта северо-западного и центрального блоков - приустьевая коса р. Варзуги (рис. 2). Ядрами аккумуляции для первых генераций песчаных валов, образующих корень косы, стали склоны камов и структурные гряды, параллельные границе блоков. В результате здесь сформировались разновысотные заболоченные лагуны и котловины, ограниченные прямолинейными или дугообразными в плане невысокими уступами. Датирование подошвы озерно-болотных отложений, перекрывающих морские и эоловые пески, показало значительные отличия (от ~8.0 до ~5.1 тыс. кал.л.н.) времени начала накопления торфа даже в разных котловинах одной и той же лагуны (рис. 2). По данным диатомового анализа пески, подстилающие торф с возрастом подошвы ~7.6–7.5 тыс. кал.л.н. на дне наиболее древней лагуны (абс. высота 21–24 м), формировались в пресноводном водоеме, испытывающем влияние близко расположенного моря. То есть, лагуна уже находилась выше уровня заплеска средних штормов. Близкий возраст – ~7.8–7.7 тыс. кал.л.н., имеет подошва торфа в понижении абразионно-аккумулятивной террасы на склоне хр. Корабль (абс. высота 24 м). Таким образом, новые данные заставляют пересмотреть сделанные ранее [6] предположения как о возрасте террас 40–55, 30–40 и 20–30 м, так и о существенных различиях скорости вертикального поднятия западного и «устьевого» блоков.

Время формирования террас можно оценить, сопоставив морфологические и хронологические данные с изменениями продолжительности ледового периода, и, следовательно, интенсивности волновых процессов. Береговые валы хребта Корабль могли образоваться, когда акватория стала свободна ото льда не менее 1–2 месяцев в году. В Двинском заливе такая ситуация впервые сложилась ~10 тыс. кал.л.н. Затем, за исключением нескольких кратких эпизодов, продолжительность безледного периода оставалась меньше современной, а в интервале ~8.5–7.9 тыс. кал.л.н. резко увеличилась до 6–11 месяцев [8]. Таким образом, террасы на высотах 40–55 и 30–40 м образовались, скорее всего, в раннем голоцене, на фоне региональной регрессии (~11.5–9.5 тыс. кал.л.н.) [7]. Слабая волновая переработка берегов эстуария связана, вероятно, с более продолжительным стоянием припая на закрытых берегах. Формирование террасы с отметками 20(23)–30 м можно соотнести со временем резкого увеличения продолжительности безледного периода, совпавшего с началом трансгрессии тапес.

Терраса на высотах 15–20(23) м на приустьевой косе отличается от расположенных выше и ниже большими размерами и значительной эоловой переработкой береговых валов. Со стороны реки она срезана крутым уступом, отделившим ее от заболоченной террасы с отметками 10–15 м (останцы до 17 м). Последняя вышла из-под уровня моря 3.8–3.4 тыс. кал.л.н. [9]; накопление торфа началось в интервале 4.9–4.8 [6] – 3.9–3.8 тыс. кал.л.н. [9]. Таким образом, формирование террасы на высотах 15–20(23) м можно соотнести с трансгрессией тапес, а срезавшего ее уступа – с завершением трансгрессии.

Морфология и механизмы формирования террас с отметками менее 14–

15 м близки современным. До ~1.8–1.7 тыс. кал.л.н. приустьевая коса р. Варзуги быстро выдвигалась к востоку и в сторону моря. Перевеивание дистали косы началось не раньше ~2.1 тыс. кал.л.н. [6].

Появление новых данных позволило уточнить историю развития рельефа устьевой области р. Варзуги и оценить среднюю скорость послеледникового (гляциоизостатического и тектонического) поднятия отдельных морфоструктурных блоков за период ~7.5 тыс. кал.л. Для центрального («устьевое») блока она составила ~2.8–2.6 мм/год, а для юго-западного (хребет Корабль) ~3 мм/год. Несмотря на незначительные различия темпов вертикальных движений, береговые процессы в пределах быстрее и медленнее поднимающихся блоков были не одинаковы на протяжении всего голоцена.

Исследования выполнены по темам ГЗ № 121040100323-5 и ГЗ ИГ РАН при поддержке проектов РФФИ 19-05-00966 и 20-05-00613.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тектоническая карта Белого моря м-ба 1:1500000 / Отв. ред. А.С. Балугев. Объяснительная записка. М.: ГИН РАН, 2012. 58 с.
2. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:1000 000. Лист Q-37 с акваторией (Архангельск). Объяснительная записка. СПб.: МАГЭ, ВСЕГЕИ, 2010. 338 с.
3. Авенариус И.Г. Морфоструктура Беломорского региона // Геоморфология. 2004. № 3. С. 48–56.
4. Сафьянов Г.А., Моисеева М.А. Морфодинамические условия гранулометрической дифференциации наносов на пляжах и приливных осушках Белого моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2012. № 6. С. 38–45.
5. Кошечкин Б.И. Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1979. 157 с.
6. Зарецкая Н.Е., Репкина Т.Ю. Новые данные по истории Терского берега Белого моря в голоцене (район устья р. Варзуги) // Геология морей и океанов. Т. 3. М.: ГЕОС, 2015. С. 185–189.
7. Колька В.В., Корсакова О.П. Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения на северо-востоке Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря. Т. IV. М.: Научный мир, 2017. С. 222–249.
8. Новичкова Е.А. Постледниковая история развития Белого моря по материалам изучения водных и наземных палиноморф. Автореф. дисс. ... к.г.-м.н. Москва: ИО РАН, 2008. 26 с.
9. Агафонова Е.А., Полякова Е.И., Романенко Ф.А. Диатомовые водоросли в голоценовых отложениях Терского берега Белого моря в связи с историей его развития в послеледниковое время // Арктика и Антарктика. 2020. № 2.

Field geological and geomorphological studies, radiocarbon dating and diatom analysis of the deposits composing marine terraces, interpretation of satellite images and DEM was conducted. As a result, the morphostructural pattern of the Varzuga river estuary was developed, the rates of block uplift estimated, and the dynamics of the coastal evolution reconstructed for the last ~ 7.5 thousand years.

**Репкина Т.Ю.<sup>1,2,3</sup>, Леонтьев П.А.<sup>2</sup>, Крехов А.К.<sup>4</sup>,  
Луговой Н.Н.<sup>1,5</sup>, Вяткин Е.Г.<sup>2</sup>, Орлов А.В.<sup>2</sup>, Корсакова О.П.<sup>6</sup>**

(<sup>1</sup>МГУ имени М.В.Ломоносова, географический факультет, г. Москва, e-mail: t-gerkina@yandex.ru; <sup>2</sup>РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург; <sup>3</sup>Институт Океанологии РАН, г. Москва; <sup>4</sup>СПбГУ, физический факультет, г. Санкт-Петербург; <sup>5</sup>Институт географии РАН, г. Москва; <sup>6</sup>Геологический институт Кольского НЦ РАН, г. Апатиты)

### **Новые данные о динамике Зимнего и Абрамовского берегов Белого моря в голоцене**

**Repkina T.Yu.<sup>1,2,3</sup>, Leontiev P.A.<sup>2</sup>, Krekhov A.K.<sup>4</sup>,**

**Lugovoy N.N.<sup>1,5</sup>, Vyatkin E.G.<sup>2</sup>, Orlov A.V.<sup>2</sup>, Korsakova O.P.<sup>6</sup>**

(<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of geography, Moscow; <sup>2</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg; <sup>3</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>4</sup>SPBU, Faculty of Physics, St. Petersburg; <sup>5</sup>Institute of Geography of RAS, Moscow; <sup>6</sup>Geological Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity)

### **New data on the dynamics of the Zimniy and Abramovskiy coasts of the White Sea in the Holocene**

Ключевые слова: морские берега, морфодинамика, уровень моря, голоцен, Белое море, Зимний берег, Абрамовский берег

Проведены геолого-геоморфологические и геофизические исследования побережья Белого моря на границе Зимнего и Абрамовского берегов. По предварительным данным, на северо-востоке пролива Горло относительный уровень моря поднимался в среднем-позднем голоцене на 1–2.5 м, а в эстуарии р. Койды – не более чем на 0.5 м выше современного уровня полной воды сизигии.

