



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ
им. П.П. ШИРШОВА
ФГУНПП «СЕВМОРГЕО»
ФГУП ВНИИОкеангеология



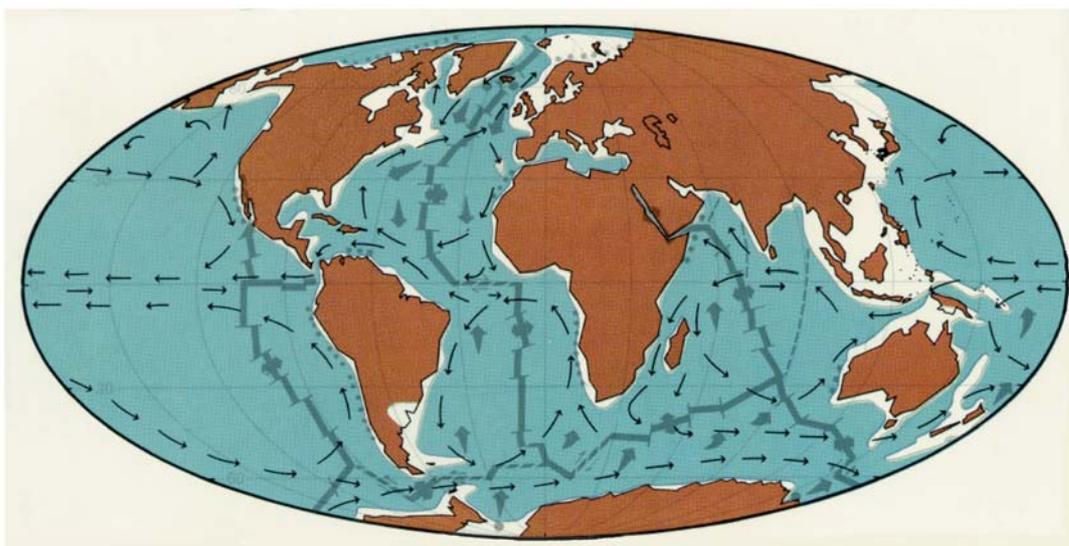
Материалы
XVII
Международной
научной
конференции
(Школы)
по морской
геологии

Москва

2007

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

ТОМ III



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П. ШИРШОВА
ФГУНПП «СЕВМОРГЕО»
ФГУП ВНИИОкеангеология

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

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

Москва, 12-16 ноября 2007 г.

Том III

Москва
ГЕОС
2007

**ББК 26.221
Г35
УДК 551.35**

Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: 2007. – 324 с.

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

В томе III рассмотрены проблемы нанотехнологий и потоков вещества и энергии (атмо-, крио-, гидро-, лито-, седиментосферы), биогеохимии в морях и океанах, а также исследований по проблеме «Система Белого моря».

Материалы опубликованы при финансовой поддержке Отделения наук о Земле РАН, Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 07-05-06024), ФГУНПП «Севморгео», ФГУП ВНИИОкеангеология, издательства ГЕОС.

Ответственный редактор
Академик А.П. Лисицын
Редакторы к.г.-м.н. В.П. Шевченко, Н.В. Политова

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

Volume III includes reports devoted to the problems of nanotechnologies and mass and energy fluxes (atmo-, cryo-, hydro-, litho-, sedimentospheres), biogeochemistry in seas and oceans, and the investigations on problem "White Sea system".

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

**ISBN 978-5-89118-403-9
ББК 26.221**

**© ИО РАН 2007
© ГЕОС, 2007**

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

Д.Н. Айбулатов

(МГУ им. М.В. Ломоносова)

**Оценка стока взвешенных наносов неизученных рек,
впадающих в моря Российской Арктики**

D.N. Aibulatov

(Moscow State University)

**The estimation of the particulate matter flow of the unstudied
rivers of the Russian Arctic**

В настоящее время использование данных по большим, средним и особенно малым рекам российской Арктики затруднено небольшим числом или полным отсутствием станций гидрологического, водохозяйственного, гидробиологического мониторинга на водных объектах данного типа. Около 17% территории Российской Арктики не охвачено стационарными гидрометрическими наблюдениями (Иванов, 2004). Это участки побережья между устьями больших и меньших по размеру рек, а также части водосборов гидрометрически изученных рек между замыкающим и устьевым створами.

Средний годовой сток взвешенных наносов с территорий, неосвоенных данными гидрометрических наблюдений, вычисляется в соответствии с действующими нормативными документами (СНИП 2.01.14–83) с использованием карт и таблиц региональных поправок и зависимостей. По картам допускается определять сток рек с площадями водосборов до 50000 км², а при отсутствии резких изменений в рельефе и климатических условий – и для больших площадей.

Выделяются два варианта расчетов по степени надежности:

а) “средние” реки $F \geq F_{кр}$.

б) “малые” реки $F < F_{кр}$.

где $F_{кр}$ некоторый критический размер площади бассейна, распределенный по природным зонам или районам. Для территории Российской Арктики территории $F_{кр}$ равно 10 км².

Для равнинных областей по карте среднеегодулетнего модуля годового стока (л/(с·км²)) определялся \bar{M} (модуль стока), который соответствует центру тяжести водосбора. Для средних рек ($F > F_{кр}$) средний многолетний расход воды вычислялся по формуле $\bar{Q} = \bar{M} \cdot F$.

Для малых ($F < F_{кр}$) рек – притоков бассейнов Белого и Баренцева морей вводится поправка K_F , а средний многолетний расход равен $\bar{Q} = \bar{M} \cdot K_F \cdot F$.

Сток взвешенных наносов рассчитывается как произведение мутности, определяемой по карте и расхода воды определенного по методике СНИП.

Результаты расчета среднеегодулетнего стока взвешенных наносов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средний годовой сток взвешенных наносов с неизученных территорий

МБВТ	Средняя мутность по МБВТ, г/м ³	Сток взвешенных наносов по МБВТ, тыс. т./год
Кольскоонежская	10.00	842.96
Онежскосеверодвинская	17.50	53.31
Северодвинскомезеньская	25.00	279.09
Мезеньскопечорская	37.50	454.12
Печорскообская	30.00	1351.00
Обскопур-тазовская	37.50	1205.07
Пуртазовскоенисейская	37.50	727.30
Енисейсколенская	25.00	5259.42
Ленская	50.00	455.70
Янскоиндигирская	75.00	385.53
Индибирскоколымская	75.00	482.50
Восточносибирская	75.00	5629.18

Минимальный сток приходится на районы между бассейнами Онеги и Северной Двины, максимальный на районы восточнее бассейна Колымы и между бассейнами Енисея и Лены. Общий сток со всех неизученных межбассейновых водосборных территорий составляет 15,9 млн т/год. Средний годовой сток взвешенных наносов 12 крупнейших рек Российской Арктики составляет 78,5 млн т./год. Таким образом, на долю неизученных территорий приходится 17% общего стока наносов в моря Российской Арктики. По стоку воды на их долю приходится 20 % общего стока, это связано с тем, что эти территории находятся в районе формирования значительного стока воды, тогда как почти вся территория их лежит в зоне тундры, которая характеризуется минимальными значениями мутности. Также мутность крупнейших рек, формирующих свой сток в более южных районах, значительно больше мутности рек неизученных территорий.

Таблица 2

Средний годовой сток взвешенных наносов в моря Российской Арктики

Море	Сток крупнейших рек в море, млн т/год	Сток с МБВТ, млн т/год	Доля стока с МБВТ, %
Баренцево	5,59	1,75	24
Белое	4,04	0,8	16
Карское	21,6	3,86	15
Лаптевых	25,6	7,68	23
Восточно-Сибирское	21,7	2,29	10
Чукотское	0	2,64	100

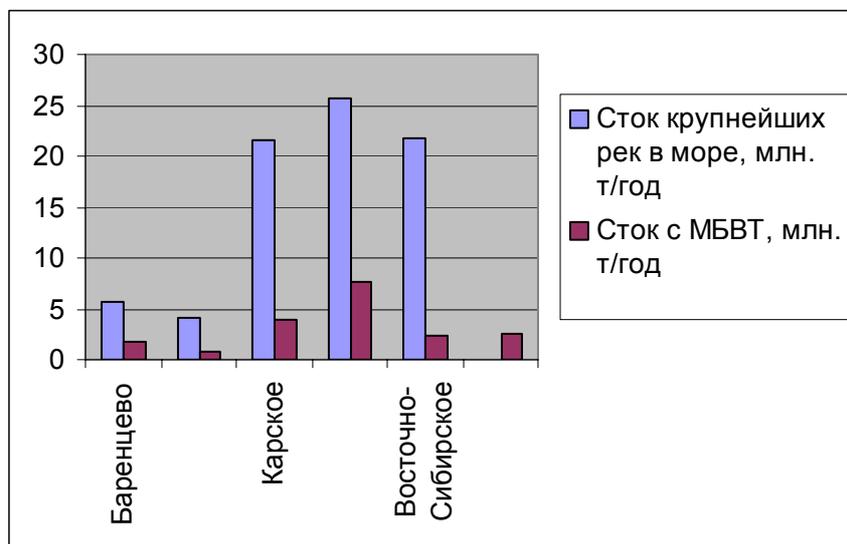


Рис. Поступление взвешенных наносов с МБВТ в моря Северного Ледовитого океана

На долю неизученных территорий бассейна Белого моря (табл. 2, рис.) приходится 24% общего притока взвешенных наносов в море. Для Баренцева моря доля стока составила 24% и для Карского – 15%, моря Лаптевых – 23 %, Восточно-Сибирского – 10. Весь сток наносов Чукотского моря приходится на неизученные реки.

В.А. Бобров

(Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск,
e-mail: bobr@uiggm.nsc.ru)

**Оценка атмосферных потоков химических элементов
на основе микроэлементного анализа торфяных залежей
верховых болот Западной Сибири****V.A. Bobrov**

(Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk)

**Determination of fluxes of chemical elements
from the atmosphere to the surface employing microelements
in peat from West-Siberian upland swamps**

Проведены оценки атмосферных потоков минерального вещества в Западно-Сибирском регионе на основе изучения микроэлементного состава торфяных залежей верховых болот на Иртышско-Обском (Васюганское болото) и Обь-Томском (Кирсановское болото) водоразделах. Первая залежь расположена в 200-х км к западу, вторая – в 30 км к югу от г. Томска. Возрастной диапазон в первом случае составляет 2000 лет, во втором – 1000 последних лет.

Потоки минерального вещества на поверхность в 20-м веке, во второй его половине, превысили более, чем на порядок, потоки на поверхность в предыдущие столетия (табл.). По выражению В.М. Гавшина [1], это вызвано не столько близостью промышленного Томска, сколько «всбросами» пыли от Казахских почв в моменты испытания ядерного оружия.

Таблица. Потоки минерального вещества на поверхность Бакчарского (Васюганского) болота.

Интервал, см	Время, год	Зольность, %	Накопление		Поток
			Минеральное вещество		Аэрозоль
			мг/см ²	мг/дм ² в год	мг/дм ² в год
Олиготрофная стадия					
0–10	5	1,45	1,8	36,8	36,8
10–28	13	1,41	3,7	28	28
28–38	15	4,43	16	123	123
38–44	7	5,33	12	175	174
44–52	18	3,1	14	78,5	78,5
52–58	30	2,3	8	26,6	26,6
0–58	90		55,5		
58–72	520	1,8	18,7	3,55	3,5
80–150	1400	1,7	72	5,2	3,5
58–150	1920		90,7	4,7	3,5

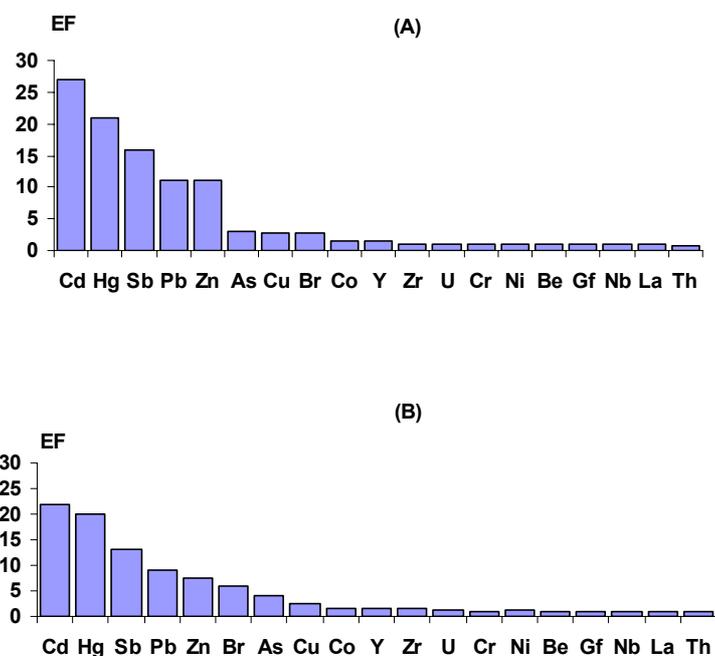


Рис. Ранжирование химических элементов по коэффициентам обогащения (EF) относительно Sc и кларка глин; (А) – для последних 100 лет; (В) – для предшествующих 2000 лет.

Средняя скорость поступления неорганической составляющей пыли, осаждавшейся за последнее столетие, оказалась единой для обоих объектов – 62 мг/дм^2 в год, что разительно отличается от скорости поступления пыли на поверхность в предшествующие столетия – $3,5 \text{ мг/дм}^2$ в год» (Бакчарский участок).