Северо-восточное побережье пролива Горло и западное побережье Мезенского залива Белого моря расположены между краевыми образованиями невиской и лужской стадий деградации последнего оледенения [1]. Полагают, что на северо-востоке Зимнего берега послеледниковое поднятие затухает [2], сменяясь компенсационным гляциоизостатическим или тектоническим погружением [3]. Однако фактических данных о динамике относительного уровня моря (ОУМ) этого района крайне мало. Чутким индикатором положения ОУМ являются формы берегового рельефа и осадки прибрежных водоемов. Из-за быстрого отступления берегов, продолжающегося со среднего голоцена [4], аккумулятивные береговые формы сохранились преимущественно в устьевых областях рек. Поэтому основными объектами наших исследований были приустьевые косы и низкие террасы в эстуариях рек Майды (пролив Горло) и Койды (Мезенский залив). Изучен также безымянный палеозалив в 13 км к СВ от р. Майды, в районе избы Половинной (рисунок).

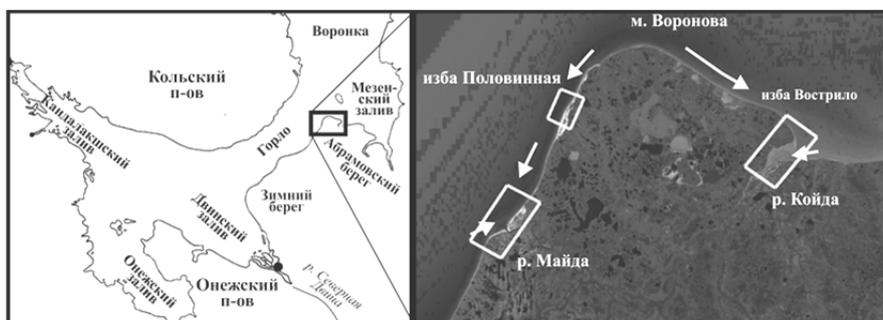


Рисунок. Положение ключевых участков. Стрелками показано направление потоков наносов

Полевые работы включали геоморфологическое и тахеометрическое профилирование, съемку БПЛА, георадиолокационные исследования, а также литолого-фациальный анализ отложений в разрезах и скважинах ручного бурения с отбором образцов на диатомовый, геохимический и радиоуглеродный анализы. Тахеометрическое профилирование выполнено с помощью DGPS PrinCe i50, аэрофотосъемка – квадрокоптером DJI Phantom 4 Pro v2.0. Георадиолокационные исследования проведены с помощью георадара ОКО (антенные блоки 150 и 400 МГц). Для определения диэлектрической проницаемости отложений на каждом из ключевых участков было выполнено вертикальное зондирование. Ручное бурение осуществлялось с помощью русского торфяного бура. Морфодинамика современных берегов изучена в ходе вдольбереговых маршрутов, а также по разновременным картам и космическим снимкам.

Современные берега района развиваются в условиях высокой волновой активности, большей в проливе Горло, и значительных приливных и сгонно-нагонных колебаний уровня моря, величина которых увеличивается от устья р. Майды до устья р. Койды с  $\sim 3$  до  $\sim 6.2$  и с  $\sim 5.5$  до  $\sim 7.5$  м соответственно [5]. Преобладание волн северных румбов [5] определяет генеральное направление потоков наносов – к ЮЗ и ЮВ от м. Воронов (рис. 1). Благодаря конфигурации береговой линии (БЛ) и подводного берегового склона возникают локальные потоки наносов встречных направлений.

Эстуарий р. Майды – область устойчивой приустьевой аккумуляции. Приливные колебания распространяются на  $\sim 13$  км выше устья. В эстуарии развиты песчаные и илстые осушки (абс. отметки  $-1.2 \div 1.5$  м<sup>1</sup>) и современные аллювиально-морские террасы – лайды и поймы, осложненные гривами и каналами стока (абс. отметки 1.5–2.2–2.5 м). Лайды сложены тонко- и мелкозернистыми алевритистыми песками, перекрытыми

<sup>1</sup> Здесь и далее высоты приведены в Балтийской системе высот (БСВ).

алевритами с органическими остатками.

Лайды и поймы отделены эрозионными уступами от заболоченных, плоских сегментов аллювиально-морской террасы (абс. отметки 2.5–4.0 м), сформировавшейся, вероятно, в среднем–позднем голоцене. Терраса примыкает к отчетливому уступу, выработанному в отложениях ледникового комплекса, и заполняет днище долины на участке ~20 км от устья. В тыловом шве ближайшего к устью сегмента террасы эрозией вскрыто лагунное понижение, ограниченное перевеянной песчаной косой. Террасы сложены торфом мощностью 0.6–2.0 м, сменяющимся вниз по разрезу оторфованными, а затем – сизо-серыми опесчаненными алевритами с примазками гидротроилита и остатками растений. Контакт болотных отложений с осадками палеоэстуария фиксируется на высотах 1.6–2.1 м, т.е. на уровне современных приливных колебаний.

На открытом побережье к абразионным уступам и моренным грядам высотой 7–30 м примыкают приустьевые косы. На левом берегу реки коса узкая (200–300 м), ее корень активно размывается, а в дисталь нарастает, отклоняя к СВ устье р. Майдицы. Коса состоит из трех параллельных БЛ перевеянных валов (абс. отметки 2.1–2.5 м), сложенных песками с наклонной слоистостью. Понижения между валами (абс. отметки 1.1–1.5 м) заливаются в приливы и штормы. На отметках 2.5–4 м подножие абразионного уступа окаймлено узкой (2–6 м) ступенью, сложенной горизонтально слоистыми песками, – сохранившимся от размыва останцом террасы, сформированной при более высоком положении ОУМ. Морские и эоловые пески мощностью до 4–6 м залегают на неровной кровле морены.

Коса на правом берегу р. Майды – крупный (длина ~3 км, ширина до ~1.5 км) комплекс перевеянных береговых валов, авандюн и дюн. В ее дистали берег выдвигается за счет накопления на осушке и пляже песков, поступающих со стоком реки и с вдольбереговым потоком наносов. Корень косы примыкает к холмам, сложенным с поверхности мореной. Пляжи и абразионные уступы окаймлены авандюнами высотой от 1–2 м в корне до 4–5 м в дистали косы. Бережнее современной авандюны от корня косы субпараллельно или под углом к БЛ протягиваются четыре гряды дюн (абс. отметки 7–22 м), наложенных на «фоновую» поверхность (абс. отметки 2.0–4.5 м, в основном, – 2.5–3.5 м) со сглаженными дефляцией песчаными береговыми валами. В тылу некоторых из них сохранились засыпанные песком остаточные озёра. На георадарных профилях выделяются: эоловые пески (мощность 1–20 м), 2) морские пески (мощность 15–20 м) и неровная кровля морены, иногда бронированная каменными отмостками. Между 1-ой и 3-ей от современной БЛ грядами дюн морские пески наклонно-слоистые, мощностью 15–20 м. Далее вглубь суши строение горизонта меняется. Между 3-ей и 4-ой грядами пески приобретают горизонтальную слоистость, а их мощность сокращается до 15 м. Восточнее 4-ой гряды видны две пачки горизонтально-слоистых песков, разделенных эрозионным контактом.

Верхняя (2 м) образует линзы; нижняя (10 м) прослеживается непрерывно, залегает на кровле морены и содержит обломки.

Коса отделяет от коренного берега заболоченную палеолагуну (высоты 2.5–5.4 м). Ее отложения, вскрытые на отметках ~3 м, практически аналогичны осадками аллювиально-морской террасы с теми же высотами. Болотные отложения сменяются лагунными на абс. отметках ~ 2 м. В тыловой части лагуны (высоты 4.0–4.4 м), вскрытой береговым уступом, под золотыми песками и торфом залегают две пачки сизо-серых алевроитов и песков, разделенных торфяным прослоем. Постепенная смена лагунных осадков болотными фиксируется на абс. отметках 2.7–2.9 и 1.4–1.5 м.