Для установления геохимического «лица» аэрозоля как в XX веке, так и в позднем голоцене, применен комплекс аналитических методов (ААА, РФА-СИ, ИНАА), позволивших выявить группу «летучих» элементов, которыми обогащен атмосферный аэрозоль в сравнении с кларками глин. Геохимическая специфика аэрозоля оставалась выдержанной за последние 20 столетий и в самом драматическом XX веке, несмотря на мощное техногенное воздействие на окружающую среду.

Таблица 2. Оценка потоков химических элементов на земную поверхность в течение XX века (мкг/дм² в год).

Эл-т	Распределение по слоям (см) Бакчарского болота						XX век			
	0-10	10-28	28-38	38-44	44-52	52-58	Бакчарское		Кирсановское	
	5 лет	13 лет	15 лет	7 лет	18 лет	30 лет	Ср. зн.	S %	Ср. зн.	S %
Pb	22	21.5	31.5	35	28.5	12.4	25	33	11.4	81
Cd	0.82	0.43	0.59	0.7	0.32	0.30	0.53	40	0.20	23
Sb	0.3	0.255	0.60	0.3	0.7	0.40	0.43	42	1.43	91
Zn	70	55	90	97	72	38	70	31	31	28
As	1.1	2.9	7.7	12.4	2.8	1.52	4.7	95	1.9	63
Br	3	2.2	13	12	4.8	3	6.3	76	2.24	29
Cu	-12.4	6.0	6.5	7.0	6.3	4.2	7.1	40	4.2	33
Co	0.6	0.6	3.3	3.9	1.75	0.87	1.84	80	1.24	60
Ca	330	205	800	720	390	370	470	51	-	-
K	390	200	500	450	162	62	294	62	-	-
Na	63	53	120	160	75	33	84	56	-	-
V	7.5	6	10	12	8	4.5	8	34	-	-
Mo	0.055	0.042	0.22	0.21	0.09	0.09	0.12	65	-	-
Mn	110	40	40	53	40	15	56	64	-	-
Fe	74	100	820	720	280	150	357	92	280	93
Sc	0.24	0.26	1.5	2.1	1.28	0.60	1.0	75	1.22	99
Cr	8	6	9.3	16	8.3	4	8.6	47	5.4	69
Ni	7	5	7.3	7.5	5	3	5.8	31	3.1	65
La	0.68	0.6	4.2	7.3	3	2.0	2.9	91	2.3	108
Ce	1.2	1.45	7.9	1.3	5	2.5	5.2	90	-	-
Sm	0.072	0.094	0.63	0.93	0.42	0.30	0.40	83	-	-
Yb	0.046	0.045	0.24	0.44	0.19	0.15	0.19	80	0.21	105
Lu	0.0067	0.0074	0.041	0.063	0.028	0.020	0.028	80	-	-
Hf	0.09	0.07	0.32	0.6	0.28	0.13	0.25	80	0.47	26
Ta	0.03	0.023	0.065	0.15	0.07	0.03	0.061	75	-	-
Th	0.19	0.13	0.84	1.47	0.72	0.32	0.61	84	0.89	98
U	0.11	0.08	0.28	0.47	0.23	0.13	0.22	65	0.39	115

1. Гавшин В.М., Сухоруков Ф.В., Будашкина В.В., Мельгунов М.С., Бобров В.А. Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового болота // Геохимия. 2003. № 12. С. 1337–1344.

We estimated mineral matter flux to the surface of West-Siberian swamps during Late Holocene. In particular, the fluxes for 27 chemical elements during a few time intervals within XX century have been estimated.

А.А. Виноградова

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

Загрязнение окружающей среды северных морей России от промышленных комплексов Заполярья (атмосферный перенос тяжелых металлов)

А.А. Vinogradova

(Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS, Moscow)

Environment pollution of the Russian Arctic Seas from Russian polar industry (atmospheric transport of heavy metals)

Проведен анализ распространения воздушных масс и антропогенных аэрозольных примесей от крупных промышленных регионов, расположенных на территории России за полярным кругом – на севере Кольского полуострова и в районе Норильска. Исходными данными являются ежедневные 5-суточные траектории движения воздуха от источников для января, апреля, июля и октября, рассчитанные на протяжении 20 лет с 1981 по 2000 гг. по модели HYSPLIT 4 и данным реанализа полей давления и ветра NOAA (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files). Изучается загрязнение тяжелыми металлами (Ni, Cu, Pb, Cd) природных сред (приземный воздух, осадки и морская вода) в акваториях морей российской Арктики и на прилегающих территориях. Оценены сезонные и долговременные изменения средних концентраций экотоксикантов в приземной атмосфере и в осадках, а также их потоков на подстилающую поверхность (рис. 1).

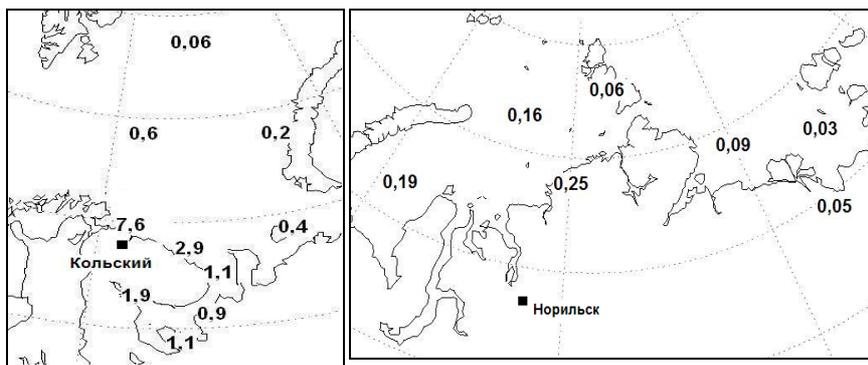


Рис. 1. Пространственное распределение потока никеля ($\text{кг}/\text{км}^2/\text{год}$), принесенного в атмосфере от рассматриваемых источников, на поверхность морей Белого, Баренцева, Карского и Лаптевых в 90-х годах.

Методика расчетов и параметры осаждения примеси на поверхность приведены в [1, 2]. Данные о выбросах рассматриваемых источников были обобщены из [3] и аналогичных изданий 1990, 1996, 2001 и 2005 годов. Полученные оценки хорошо согласуются с опубликованными в литературе данными натурных наблюдений, характерными для изучаемых регионов [4, 5]. Показано, что на не слишком больших ограниченных территориях (например, Белое или Печорское море, западная или восточная половины морей Карского и Лаптевых) перестройка процессов циркуляции атмосферы в конце XX века оказала не меньшее воздействие на уровень загрязнения природных объектов, чем изменение эмиссии источников за тот же период.