Таким образом, в устьевой области р. Майды предварительно, до получения результатов аналитических исследований, можно выделить не менее двух этапов формирования приустьевых кос и заполнения эстуария, сопровождавшихся незначительными колебаниями ОУМ. На первом этапе (ОУМ на отметках до ~2.5 м), который, вероятно, можно соотнести с трансгрессией тапес, на правом берегу реки сформировались 4-ая и 3-я генерации кос и дюнных гряд, а в эстуарии – обширная аллювиально-морская терраса. На втором (ОУМ на отметках до ~3 м), вероятно, в позднем голоцене, образовались 2-ая и 1-ая дюнные гряды на правобережье реки и приустьевая коса на ее левом берегу, а аллювиально-морские террасы были частично перестроены. Максимальный зафиксированный подъем ОУМ всего на 1.5 м превышает современный уровень полной воды сизигия (ПВС). На бóльших высотах (до ~5.5 м) пески, сформировавшиеся, вероятно, в прибрежно-морских условиях, выполняют днища ложбин, и могут быть предварительно соотнесены с позднеледниковой трансгрессией.

В районе избы Половинной строение прибрежных форм подтверждает, выводы о наличии двух этапов развития берега и незначительных колебаниях ОУМ. К абразионному уступу высотой 20–25 м, выработанному в отложениях ледникового комплекса [1] и перекрытому золотыми песками мощностью до 2 м, с мористой стороны примыкает аккумулятивная терраса с перевенными береговыми валами (абс. отметки 2.5–4 м). По строению она близка к левобережной косе р. Майды. На заболоченном днище безымянного палелозалив (длина ~5 км, ширина до 1 км) выделяются две ступени с отметками ~5 м, и ~7.5 м, разделенные уступом. Контакт болотных и лагунных отложений зафиксирован в нескольких скважинах на отметках 4.2–4.5 м, т.е. не более чем на 2 м выше современного уровня ПВС.

Характерные черты берегов Мезенского залива – чрезвычайно высокая скорость размыва и присутствие на осушке пластов торфа, залегающих на плотных сизо-серых суглинках с растительными остатками. Аналогичные отложения заполняют многочисленные ложбины, вскрытые в береговых уступах. Поэтому присутствие торфа ниже современного уреза может быть связано как с понижением ОУМ, так и с быстрым отступанием берега.

Современные аккумулятивные формы низкие (до 3.3–3.5 м при положении ПВС ~3.0 м), плоские, заливаются в нагоны и штормы. На правом берегу эстуария р. Койды на абс. отметках 4.5–7.5 м развита терраса, формирование которой может быть предварительно соотнесено с трансгрессией тапес. Она сложена мелко- и среднезернистыми песками с гравием и галькой, залегающими на сизо-серых суглинках и перекрытыми торфом. На контакте торфа и песков (абс. отметки 3.4–3.5 м) развиты криотурбации. Тыловой шов террасы примыкает к абразионному уступу, выработанному в моренной гряде (абс. отметки 12.5–15 м). На георадарных профилях в подошве чехла террасы видны эрозионные врезы. Таким образом, ОУМ в голоцене, возможно, превышал современный, но не более чем на 0.5 м; в это время в эстуарии р. Койды накапливались пески.

**Выводы.** Строение прибрежного рельефа и отложений на северо-востоке пролива Горло позволяет выделить не менее двух этапов развития берега после раннеголоценовой регрессии. Они незначительно отличались положением относительного уровня моря (до 1–2.5 м выше современного) и гидродинамическими условиями в береговой зоне. В эстуарии р. Койды формы берегового рельефа сохранились значительно хуже; относительный уровень моря колебался, вероятно, около современных отметок.

Исследования выполнены в рамках тем ГЗ № 121040100323-5, ГЗ при финансовой поддержке Минпросвещения России (проект № FSZN-2020-0016), ГЗ № 0128-2021-0016, при поддержке проектов РФФИ 19-05-00966 и 20-05-00613.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:1000 000. Лист Q-37 с акваторией (Архангельск). Объяснительная записка. СПб.: МАГЭ, ВСЕГЕИ, 2010. 338 с.
2. Ramsay W. Über die geologische Entwicklung der Halbinsel Kola in der Quartärzeit. Fennia, 1898. Bd. XVI. N 1. P. 1–151.
3. Победоносцев С.В., Розанов Л.Л. Современные вертикальные движения берегов Белого и Баренцева морей // Геоморфология. 1971. № 3. С. 57–62.
4. Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. II. Белое море. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 240 с.

According to preliminary data, the relative sea level in the northwest of the Gorlo Strait in the Holocene was 1–2.5 m, and in the estuary of the river Koyda – ≤0.5 m higher than the average modern Mean High Water Springs (MHWS).

**Рыбалко А.Е.<sup>1,2</sup>, Зарецкая Н.Е.<sup>3</sup>, Репкина Т.Ю.<sup>4</sup>,  
Корсакова О.П.<sup>5</sup>, Семенова Л.Р.<sup>6</sup>, Субетто Д.А.<sup>7</sup>**

(<sup>1</sup>ЦМИ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, alek-rybalko@yandex.ru; <sup>2</sup>Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, <sup>3</sup>Институт Географии РАН, Москва; <sup>4</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, <sup>5</sup>Геологический институт Кольского НЦ РАН, Апатиты, <sup>6</sup>ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, <sup>7</sup>РГПИ им А.И. Герцена, Санкт-Петербург)

**Четвертичные отложения Белого моря – дискуссионные вопросы и главные палеогеографические даты: итоги 65-летнего изучения**

**Rybalko A.E.<sup>1,2</sup>, Zarezkaya N.E.<sup>3</sup>, Repkina T.Yu.<sup>4</sup>,  
Korsakova O.P.<sup>5</sup>, Semenova L.R.<sup>6</sup>, Subetto D.A.<sup>7</sup>**

(<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University Marine Research Centre, Moscow, alek-rybalko@yandex.ru; <sup>2</sup>Institute of Earth Sciences of SPSU, St. Petersburg; <sup>3</sup>Institute of Geography of RAS; <sup>4</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow; <sup>5</sup>Geological Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity; <sup>6</sup>VSEGEI, St. Petersburg, <sup>7</sup>Herzen Russian State Pedagogical Institute, St. Petersburg)

**Quaternary deposits of the White Sea – discussions and main paleogeographic dates: results of 65 years of study**

Ключевые слова: четвертичные отложения, Белое море, ледниково-морские отложения, Северо-Запад, Скандинавский ледник

Рассмотрены результаты морских и береговых исследований по строению четвертичного покрова и истории развития Белого моря в позднем неоплейстоцене и голоцене. Показано, что, несмотря на некоторое расхождение данных и, особенно, методов исследований, совместное использование полученных материалов позволяет более детально описать ход палеогеографического развития приледникового – морского бассейна в беломорской котловине. Рассмотрены основные дискуссионные вопросы истории формирования Белого моря.

Материалы по геологии четвертичных отложений Белого моря неоднократно докладывались на Школе по морской геологии. В настоящее время основные данные нашли свое отражение в монографии «Система Белого моря» [1], а также в изданных листах Госгеолкарты – 1000 [2]. Цель настоящего доклада – подробно остановиться на дискуссионных вопросах развития Белого моря в неоплейстоцене и голоцене, в том числе в свете новых данных полученных при изучении береговых разрезов и бурении прибрежных озер.

Первое литостратиграфическое описание четвертичных отложений Белого моря и характеристика этапов развития беломорского бассейна в позднечетвертичное время были даны И.К. Авиловым в 1956 г., который обобщил все материалы довоенных исследований [3]. Однако, первая сводка по истории развития Белого моря была выполнена М.А. Лавровой

[4], которая подробно рассмотрела этап дегляциации беломорской впадины и представила послеледниковую историю развития моря и побережья, связанную со сменой послеледниковых трансгрессий и регрессий. При этом учитывались данные, полученные при изучении береговых разрезов и датировании раковин морских моллюсков. Формирование Белого моря, по ее мнению, началось в ходе развития Готтигляциальной трансгрессии и освобождения ото льда Горла Белого моря. По возрасту это событие сопоставлялось с развитием Иольдиевого моря в Балтийском море или, по настоящим представлениям, в пребореале.