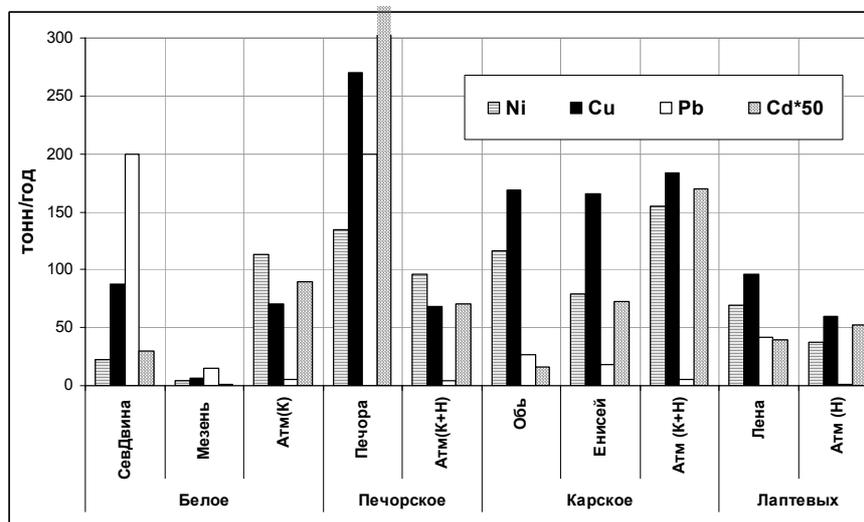


Рис. 2. Вклады рек и атмосферы от Кольского п-ова (К) и района Норильска (Н) как поставщиков тяжелых металлов в воды морей Белого, Печорского, Карского и Лаптевых, т/год.

В целом, за год атмосферный поток стойких экотоксикантов с территории рассматриваемых источников в воды морей вполне сравним с вкладом впадающих рек [6, 7] (рис. 2). При этом акватории Белого и Баренцева морей загрязняются преимущественно предприятиями Кольского полуострова, а акватория моря Лаптевых – предприятиями Норильска, тогда как для Карского моря вклады обоих регионов-источников приблизительно одинаковы. Восточно-Сибирское и Чукотское моря в меньшей степени подвержены прямому влиянию промышленности Норильска, а вклад выбросов Кольского полуострова там ничтожен. В отношении загрязнения свинцом рассматриваемые регионы-источники не являются основными для всех арктических морей.

Выводы. Мощные источники антропогенного аэрозоля, расположенные на севере Кольского полуострова и в районе Норильска, оказывают заметное воздействие на состав приземного воздуха, осадков и вод в акваториях арктических морей России. В результате они вносят свой вклад в поставку антропогенных составляющих в донные отложения морей, а также влияют на состав природных объектов Арктики, повышая концентрации экотоксикантов в трофических цепях различных экосистем.

1. *Виноградова А.А., Шевченко В.П.* Роль атмосферных аэрозолей в загрязнении Северного Ледовитого океана и его морей // *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Т. 18. № 5–6. С. 387–394.

2. *Виноградова А.А.* Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана // *Автореф. дисс. докт. геогр. наук*. М., 2004. 39 с.

3. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (России) 1997 г. СПб, 1998. 433 с.

4. *Голубева Н.И., Матишов Г.Г., Бурцева Л.В.* Результаты исследования загрязнения тяжелыми металлами атмосферного воздуха в открытых районах Баренцева и Белого морей // *ДАН*. 2002. Т. 387. № 4. С. 537–540.

5. *Голубева Н.И., Матишов Г.Г., Бурцева Л.В.* Атмосферные потоки тяжелых металлов в Баренцево море в секторе Кольского полуострова // *Фундаментальные исследования океанов и морей*. М.: Наука, 2006. Кн. 2. С. 465–475.

6. *Геозология шельфа и берегов морей России / Под ред. действ. члена РАН, проф. Н.А. Айбулатова*. М.: Ноосфера, 2001. 428 с.

7. *Гордеев В.В.* Реки Российской Арктики: потоки осадочного материала с континента в океан // *Новые идеи в океанологии*. М.: Наука, 2004. Т. 2. С. 113–167.

Atmospheric transport of air masses and aerosol heavy metals from the Kola Peninsula and the Norilsk region was analyzed for the period of 1981–2000. The trajectories of air transport for each day of January, April, July, and October were computed on the base of NCEP/NCAR Reanalysis Data Files. For Ni and Cu atmospheric fluxes onto the surface of White, Barents, Kara, and Laptev Seas are well comparable with river's discharged fluxes. The effects of variations of air circulation and of source emissions on the change of environment pollution during 20 years were compared.

В.В. Горбачкий¹, А.Н. Бабаков², В.В. Сивков²

(¹Центральный научно-исследовательский институт им. академика А.Н. Крылова, Санкт-Петербург, e-mail: gorbatsky@infopro.spb.su;

²Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, e-mail: sivkov@balnet.ru)

Особенности литодинамических процессов в прибрежной зоне юго-восточной Балтики по данным автономных донных станций

V.V. Gorbatskiy¹, A.N. Babakov², V.V. Sivkov²

(¹Academician A.N. Krylov Central research Institute;

²Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS)

Features of lithodynamical processes in offshore zone of SE Baltic Sea by autonomic bottom stations data

В рамках экологического мониторинга морской нефтедобычи у побережья Калининградской области оборудованы две автономные донные станции (АДС). Одна из них (АДС-1) расположена на внешней границе прибрежной зоны – вблизи нефтедобывающей платформы на глубине около 30 м и расстоянии около 22 км от берега. Основой АДС-1 является акустический доплеровский профилограф течений (ADCP), позволяющий получать непрерывные данные по течениям и мутности воды. АДС-2 расположена в литодинамически активной зоне в трех км от берега на глубине 15 м. Здесь в 2006 году был установлен автономный гидрофизический комплекс HYDRA, измеряющий течения, температуру, мутность воды и уровень моря. На обеих АДС с помощью наносонакопителей производится сбор взвешенного осадочного вещества с последующим определением его гранулометрического состава и расчетом придонных потоков. Литодинамические данные сопоставляются с данными метеонаблюдений.

Накопленные за период мониторинга данные (2004–2007 гг.) показали, что на внешней границе прибрежной зоны (АДС-1) направление и интенсивность переноса поверхностных вод определяется направлением ветра при условии его сохранения в течение 4–6 дней, а в придонных слоях направление переноса модифицируется относительно приповерхностных слоев донным рельефом. Придонные течения начинают формироваться при усилении ветра до 7–8 м/с, а при скоростях ветра 10–13 м/с они становятся устойчивыми. В зимний период (ноябрь–апрель) перенос однородных по глубине вод направлен преимущественно вдоль береговой линии. Направление течений определяется направлением ветра. Интенсивность переноса существенно выше, чем в летние месяцы. Инерционные колебания, возникали при уменьшении скорости ветра до 5–6 м/с без изменения его направления. Вертикальное распределение концентрации взвеси определяется синоптической изменчивостью течений. Аномальные увеличения концентрации взвеси нерегулярно возникают в придонном слое, как правило, после прохождения атмосферных фронтов, сопровождающегося уменьшением

скорости ветра и изменением его направления. В летний период (май – октябрь) наблюдаются выраженные инерционные колебания, перенос вод в глубинном (ниже глубины 15 м) слое значительно сокращается. В верхнем слое направление и интенсивность переноса определяются ветром, а в придонном слое, как правило, переноса идет в противоположном направлении. Такое расслоение связано с возникновением сезонного термоклина. Фиксировались периодические колебания концентрации взвеси, совпадающие с инерционным периодом колебания течений.