Позже для выявления палеогеографических событий в беломорской впадине стали совместно применяться данные, получаемые не только в ходе береговых исследований, но и при изучении донных отложений, добываемых с помощью колонковых пробоотборников. Морские исследования были направлены на изучение единичных глубоководных разрезов, что не всегда позволяло провести корреляцию морских и береговых разрезов.

Существенный вклад в изучение истории развития Белого моря и стратиграфии позднечетвертичных отложений был внесен сотрудниками Беломорской экспедиции ИО АН СССР, которая в период с 1957 по 1965 гг. работала в разных районах Белого моря. Для нас важно, что это были первые морские работы со специализированными биостратиграфическими исследованиями. Целый ряд колонок впервые были изучены методами палинологического и диатомового анализов, выполненных Е.С. Малясовой и Р.Н. Джиноридзе. Пробоотбор проводился вибротрубкой, что позволило более подробно описать моренные отложения, лежащие в основании рыхлого разреза. Результаты были изложены в 2-х монографиях [5, 6] и в большом количестве статей. В составленной тогда стратиграфической схеме были выделены ледниковые, ледниково-озерные, ледниково-морские и морские отложения, а также переходные слои между двумя последними подразделениями. Данные спорово-пыльцевого анализа позволили выделить в толще донных верхнечетвертичных осадков Белого моря слои, относящиеся к аллереду, верхнему дриасу и пребореалу, а также плохо расчлененную толщу, отнесенную к атлантикуму и субатлантикуму. Данные диатомового анализа показали, что в конце аллереда-начале позднего дриаса в южной и центральной частях Белого моря существовал ледниково-озерный холодноводный бассейн. Осолонение бассейна Белого моря, вплоть до перехода его в стадию холодного позднеледникового бассейна, произошло в позднем дриасе. Есть мнение, что в это время здесь до начала пребореала сохранялась некая глыба льда. Вывод опирался на то, в некоторых колонках пребореальные слои непосредственно перекрывали морену. Осадки, накапливающиеся в это время в Белом море, были представлены серыми однородными текучими илами. По мнению, бытовавшему во второй половине прошлого века, нормальный морской

режим во всем Белом море установился в конце бореального времени.

Новый этап литостратиграфических исследований связан с проведением в Белом море морских геолого-съёмочных работ ВСЕГЕИ, начатых в 1971 г. Они включали площадное опробование донных осадков с помощью грунтовых трубок и ковшей-дочерпателей по сети масштаба 1:200000. Совместно с МГУ в этих работах впервые было использовано сейсмоакустическое профилирование. Это позволило получить более полные сведения о строении разрезов верхнечетвертичных отложений [7]. Вскрытые отложения были соотнесены преимущественно с последним гляциоседиментационным циклом, представленным мореной осташковского оледенения и толщей поздне-последледниковых осадков. Хотя сама последовательность осадков в целом соответствует схеме, предложенной исследователями-океанологами, но текстурные наблюдения (как и интерпретация данных непрерывного сейсмоакустического профилирования), привели к иному толкованию ранних стадий развития беломорского бассейна. Предполагалось, что в Онежском заливе первые приледниковые озерные бассейны возникли в раннем дриасе и даже раньше, около 13 тыс.  $^{14}\text{C}$  л.н. [1]. При этом по мере проникновения морских вод через Горло в аллереде (около 11600  $^{14}\text{C}$  л.н) ледниково-озерный бассейн сменился ледниково-морским, в котором происходила циклическая седиментация, связанная с отступающим краем ледника. Ледник покинул большую часть моря еще в позднем дриасе, хотя небольшие осцилляции его, возможно, продолжались в Кандалакшском заливе и в раннем пребореале.

Морские геологосъёмочные работы того времени включали в себя цикл разнообразных геофизических исследований и комплексный пробоотбор. В результате удалось не только подкрепить стратиграфическую схему палинологическими данными (Е.А. Спиридонова, Н.А. Гей и др.) и данными диатомового анализа (Р.Н. Джиноридзе), но и детально проследить особенности распространения морских вод по заливам Белого моря. Еще одним результатом этих работ явилось установление обширных площадей морского дна, лишенных современных донных осадков, что предопределило возможность выделения на составляемых картах поздненеоплейстоценовых и раннеголоценовых поверхностей.

Параллельно с морскими работами развивались стратиграфические работы на берегу. В основу этих исследований был положен метод изолированных бассейнов, предложенный скандинавскими учеными и многократно опробованный и адаптированный к применению на берегах Бассейна Белого моря и Кандалакшского залива геологами КНЦ РАН. Так, по данным исследования береговых озер они предполагают, что впервые приледниковый пресноводный бассейн с отложением в нем ленточных глин возник в Беломорской депрессии в аллереде. В конце аллереда, в ходе позднеледниковой морской трансгрессии в него начали поступать морские

воды, т.к. уровень порога стока в Горле Белого моря уже находился ниже уровня моря [8]. По крайней мере, в конце позднего дриаса–начале пребореала морские условия уже присутствовали, т.к. на Кольском побережье установлены морские отложения с возрастом  $11230 \pm 340$   $^{14}\text{C}$  лет [8]. Важным итогом этих работ является и подтверждение блоковых тектонических движений, которые усложняют реконструкцию относительного уровня ледниково-морского и морского бассейна в различных районах Белого моря. С конца пребореала, ( $\sim 9100$   $^{14}\text{C}$  л.н.) до второй половины атлантикума ( $\sim 6000$   $^{14}\text{C}$  л.н.) отмечена отчетливая неравномерная регрессия, которая отражает снятие ледниковой нагрузки. Возможно, именно с этой регрессией связано формирование перлювиальных осадков в Кандалакшском заливе на глубине 60–70 м, образованных при региональном размыве ледниково-морских отложений [1]. Важно, что эта регрессия сопровождалась кратковременным установлением фиксированного положения береговой линии моря или даже незначительного ее подъема [8].

В 2014–2019 гг. проводились наблюдения и на берегу пролива Горло. Они показали, что возраст позднеледниковой трансгрессии, в результате которой баренцевоморские воды проникли в Бассейн Белого моря, старше  $\sim 11.1$  тыс. кал.л.н., причем сам бассейн был сильно опреснен, вероятно, из-за близости края ледника. Предполагается, что в раннем голоцене ( $\sim 11.1$ – $9.5$  тыс. кал.л.н.) имела место регрессия моря, т.к. на отметках  $-20$ – $30$  м реконструировано положение его береговой линии. Современного своего положения береговая линия достигла не ранее  $\sim 9.5$  тыс. кал.л.н. Небольшие (до  $+4$ – $7$  м) ее колебания имели место и в среднем и позднем голоцене [9].

Следует указать еще на одну проблему, до сих пор не решенную. В настоящее время большинство исследователей считает, что фронт последнего ледника проходил через Горло Белого моря на траверзе мыса Инцы, и в районе д. Сосновка выходил на Терский берег [1, 2, 10]. На побережье краевые образования с абсолютными отметками до 80–120 м н.у.м. и высотой до 50–60 м установлены на расстоянии 6–9 км от берега. В прибрежной полосе краевые морены высотой не более 15 м сглажены и перекрыты предположительно позднеледниковыми и голоценовыми морскими, эоловыми и болотными отложениями [2]. Проблема в том, что на дне Горла все геоморфологические элементы имеют строго северо-восточное простирание и краевых форм там до сих пор не выявлено.

Таким образом, представленные данные показывают, что накопленный в настоящее время материал по четвертичным отложениям и истории развития беломорской впадины в позднем неоплейстоцене-голоцене, полученный как в морских экспедициях, так и по данным береговых исследований содержит в себе огромный потенциал для совместной его интерпретации и палеогеографических реконструкций. В этом направлении и будут проводиться дальнейшие исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 20-05-00613 и 19-05-00966).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбалко А.Е., Журавлев В.А., Семенова Л.Р., Токарев М.Ю. Четвертичные отложения Белого моря и история развития современного беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене-голоцене // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С. 16–84.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q-37-Архангельск. Объяснительная записка. СПб.: Карт.ф-ка ВСЕГЕИ, 2012. 302 с.
3. Авилов И.К. Мощность современных осадков и послеледниковая история Белого моря // Тр. Гос. океаногр. ин-та. 1956. Вып. 3. С. 45–47.
4. Лаврова М.А. Основные этапы четвертичной истории Кольского полуострова // Известия Всесоюзного Географического общества. 1947. Т. 79. Вып. 1. С. 21–38.
5. Малясова Е.С. Палинология донных осадков Белого моря. Л., 1976. 118 с.
6. Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море – седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Изд-во: Наука, 1977. 235 с.
7. Спиридонов М.А., Девдариани Н.А., Калинин А.В. и др. Геология Белого моря // Советская геология. 1980. № 4. С. 45–55.
8. Колька В.В., Евзеров В.Я., Меллер Я.Й., Корнер Д.Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене-голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Известия РАН. Серия геогр. 2013. № 1. С. 73–88.
9. Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Шилова О.С. и др. Юго-восточный берег Горла Белого моря в голоцене: рельеф, отложения, динамика // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Санкт-Петербург, 2019. Вып. 6. С. 146–153.
10. Demidov I.N., Houmark-Nielsen M., Kjaer K.H., Larsen E. The Last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: ice flow patterns and decay dynamics // Boreas. 2006. V. 35. Oslo. P. 425–433.

The results of marine and coastal studies on the structure of the Quaternary cover and the history of the development of the White Sea in the Late Neopleistocene and Holocene are considered. It is shown that despite some discrepancy between the data and, especially, research methods, the joint use of the materials obtained allows a more detailed description of the paleogeographic development of the periglacial - sea basin in the White Sea hollow. The main controversial issues of the history of the formation of the White Sea are considered.

**Чульцова А.Л., Котова Е.И.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: an-2345@yandex.ru)

**Биогенные элементы в снеге на территории Архангельской области в зимние периоды 2018–2019 и 2020–2021 гг.**

**Chultsova A.L., Kotova E.I.**

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Nutrients in snow on the territory of the Arkhangelsk region in the winter periods 2018–2019 and 2020–2021**

Ключевые слова: общий фосфор, общий азот, растворенный кремний, снег, Архангельская область

Проведена оценка содержания биогенных элементов в атмосферных осадках и снежном покрове на территории Архангельской области. В большинстве случаев концентрации в кернах снега были ниже, по сравнению со значениями в среднемесячных пробах атмосферных осадков.

Вымывание веществ атмосферными осадками – один из способов очищения атмосферы, но с другой стороны – это источник поступления веществ в почвы, водные объекты. В зимний период в снежном покрове накапливается большое количество биогенных элементов [1, 2] и тяжелых металлов [3, 4], которые при снеготаянии попадают в водные объекты, оказывая огромное влияние на гидрохимическое состояние этих объектов [5]. Среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с антропогенными выбросами промышленности, предприятий топливно-энергетического комплекса, транспорта, соединения азота относятся к наиболее важным. Изучение уровня и особенностей накопления веществ в снеговом и ледовом покрове очень важное направление изучения экологического состояния водных объектов в Архангельской области.

В зимние периоды 2018–2019 и 2020–2021 гг. Северо-Западным отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН были проведены исследования среднемесячных проб атмосферных осадков, а также проб снежного покрова, отобранных перед активным снеготаянием (конец февраля – начало марта). Проба снега (атмосферных осадков) представляла собой выпавший в течение месяца снег, естественно попавший в пластиковые пробоотборники, установленные на выбранных площадках. Отбор проб на площадке осуществлялся параллельно в два ведра. Первое ведро не закрывалось весь месяц. Второе – открывалось только во время выпадения осадков. Такой подход к отбору позволяет определить долю сухих и влажных выпадений. Станции отбора проб, координаты и количество отобранных проб снега указаны в табл. 1.

Таблица 1. Станции сбора проб, координаты, количество проб.

2018–2019		2020–2021	
Станция, с.ш./в.д.	пробы	Станция, с.ш./в.д.	пробы
Северодвинск 64°33'19"/39°45'56"	5	Северодвинск 64°33'19"/39°45'56"	11
Онега 63°54'25"/38°06'30"	3	Заборье 62°44'47"/42°51'18"	9
Порог 63°50'01"/38°28'55"	6	Порог 63°50'01"/38°28'55"	7

Пробы снега в герметично закрывающихся пластиковых вёдрах транспортировались в лабораторию СЗО ИО РАН, где растапливались при комнатной температуре, а затем фильтровались через ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0.45 мкм, изготовленные в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна). Определение концентрации биогенных элементов проводилось по методикам [6, 7] на спектрофотометре модели DR3900 фирмы «Hach-Lange», Германия. Сожжение органического фосфора и азота в пробах – в медицинском стерилизаторе в стеклянных склянках.

Метод определения общего фосфора [7] основан на окислении фосфорсодержащих органических соединений, находящихся в пробе, до фосфатов под действием персульфата калия. Дальнейшее определение проводится теми же реактивами, что и при определении фосфатов методом Морфи-Райли. Метод, предложенный Королёвым и уточнённый Вальдеррамом [6], использовался для определения общего азота. Окислительный реактив, в который, кроме персульфата калия, входят натриевая щёлочь и борная кислота, позволяет проводить сожжение органического азота до нитратов, сначала в щелочной, а затем в кислой среде. Таким образом, единым процессом достигается двухэтапное разложение органического вещества, что улучшает качество анализа. Дальнейшее восстановление нитратов до нитритов проводилось в кадмиевых колонках. Конечное определение нитритов проводилось «единым» цветным реактивом. Определение концентрации растворённого неорганического кремния (силикатов) выполнялось колориметрическим методом по голубому кремнево-молибденовому комплексу (метод Королева) [7]. Полученные значения определяемых элементов и способы сбора снега приведены в табл. 2.

Анализ имеющихся данных показал, что на станции Северодвинск максимальное значение в пробах снега по общему фосфору (0.52 мМ) было в декабре 2020 г.; Онеге – 1.04 мМ в январе 2019 г.; Заборье – 1.52 мМ в декабре 2020 г. в открытых пробоотборниках. На станции Порог наибольшее значение по общему фосфору 0.29 мМ получено в январе 2019 г. в пробоотборнике, который закрывался, когда не было осадков.

Таблица 2. Концентрации общего фосфора и азота, растворенного кремния.

Станция	Сбор*	Месяц	Р <sub>общ.</sub>		N <sub>общ.</sub>		Si	
			μM					
			2018 2019	2020 2021	2018 2019	2020 2021	2018 2019	2020 2021
Северодвинск	закр.	XI		0.19		26.0		
	откр.			0.19		27.4		
	закр.	XII		0.13		41.9		0.93
	откр.			0.52		58.2		
	закр.	I	0.08		64.9		0.45	0.42
	откр.		0.23		46.4		1.51	0.65
	закр.	II						0.65
	откр.		0.10		26.1		0.31	0.56
	закр.	III						1.45
откр.	0.18			57.7		0.45	0.98	
	кern		0.47		34.8		0.62	0.65
Онега	закр.	I						
	откр.		1.04		21.6		0.67	
	закр.	II						
	откр.		0.80		31.1		0.53	
	кern		0.46		22.0		0.27	
Порог	закр.	XII		0.24		40.7		
	откр.		0.12	0.21	48.3	23.1	0.40	
	закр.	I	0.29		22.4		0.18	0.23
	откр.		0.10		23.7		0.13	0.14
	закр.	II	0.06		24.1		0.27	1.31
	откр.		0.14		23.7		0.67	0.56
		кern		0.09		22.2		0.18
Заборье	закр.	XI		0.17		13.7		
	откр.			1.52		37.0		0.23
	закр.	XII		0.06		18.6		
	откр.			0.02		15.5		
	закр.	I		0.10		30.1		
	откр.			0.17		18.9		
	закр.	II						0.09
	откр.							0.19
	кern						0.19	

\*откр.– сбор снега в пробоотборник, который не закрывалось  
закр.– сбор снега в пробоотборник, который открывалось только на время выпадения осадков

Максимальное значение общего азота в Северодвинск – 64.9 μM определено в январе 2019 г. в пробе из закрывающегося пробоотборника. На станциях Онега – 31.1 μM в феврале 2019 г., Порог – 48.3 μM в декабре 2018 г., Заборье – 37.0 μM в ноябре 2020 г. в открытых пробоотборниках.