Количество осадочного материала в придонном слое моря невелико из-за дефицита тонкодисперсного осадочного материала, подверженного взмучиванию придонными течениями. Дефицит обусловлен литологическим составом и физическими свойствами моренных отложений, распространенных в районе АБС-1, и относительной удаленностью точки наблюдений от литодинамически активной прибрежной зоны. Устойчивое повышение концентрации взвеси отмечается при западных и юго-западных направлениях течения, т.е. от берега.

В прибрежной зоне (АДС-2) перенос взвешенного вещества течениями намного активнее. Господствующими ветрами западных румбов и соответствующим волнением поток взвешенных наносов направляется в основном на север и северо-восток – в сторону Куршской косы. Разворот генерального вдольберегового переноса взвеси на юго-запад происходит при переходе мористых ветров через СЗ на С румб. Благодаря комплексу HYDRA удалось получить количественные характеристики влияния штормовых условий на литодинамические процессы. При штормовом ветре (более 20 м/с) амплитуда волнения достигала почти 3 м. Соответственно скорость придонного течения возрастала при этом до 80 см/с, и отмечалось резкое (в течение 5 часов) возрастание уровня моря на 0,8 м. Установившийся уровень сохранялся на протяжении последующих двух суток. Временная изменчивость мутности (концентрации взвеси) придонных вод была положительно коррелирована с изменчивостью скорости ветра. В период штормов мелкозернистая песчаная фракция превалирует в составе взвешенных и сальтирующих наносов придонного слоя прибрежной зоны.

Two long-term autonomic bottom stations installed in offshore zone of the Baltic Sea near Kaliningrad region (Russia) give a chance to quantification of lithodynamical processes. In outer boundary of the coastal zone (depth 30 m) near-bottom currents become stable within wind speed of 10–13 cm/s. Main contribution in variability of currents and concentration of suspended matter give inertial waves. Significant influence on the currents has summer layering of the sea and formation of thermocline. High velocities of near-bottom current and sharp increase of sea level in storm wind conditions were recorded. Temporal variability of water turbidity positively correlates with variability of wind speed. Fine-grained sandy fraction prevails in composition of bed-load moved and saltated particles.

Н.В. Горюнова, В.П. Шевченко

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

**Элементный состав эоловой взвеси над морями
Российской Арктики**

N.V. Goryunova, V.P. Shevchenko

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

**Elemental composition of aeolian matter
in the Russian Arctic Seas**

Химический состав аэрозолей определяется их источниками и типом химических превращений, которым подвергается аэрозольное вещество [1]. На основе современных методов анализа нам удалось изучить валовый химический состав проб, собранных методом фильтрации воздуха в ходе рейса на л/к «Капитан Драницын» в августе – сентябре 2006 г. в Баренцевом, Карском морях и море Лаптевых. Карта отбора проб (начало и конец отбора) и траектории перемещения судна представлены на рис. 1.

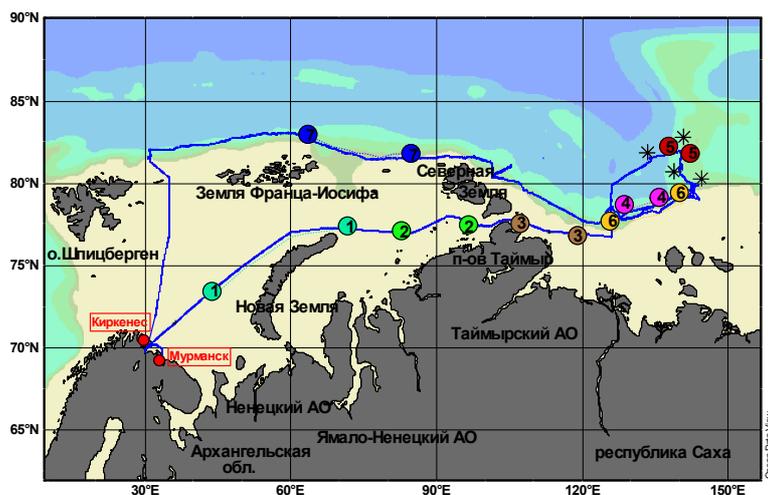


Рис. 1. Карта отбора аэрозольных проб

Для определения многоэлементного химического состава воздух прокачивался через ацетат-целлюлозные фильтры АФА-ХА-20 (20 см² – площадь рабочей поверхности) с помощью вакуумного насоса, установленного на пеленгаторной палубе судна. Фильтры АФА-ХА изготавливают из ацетат-целлюлозы, и они специально предназначены для химического анализа аэрозолей. При фильтрации собираются не только крупные аэрозольные час-

тицы, но и субмикронные, в том числе частицы морской соли. После экспедиции выполнялся инструментальный нейтронно-активационный анализ для выявления химического состава отобранных аэрозольных проб.

Концентрации большинства химических элементов варьировали в широких диапазонах: Na от 675 до 4985 нг/м³, Sr от 10,8 до 32,9 нг/м³, Ba от 10,6 до 57,1 нг/м³, Ni от 9,6 до 217,6 нг/м³, Zn от 10,4 до 54,1 нг/м³, Se от 0,103 до 0,5 нг/м³, As от 0,179 до 0,369 нг/м³, Sb от 0,226 до 1,1 нг/м³, Br от 0,181 до 1,063 нг/м³.

Для того чтобы оценить источники химических элементов, были рассчитаны коэффициенты обогащения относительно среднего состава земной коры (КО) по формуле:

$$KO = (\text{Эл}/\text{Fe}) \text{ пробы} / (\text{Эл}/\text{Fe}) \text{ коры},$$

где Эл и Fe – концентрации данного элемента и железа в пробе и земной коре соответственно. Здесь мы рассматриваем Fe как индикатор терригенного материала и принимаем его содержание в земной коре равным 56300 ppm [2].

Коэффициент обогащения Na, Ca, Se, Br, Zn, Sb, Co, Ni, As в пробах высоки (рис. 2), что свидетельствует о преимущественно морском происхождении аэрозолей. Как отмечалось ранее, частицы морской соли обогащены многими микроэлементами в результате фракционирования в поверхностном микрослое морской воды [3, 4].