Значения растворённого кремния были максимальными в открытых пробоотборниках в январе 2019 г. на станциях Северодвинск (1.51 μM) и

Онега (0.67  $\mu\text{M}$ ), а также на станции Заборье (0.23  $\mu\text{M}$ ) в ноябре 2020 г., на станции Порог (1.31  $\mu\text{M}$ ) феврале 2021 г. в пробоотборнике, который закрывался, когда не было осадков.

Только в одном случае из 12 рассматриваемых, значение концентрации элемента в керне снега было большим, по сравнению со значениями в среднемесячных пробах атмосферных осадков. Так же, как и не всегда в параллельных пробах, концентрации в закрывающемся пробоотборнике были ниже, чем в пробоотборнике, который было постоянно открыт.

Авторы благодарят сотрудников морских гидрометеорологических станций Онега и Северодвинск, а также Молокова В.А., Котова А.А. за помощь в отборе проб. Авторы признательны В.П. Шевченко за ценный советы и помощь в организации исследования. Исследования были проведены при поддержке РФФИ (грант № 19-05-00938-а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чульцова А.Л., Скибинский Л.Э. Накопление биогенных элементов в снежном и ледовом покровах устьевой области реки Северной Двины. // Матер. X Международной конференции: «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря». г. Архангельск. Изд-во: ООО «Издательский центр СГМУ». 2007. С. 80–85.
2. Чульцова А.Л., Скибинский Л.Э. Распределение биогенных веществ в снежном и ледовом покровах устьевой области реки Северной Двины // Матер. Всероссийской научной конференции, посвящённой Международному Полярному Году (2007–2008 гг.) «Исследования Российской Арктики: прошлое, настоящее, будущее». Архангельск: Арх. центр РГО. 2008. С. 205–211.
3. Яковлев Е.Ю., Зыкова Е.Н., Зыков С.Б., Очеретенко А.А. Пространственное распределение тяжелых металлов в пробах снега вокруг Северодвинского промышленного района // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 179–184.
4. Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А. и др. Эоловый материал в природных архивах // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / М.: Научный мир, 2012. С. 70–107.
5. Якутина О.П. Содержание фосфора в жидком стоке талых вод на юге Западной Сибири // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 1. С. 55–57.
6. РД 52. 10. 243 – 92. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб. 1993. 264 с.
7. Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: АН СССР. Институт океанологии им. П.П. Ширшова. 1992. 200 с.

The content of nutrients in atmospheric precipitation and snow cover on the territory of the Arkhangelsk region was estimated. The concentrations in the snow cores were lower compared to the values in the monthly average precipitation samples in most cases.

**Шварев С.В.**<sup>1,2</sup>

**Тектонические деформации межледниковых осадков**

**Кольского и Архангельского побережий Белого моря**

(<sup>1</sup>Институт географии РАН, г. Москва; <sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, e-mail: shvarev@ifz.ru)

**Shvarev S.V.**<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow; <sup>2</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow)

**Tectonic deformations of interglacial sediments of the Kola and Arkhangelsk coasts of the White Sea**

Ключевые слова: Белое море, верхний неоплейстоцен, тектонические деформации рыхлых отложений

На Терском, Кандалакшском, Зимнем и Абрамовском берегах Белого моря исследованы постседиментационные деформации в рыхлых межледниковых осадках, вскрывающихся в абразионных уступах. Систематизированы складчатые, разрывные структуры и текстуры разжижения, имеющие региональное распространение

Полученные в последние годы инструментальные геохронологические данные позволяют в определенной степени коррелировать стратиграфические последовательности несколько основных разрезов, расположенных на Терском и Кандалакшском берегах Кольского полуострова в долинах рек Большая Кумжевая, Чапома, Каменка, Стрельна, Чаваньга, Варзуга, Умба, Колвица) [1–5] и на Зимнем и Абрамовском берегах Беломорско-Кулойского плато в абразионных уступах на побережье и в долинах рек Това, Койда [6]. Основные события позднего неоплейстоцена, запечатленные и достаточно хорошо сопоставимые в разрезах, включают: бореальную и беломорскую трансгрессии на протяжении МИС 5, морскую седиментацию в МИС 4, мезенскую трансгрессию на границе МИС 4 и МИС 3, морскую седиментацию в МИС 3, ледниковое и водноледниковое (озерно-ледниковое и ледниково-морское осадконакопление) в течение МИС 2, когда территория была полностью покрыта Скандинавским ледником [6].

В то же время, при проведении палеогеографических исследований невозможно не заметить, что стратиграфические последовательности имеют значительную вариабельность на ограниченном пространстве, когда близлежащие разрезы содержат существенно отличающиеся отложения. С одной стороны, это может объясняться определенными различиями в геоморфологической позиции разрезов, разной историей формирования в рамках преобладающей климатической парадигмы в оценке палеогеографических условий, но с другой стороны не исключается и

влияние дифференцированных блоковых смещений [5].

Тектонический фактор в оценке развития природной среды Фенноскандии получает в последнее время все больше подтверждений, причем не только как относительно равномерного компенсационного изостатического поднятия в поздне-последлениковье, но и дифференцированных смещений, сопровождаемых сильными землетрясениями и сопутствующими явлениями, деформирующими рельеф, скальный субстрат и рыхлые отложения. Расширяются и временные рамки тектонически активного периода. Документированные следы землетрясений в виде деформаций озерных осадков датируются средним голоценом [7]. Получены данные о «предлениковых» событиях, связанных с фронтом надвигающегося ледника [8], а также и о землетрясениях в межледниковое время [9].

Все это заставляет рассматривать тектонические и, в том числе сейсмогенные деформации рыхлых отложений в качестве значимого аспекта палеогеографических реконструкций. Проведенный ранее анализ кинематических типов и пространственных характеристик деформационных структур, обнаруженных на Терском и Зимнем берегах позволил сопоставить их с тектоническим планом территории и установить сейсмический генезис [10–12].

Полученные новые данные дают возможность перейти к более детальной классификации постседиментационных нарушений. В течение трех полевых сезонов было изучено 29 разрезов межледниковых осадков (рисунок). Практически во всех разрезах под слоем морены последнего оледенения, в бассейновых, преимущественно песчано-глинистых осадках с преобладающей первичной градиционной нормальной слоистостью обнаруживаются те или иные постседиментационные деформации, к основным типам которых относятся разрывные, складчатые и разжижения.

Наиболее распространены разрывные и складчатые деформации с амплитудами в диапазоне мм-первых десятков см и текстуры разжижения, проявляющиеся в гомогенизации слоистых осадков с незначительными (мм-см) смещениями материала, массово проявляющимися в разрывах тонких слоев илистых осадков и их фрагментации. Такие незначительные по масштабу конкретных проявлений, но широко распространенные деформации определяют фоновые условия, свидетельствуя о постоянном и повсеместном присутствии стрессового фактора, нарушавшего осадконакопление в позднем неоплейстоцене. Хотя и пространственное и временное постоянство четко дискретизируется отдельными проявлениями, позволяющими наметить с одной стороны «очаговые» участки с концентрацией наиболее интенсивных деформаций различного типа, а с другой – периодичность проявлений стрессового фактора на основании стратиграфического чередования нарушенных горизонтов в разрезах.

Экстремальные проявления, к которым можно отнести разрывы со

смещениями и складки с амплитудой более 1 м, а также мощные горизонты разжижения (более 0.5 м), характеризуют около половины всех изученных разрезов. Более выразительными оказываются пликвативные деформации - складки и флексуры достигающие амплитуд от 1.5–3 м (разрезы 1, 3, 16, 20, 21, 23) до 10 и более м (18). Наибольшее смещение по разрывам достигает 4 м в одном случае (20) и 1–1.5 м в 4-х случаях (4, 11, 13, 28). Для текстур разжижения экстремальными проявлениями оказываются: деформационный горизонт мощностью 0.6 м – в одном случае (14), массовое разжижение в 2-х случаях (3, 6), единичные текстуры восходящего внедрения (инъекционные дайки) с вертикальным развитием 1–4 м (3, 17) и гравитационного проваливания каплевидного типа, достигающие диаметра 10–20 см (26). Максимальная концентрация экстремальных проявлений деформаций отмечена на северном участке Зимнего берега Белого моря (между устьем р. Ручьи и мысом Воронов), где сопряжены и разрывные и складчатые деформации наибольших амплитуд, распространяющихся на весь субаэральный разрез (до 30 м над у. м.), и, судя по видимым фрагментам складок, погружающихся на первые десятки метров ниже у.м. Здесь же обнаруживается и наибольшее количество деформационных эпизодов. В целом для региона, следы 2–4 последовательных событий встречаются повсеместно, но здесь в отдельных разрезах (14) в абразионных обрывах высотой до 20 м наблюдается до 16 хорошо выраженных горизонтов разжижения мощностью 0.2–0.3 м. Систематический характер нарушений позволяет сопоставить их с морфоструктурным планом, а их размеры и распространение – с интенсивностью породивших их событий. В то же время, обнаруживаются и характерные черты, отличающие тектонические деформации от структур иного генезиса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 20-05-00613)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Korsakova O.P. Pleistocene marine deposits in the coastal areas of Kola Peninsula (Russia) // *Quaternary International*. 2009. V. 206. P. 3–15.
2. Korsakova O.P. Formal stratigraphy of the Neopleistocene (middle and upper/late Pleistocene) in the Kola region, NW Russia // *Quat. Int.* 2019. V. 534. P. 42–49. doi:10.1016/j.quaint.2019.03.007.
3. Korsakova O.P., Molodkov A.N., Kolka V.V. Geological-stratigraphic position of upper Pleistocene marine sediments in the southern Kola peninsula: evidence from geochronological and geological data // *Doklady Earth Sciences*. 2004. V. 398 (7). P. 908–912.
4. Korsakova O., Kolka V., Molodkov A., Elovicheva Ya. K. Middle Pleistocene marine deposits on the Kola Peninsula (NW Russia) // *Quaternary International*. 2019. M. 509. P. 3–16.
5. Зарецкая Н.Е., Корсакова О.П., Молодьков А.Н., Григорьев В.А.

Позднеплейстоценовые разрезы Терского берега Белого моря: строение и новые геохронометрические данные // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2019. Вып. 6. С. 40–46.

6. Zaretskaya N., Rybalko A., Repkina T., Shilova O., Krylov A. Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangelsk region, Russia): Stratigraphy and palaeoenvironments // *Quaternary International*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.057>

7. Николаева С.Б., Лаврова Н.Б., Денисов Д.Б. Катастрофическое событие голоцена в донных отложениях озер Кольского региона (Северо-восток Фенноскандинавского щита // Докл. РАН. 2017. Т. 473. № 1. С. 88–92.

8. Pisarska-Jamroz M., Belzyt S., Börner A., Hoffmann G., Hüneke H., Kenzler M., Obst K., Rother H., Van Loon A.J. Evidence from seismites for glacio-isostatically induced crustal faulting in front of an advancing land-ice mass (Rügen Island, SW Baltic Sea) // *Tectonophysics*. 2018. V. 745. P. 338–348.

9. Pisarska-Jamroz M., Van Loon A.J. (Tom), Mleczak M., Roman M. Enigmatic gravity-flow deposits at Ujście (western Poland), triggered by earthquakes (as evidenced by seismites) caused by Saalian glacioisostatic crustal rebound // *Geomorphology*. 2019. V. 326. P. 239–251.

10. Zaretskaya N., Shvarev S., Korsakova O., Grigoriev V. Palaeoseismic traces in the Late Pleistocene deposits of Southern Kola Peninsula // Field Symposium of the INQUA PeriBaltic Working Group “From Weichselian Ice-Sheet Dynamics to Holocene Land Use Development in Western Pomerania and Mecklenburg”. Abstract Volume. Scientific Technical Report STR 19/01, Potsdam: GFZ German Research Centre for Geosciences. 2019. P. 131–133.

11. Шварев С.В. Тектоническая позиция сейсмогенных нарушений в четвертичных отложениях Терского берега Белого моря (Кольский полуостров) // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ. Тез. Докл. Всеросс. совещания, посвященного памяти профессора С. И. Шермана. Иркутск, 26–30 апреля 2021 г. Изд. ИГУ Иркутск, 2021. С. 231–232.

12. Шварев С.В. Сейсмичность в рыхлых отложениях Зимнего берега Белого моря (Архангельская область) // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ. Тез. Докл. Всеросс. совещания, посвященного памяти профессора С. И. Шермана. Иркутск, 26–30 апреля 2021 г. Изд. ИГУ Иркутск, 2021. С. 229–230.

Post-sedimentation deformations in interglacial sediments exposed in abrasion scarps on the Tersky, Kandalakshsky, Zimny and Abramovsky shores of the White Sea, have been studied. Folds, faults and liquefaction textures with a regional distribution are systematized.

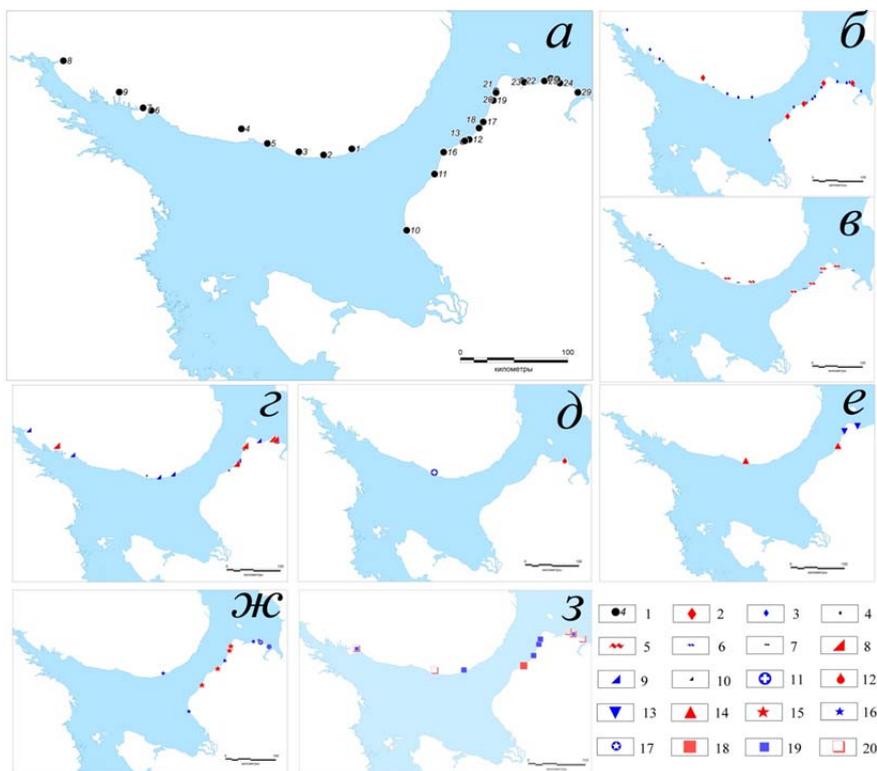


Рисунок. Разрезы межледниковых отложений и основные типы деформаций: 1 – разрезы и их номера; деформационные структуры, разрывные нарушения с амплитудой смещений крыльев: 2 – более 1 м; 3 – 1 – 0.1 м; 4 – менее 0.1 м; складчатые нарушения с амплитудой: 5 – более 1 м; 6 – 1–0.1 м; 7 – менее 0.1 м; вторичный наклон толщи: 8 – 90–50°; 9 – 50–20°; 10 – 20–5°; текстуры разжижения: единичные формы гравитационного проседания: 11 – твердые («плавающие» валуны); 12 – пластичные (глиняные «капли» и «мешки»); кластические дайки с высотой/глубиной более 1 м: 13 – непунические; 14 – инъекционные; фрагментация слоистой толщи с разрывами слоев мощностью: 15 – более 0.1 м; 16 – менее 0.1 м; 17 – с раскатыванием фрагментов в глиняную гальку и гравий; деформационные горизонты мощностью: 18 – 0.5–1 м; 19 – 0.1–0.5 м; массовое разжижение, захватывающее слои мощностью более 1 м с нечеткими границами.