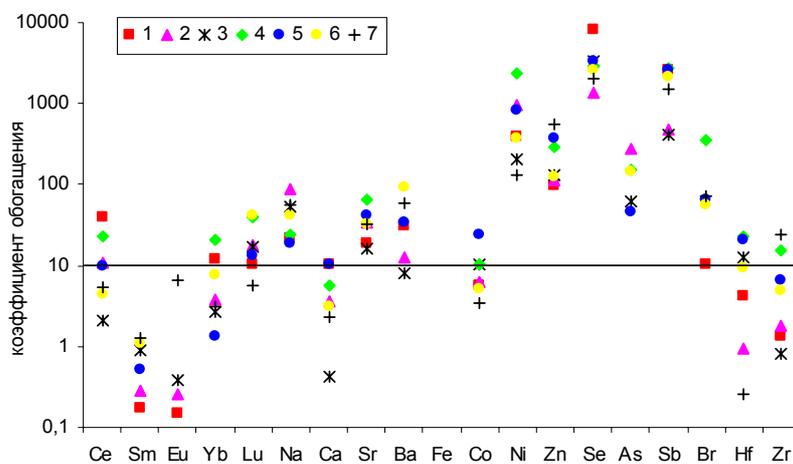


Рис. 2. Коэффициенты обогащения проб аэрозолей, собранных методом фильтрации, рассчитанные по Fe – индикатору коровой составляющей. Цифрами указаны номера проб.

Следует особо отметить, что значительное обогащение рассматриваемого аэрозоля As, Ni, Se, Co, Zn, Sb (рис. 2), на наш взгляд, связано в данном случае, как с атмосферным заносом в район наблюдений, так и с повышенным содержанием этих элементов (причины могут быть как антропогенного, так и естественного характера) в поверхностном микрослое морской воды и фракционированием его при выносе в приповерхностный слой атмосферы [3].

Данные по КО позволяют разделить химические элементы на 3 группы [5, 6]: 1) характерные для земной коры (Fe, редкоземельные элементы, Sm, Eu, Yb, Lu, Ce, Hf); 2) морские (Na, Ca, Br); 3) смешанного морского, терригенного и антропогенного происхождения (As, Ni, Se, Co, Zn, Sb).

Работа выполнена при финансовой поддержке программы NABOS, РФФИ (грант 07-05-00691), российско-германской лаборатории им. О.Ю. Шмидта, Отделения наук о Земле РАН (проект 9 ОЗ “Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли”), гранта поддержки ведущих научных школ № НШ-2236.2006.5.

Авторы выражают благодарность академику А.П. Лисицыну за ценные советы и замечания, А.Н. Новигатскому за поддержку и А.Н.Чаркину за помощь в отборе проб.

1. *Бримблкумб П.* Состав и химия атмосферы / Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 352 с.

2. *Taylor S.R.* The abundance of chemical elements in the continental crust – a new table // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1964. Vol. 28. P. 1273–1285.

3. *Корж В.Д.* Закономерность фракционирования химических элементов в процессе их выноса из океана в атмосферу // Докл. АН СССР. 1987. Т. 292. № 4. С. 822–827.

4. *Савенко В.С.* Роль флотационных процессов в фракционировании химических элементов при образовании морского аэрозоля // Докл. АН СССР. 1989. Т. 309. № 5. С. 1222–1225.

5. *Шевченко В.П.* Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 224 с.

6. *Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А. и др.* Аэрозоли Арктики и их влияние на окружающую среду // *Аэрозоли Сибири*. Отв. ред. К.П. Куценкогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. С. 148–184.

The chemical composition of aerosols is determined by their sources and by the types of chemical transformation the aerosol matter is subjected to. The chemical composition like the mineral is one of the most important markers of aerosols. Elemental composition of aerosols in the marine boundary layer in the Russian Arctic seas was studied during the cruise on board of the ice-breaker “Kapitan Dranitzin” in August – September 2006.

В.А. Гриценко¹, А.Г. Зацепин², С.С. Низов²

(¹Российский государственный университет им. И. Канта, Калининград, e-mail: ocean@albertina.ru; ²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: zatsepin@ocean.ru)

Вихре-волновой режим распространения вдольсклоновых течений и ресуспензия донных осадков

V.A., Gritsenko¹, A.G. Zatsepin², S.S. Nizov²

(¹Immanuel Kant State University of Russia, Kaliningrad, ²Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Wave-vortical regime of along slope current propagation and resuspension of bottom sediments

На качественном уровне хорошо известна роль придонных течений в ресуспензии донных осадков. Сравнительно недавно, в гидротехнике лаборатории экспериментальной физики океана ИО РАН кроме обычно наблюдаемых – ламинарного и турбулентного – был получен еще один режим распространения плотностных течений по склону дна – вихре-волновой, две фазы которого для одного из течений приведены на рис. 1.

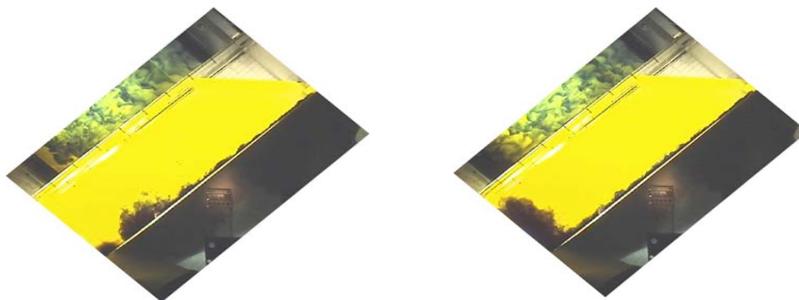


Рис. 1. Пример развития вихре-волнового режима придонного течения с параметрами: $\alpha=44^\circ$, $Re=66$, $Fr=2.4$, $g'=1.1 \text{ см/с}^2$, $u=1.5 \text{ см/с}$, $q=0.66 \text{ см}^2/\text{с}$, $\nu=10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$.

Целью данной работы является описание возможной роли обнаруженного вихре-волнового режима вдольсклоновых плотностных течений в ресуспензии донных осадков. Для анализа внутренней структуры такого рода течений был использован массив расчетных течений, полученных на XZ- модели. Конечно-разностные уравнения модели были построены на сетках с размерностями от 401×321 до 701×621 ($\Delta x = \Delta z = 0,05$) по явной схеме с направленными разностями. Характерные масштабы модельных течений находились в диапазонах: избыточная плотность – $\Delta \rho_0$ – от 0,0001 до 0,001 г/см^3 , толщина – h_0 – от 1 до 1000 см, скорость – u_0 – от 1 до 10 см/с, эффек-

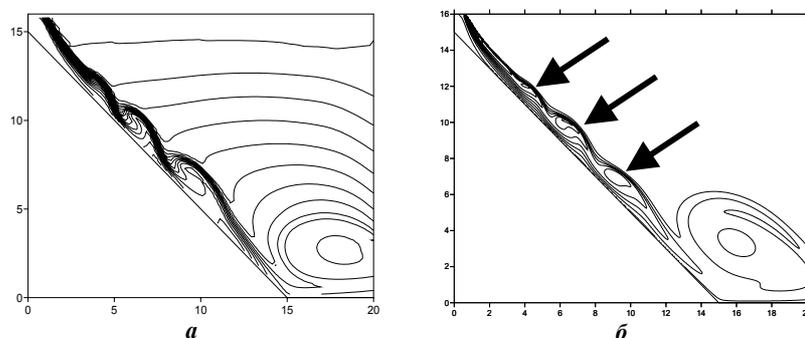


Рис. 2. Распределения значений изолиний плотности (а) и завихренности (б) для одного из расчетных вдольсклоновых течений. Характерные масштабы течения во входном створе: $\Delta\rho_0 = 0,0001 \text{ г/см}^3$, $h_0 = 1000 \text{ см}$, $u_0 = 10 \text{ см/с}$, $\nu_{\text{эфф}} = 10^{-1} \text{ см}^2/\text{с}$.

тивная вязкость $\nu_{\text{эфф}}$ – от 0,3 до 3,0 $\text{см}^2/\text{с}$; угол наклона дна – $\alpha = 45^\circ$. На рис. 2 приведены распределения плотности и завихренности для одного из расчетных течений. На изолиниях плотности отчетливо виден волнообразный характер верхней границы течения. На правом рисунке хорошо видны локальные максимумы завихренности, расположенные в непосредственной близости от линии дна (на рисунке отмечены стрелочками). Совершенно очевидно, что их появление на фоне вязкого пограничного слоя может значительно усилить воздействие придонного потока на верхний слой осадочного материала и привести к появлению локальных зон его размыва. Итак, обнаружение в лабораторном гидротомке и на численной модели нового режима соскальзывания плотностных течений по склону дна расширяет список возможных сценариев эрозии дна в зоне существования придонных течений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 05-05-64927 и № 06-05-64138, а также проекта 1.2. Программы Президиума РАН № 17.

In the paper, the quality description of wave-vortical regime is given for along slope density currents. The new scenario for bottom sediments re-suspension is formulated by analyze of structure features of simulated bottom currents

Ю.Н. Гурский

(Московский Государственный Университет, геологический факультет)

Парагенетические эколого-геохимические функции литосферы

Yu.N. Gursky (Lomonosov Moscow State University, Geological Faculty)

Paragenetic ecology-geochemical function of Lithosphere

Проблемы взаимодействия человека с окружающей природной средой в океане и на континенте приобретают в новом тысячелетии все более напряженный и зачастую драматический характер. Сохранение окружающей среды, преодоление варварского отношения к дарованной нам Богом природе – важнейшая задача эколога и каждого разумного человека. Решение этой задачи тесно связано с проблемой воспитания экологического сознания человека и гражданина.

Защита окружающей среды от негативных воздействий определяет необходимость изучать функциональные связи между человеком и окружающей его средой, прежде всего – между человеком и литосферой – главным местом обитания и жизнедеятельности человека. Изучить и классифицировать различные формы литосферных воздействий на человека и другие живые организмы, оценить их реакцию на антропогенное вторжение – важная проблема экологической геохимии.

Рассматривая *биогеохимические функции живого вещества*, В.И. Вернадский определил их как основные химические реакции живого вещества, которые *могут выражаться в виде геосфер* и распространяться на всю планету вне зависимости от территориальных условий геосферы. Он выделил пять групп таких функций: газовые, концентрационные, окислительно-восстановительные, биохимические, биогеохимические функции человека [1]. Кроме того, В.И. Вернадский выделил особые оболочки по форме нахождения в них химических элементов, предложив назвать их *парагенетическими оболочками*, так как они главным образом определяют законы совместного нахождения элементов. «Биосфера и является одной из таких парагенетических оболочек, наиболее нам доступной и известной». И далее: «Представляется, что такое строение является результатом взаимодействия космических сил, с одной стороны, вещества и энергии нашей планеты – с другой» [1, 2].

Геосферный подход к проблеме функционирования и классификации вещества и энергии в биосфере и других оболочках Земли, намеченный в трудах В.И.Вернадского, и его представления о биогеохимических функциях живого вещества позволяют, развивая их, представить новую концепцию парагенетических геосфер [2]. В них проявляются различные *эколого-геохимические функции литосферы* (ЭкГХФЛ), которые характеризуют специфическое влияние объектов литосферы и геохимических процессов в ней на условия существования человека и биоса (рисунок).

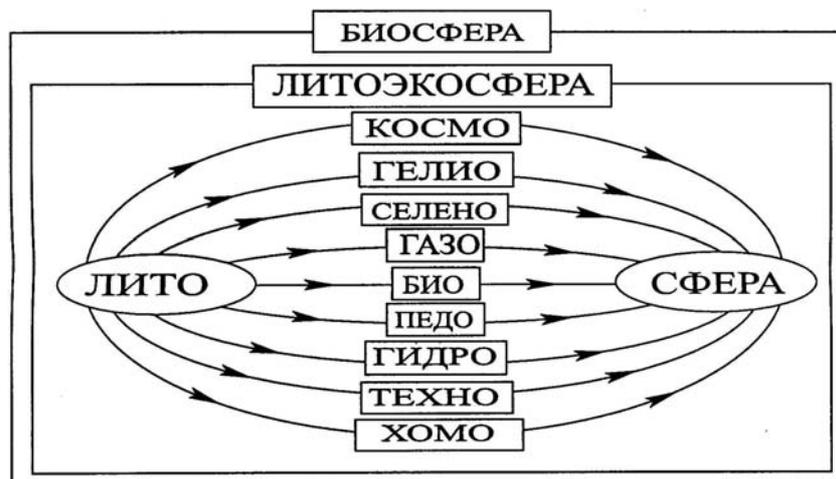


Рис. Геосферные парагенетические эколого-геохимические функции литосферы

С ЭкГХФЛ тесно связано представление об эколого-геохимических аномалиях (ЭкГХА), которые отражают влияние химических неоднородностей и аномальных геохимических процессов на жизненные функции человека и других живых организмов в пространстве и времени.

Литоэкосферу мы рассматриваем как часть биосферы, непосредственно связанную с литосферой и проявлением в ней биогеохимических функций человека. Она представляет собой сложную парагенетическую оболочку, состоящую из более простых парагенетических геосфер, которые отражают разнообразные функции литосферы, источники и объекты литосферных воздействий. С ними связаны условия существования человека и биоса.

Литокосмосфера – парагенетическая оболочка, в которой главную роль играют литосферные функции, обусловленные влиянием Космоса. На Землю в сутки выпадает до 10000 т метеорного вещества. Помимо непосредственной опасности для жизни и здоровья человека и мощного психического воздействия, ЭкГХА по тяжелым металлам, повышенная радиация и вызванное ими патогенное развитие флоры и фауны – важные экогеохимические проявления литокосмосферы.

Литогелиосфера – оболочка, в которой проявлено влияние Солнца и солнечной энергии на литосферу. Солнце дает тепло и свет на поверхности геоида. Это функции жизни на нашей планете. С распределением солнечной энергии связана климатическая зональность на суше и на море. Здесь проявлены кислородно-углекислотная функция живого вещества, связанная с фотосинтезом. Солнечная энергия накапливается каустобиолитами (угли,

нефть, сланцы). Магнитные возмущения и циклические изменения солнечной активности исследовались А.Л. Чижевским (предмет гелиогидробиологии).