**Штанг А.К., Татаринцева В.Г.**

(Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, e-mail: a\_shtang@inbox.ru)

**Динамика содержания фотосинтетических пигментов некоторых видов сфагновых мхов Иласского болотного массива в летний период**

**Shtang A.K., Tatarintseva V.G.**

(N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk)

**Dynamics of the content of photosynthetic pigments of some sphagnum mosses of the Ilas bog massif in summer time**

Ключевые слова: Sphagnum, пигменты, динамика, хлорофилл, каротиноиды.

На Иласском болотном массиве (Архангельская область, Приморский район) ли отобраны образцы пяти видов сфагновых мхов: *Sphagnum majus*, *S. lindbergii*, *S. papillosum*, *S. fuscum* и *S. capillifolium*. В отобранных образцах было определено количественное содержание таких фотосинтетических пигментов как хлорофилл а, хлорофилл b и каротиноиды.

Водосборная территория Белого моря характеризуется хорошо развитой речной сетью и широким распространением озер и болот. Болота и заболоченные территории занимают около трети территории водосбора. Крайне важна биосферная роль торфяных болот: связывание атмосферного углерода и запирание его в толще торфяной залежи. Однако, не стоит забывать и о регулировании болотами гидрологического режима территории, а также той ценности, которую они представляют как объекты биоразнообразия [1].

В настоящее время торфяные болота испытывают на себе влияние климатических изменений. Нарушение торфяной залежи, происходящее в рамках этих изменений, может привести к выбросам парниковых газов из глубин болот в атмосферу, что, несомненно, внесет свой вклад в дальнейшее развитие парникового эффекта. Исчезновение торфяников может привести к изменениям в гидрологии и уменьшению биоразнообразия [2].

Научная основа сохранения и использования болот подразумевает использование различных методов мониторинга. Изучение показателей биосинтеза (таких как содержание фотосинтетических пигментов) эдификаторной группы растений болот – мхов рода *Sphagnum* позволит получить информацию об особенностях углеродных циклов в условиях изменяющегося климата, а также внести свой вклад в прогнозирование дальнейшей судьбы торфяников.

Фотосинтетический пигментный состав исследовали в образцах

следующих видов сфагновых мхов: *Sphagnum majus*, *S. lindbergii*, *S. papillosum*, *S. fuscum*, *S. capillifolium*. Отбор проб проводили в 2021 году на территории Иласского болотного массива (Приморский район, Архангельская область) с мая по август, один раз в месяц. *S. majus* и *S. lindbergii* отбирались из мочажины, *S. fuscum* и *S. capillifolium* – с гряды, а *S. papillosum* – с края мочажины на границе с грядой. Содержание хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов определяли в ацетоновой вытяжке фотометрическим методом в трехкратной повторности [2]. Полученные значения концентрации пересчитывали на абсолютно сухую массу. Изменения концентраций хлорофилла а, хлорофилла b и каротиноидов по месяцам для каждого вида представлены на рисунке.

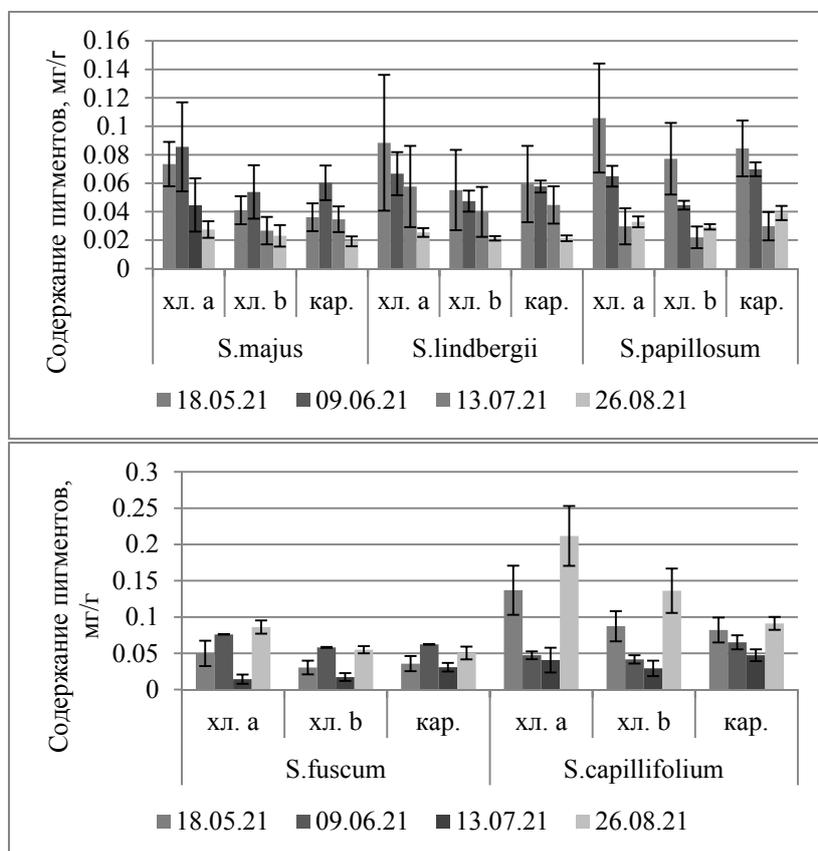


Рисунок. Содержание фотосинтетических пигментов в различных видах сфагновых мхов

*S. majus*, *S. lindbergii* и *S. papillosum*, приуроченные к мочажинам, показали тенденцию к снижению содержания всех рассматриваемых фотосинтетических пигментов к концу лета в 2-4 раза, причем снижение практически линейно происходило в течении всего сезона. Вероятно, эта тенденция связана со снижением уровня болотных вод в ходе сезона, из-за которого эти требовательные к увлажнению виды испытывали недостаток воды. Грядовые виды *S. fuscum* и *S. capillifolium*, напротив, показали в конце лета более высокое содержание пигментов по сравнению с майским уровнем, однако, у *S. fuscum* в ходе рассматриваемого периода времени наблюдаются скачки содержания пигментов, а у *S. capillifolium* – сниженное содержание пигментов в июне и июле. Некоторые исследователи указывают на наличие у сфагновых мхов пика продуктивности в конце лета, связанного с накоплением вторичных метаболитов. Возможно, и увеличение содержания пигментов фотосинтеза наблюдается в связи с этим периодом развития этого пика [4].

Таким образом, основываясь на количестве фотосинтетических пигментов у разных видов сфагновых мхов, можно предположить, что максимум биосинтетической активности, а значит и накопления органического вещества и связывания углерода у мочажинных мхов приходится на конец весны – начало лета, а у грядовых – на конец лета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрковская Т.К., Кузнецов О.Л. Болотные экосистемы бассейна Белого моря // Система Белого моря. Т. I. Природная среда водосбора Белого моря. М.: Науч. мир, 2010. С. 278–300.
2. Weston D.J., Timm C.M., Walker A.P., Gu L., Muchero W., Schmutz J., Shaw A.J., Tuskan G.A., Warren J. M., Wullschleger S.D. Sphagnum physiology in the context of changing climate: emergent influences of genomics, modelling and host–microbiome interactions on understanding ecosystem function // Plant Cell and Environment. 2014. 15 p.
3. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наук. думка, 1976. 336 с.
4. Clymo R.S., Hayward P.M. The Ecology of Sphagnum // Bryophyte Ecology. London: Chapman and Hall, 1982. P. 229–290.

Samples of five species of *Sphagnum* were taken from the Ilas bog massif (Arkhangelsk region, Primorsky district): *Sphagnum majus*, *S. lindbergii*, *S. papillosum*, *S. fuscum*, and *S. capillifolium*. The quantitative content of such photosynthetic pigments as chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids was determined in the selected samples.

*Научное издание*  
*Сборник*

ISBN 978-5-6045110-5-3

DOI: 10.29006/978-5-6045110-5-3

**Геология морей и океанов**  
**Материалы XXIV Международной научной конференции**  
**(Школы) по морской геологии.**

**Том II.**

**Москва, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,**  
**2021. – 295 с.**

ISBN 978-5-6045110-5-3

ISBN 978-5-6045110-5-3



9 785604 511053