Литоселеносфера – оболочка, связанная с влиянием Луны на земную поверхность. Луна играет большую роль в геологических процессах, в развитии приливов и отливов, влияет на рост и развитие растений, на психофизическое состояние человека. Отметим зарождение селенобиологии.

Литогазосфера – газовая оболочка земной коры. Газы пронизывают всю литосферу и растворены в водах Мирового океана. Их миграционная способность зависит от давления, температуры, индивидуальных свойств и фазового состояния различных газов. С ними связаны газовые и окислительно-восстановительные функции живого вещества [1], различные формы нахождения химических элементов. Их влияние на жизненные функции организмов может быть положительным и резко отрицательным.

Литобиосфера – это область проявления ЭкГХФЛ, связанных с наличием живого вещества в стратиферу и результатами его жизнедеятельности. Последние могут иметь как природный так и антропогенный характер.

Литопедосфера – область проявления ЭкГХФЛ, связанных с наличием и формированием почвенного покрова. Разнообразие почв, растительности и спектр распределения химических элементов определяют появление эндемий и биогеохимических провинций – объекты изучения химической экологии.

Литогидросфера – водная фаза литосферы, охватывающая совокупность иловых, поровых, пластовых и других разновидностей подземных вод, генетически связанных с океаном и заключенных преимущественно в стратиферу [3].

Литотехносфера – область проявления ЭкГХФЛ, связанных с влиянием на литосферу техногенной цивилизации и результатами ее деятельности.

Литохмосфера – ЭкГХФЛ, связанные с условиями существования на Земле человека в географическом, хозяйственном и историческом аспектах.

1. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и её окружения. М., 1987. 340 с.

2. *Гурский Ю.Н.* Проблемы экологической геохимии // Вестн. Моск. ун-та. Геол. 1999. № 3. С. 9–16; 2000. № 1. С. 61–69.

3. *Гурский Ю.Н.* Геохимия литогидросферы внутренних морей. М.: ГЕОС, 2003, т. 1, 332 с.; 2007, т. 2, 450 с. + 4 с. цв. вклейка.

Evolving the ideas of V.I. Vernadsky and the theory of biosphere new classification of paragenetic geospheres was proposed. It reflects the geochemical functions of lithosphere, which connected with Cosmos, Sun, Moon, lithosphere's gases, bios, soils, water, man and technogenic influences.

В.И. Денисов, С.Я. Черноусов

(Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, denisovgeo@yandex.ru)

**Потоки взвешенного вещества в области шельфа
Черного моря (итоги 20-летних исследований)**

V.I. Denisov, S.Y. Chernousov

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

**Fluxes of Suspended Matter on the Black Sea Shelf
(Summary of 20-years' Investigations)**

Подводятся итоги многолетних исследований количественных характеристик потоков вещества на шельфе Черного моря в диапазоне глубин 0,5–50 м. Сбор осаждающегося материала проводился методом седиментационных ловушек (СЛ) в устьевых областях рек, зонах смешения речных и морских вод, а также в области внутреннего шельфа (до глубины 50 метров) Черного моря от дельты Дуная до устья Ингури. Кроме этого, в разные годы были выполнены работы по сбору биоседиментационного материала в районах действующих мидийных плантаций (мыс Утриш, Ю. Озереевка, п. Магри) и районов скоплений мидий на бетонных сваях пирсов, а также проведены работы по сбору ловушками «распыленного в морской воде» грунта в зоне его дампинга в Керченском предпроливье.

За 20-летний период работ нами выполнены 188 морских и речных (в устьях рек и лиманах) станций седиментационных ловушек с различными периодами экспонирования (от нескольких часов до 20 суток). СЛ устанавливались как в придонном слое, так и вертикальными сериями. Одновременно с экспонированием СЛ на акваполигонах проводился комплекс гидрологических, гидрохимических, геолого-геохимических и гидробиологических работ.

Обобщенная информация в осредненном виде о потоках взвешенного материала на всем шельфе моря, представленная по районам и провинциям прибрежной части Черного моря, приведена в табл. 1.

Основными факторами, влияющими на количественные характеристики потоков взвешенного вещества на мелководье шельфа являются: речной сток, абразия пляжей, продукционно-деструкционные процессы, поступление аэрозольного вещества, сезонность, волновое взмучивание донных осадков, изменчивость течений, процессы трансформации вещества в зонах различных физико-химических и иных барьеров, термо- и пикноклин, глубина моря и др.

Группировка ловушек по районам и провинциям позволяет отметить существенные различия в темпах поставки седиментационного материала на разных участках шельфового пространства. В таблице также приведены данные вертикальных потоков аэрозолей, собранных кюветным методом в районах уреза воды при береговом базировании. В исследуемом диапазоне

Таблица 1

Средние величины потоков вещества, $г \times м^{-2} \times сут^{-1}$ и расчетные скорости осадконакопления, мм/год на шельфе Черного моря по данным седиментационных ловушек (наши данные, 1984–2007 гг.)

Район, провинция	К-во СЛ, шт.	Средняя глубина установки СЛ, м	Поток вещества, $г \times м^{-2} \times сут^{-1}$	Скорость осадконакопления, мм/год	Среднее расстояние от берега, км
Весь шельф моря (+дампинг, биоотложения мидий)	188	19,7	91,093	17,792	4,045
Весь шельф моря (без лиманов и устьев рек, биоотложений и дампинга)	94	21,1	27,047	5,283	4,357
Восточный шельф с предпроливьем (без Керченского пролива, лиманов и устьев рек, биоотложений, дампинга)	74	22,2	30,303	5,919	3,085
Северо-западная часть моря	19	14,1	386,870	75,564	9,744
Южный берег Крыма	2	33,5	30,823	6,020	0,525
Керченский пролив, предпроливье, Анапа (без дампинга)	24	16,5	23,373	4,565	7,850
Утришский район	20	30,2	3,887	0,759	0,727
Утришский район (только биоотложения мидий)	45	23,7	51,240	10,008	0,460
Новороссийско-Геленджикская провинция (Ю.Озереевка-Джубга, до р. Шапсухо)	15	15,8	26,521	5,180	0,630
Туапсинская провинция (от п.Лермонтово, р.Шапсухо до р.Шепси (включительно))	11	10,4	134,537	26,278	0,650
Сочинская провинция (от р.Макопсе до р.Мзымта)	38	11,0	121,967	23,823	0,681
Район от р.Псоу до р. Ингури, включая Гудауту	7	15,7	17,170	3,354	1,540
Аэрозоли	9	–	0,258	0,0505	Берег

глубин потоки осаждающегося материала, собранного ловушками можно идентифицировать, как вещество, проходящее интенсивную трансформацию перед собственно седиментацией.

Проведенные расчеты позволили на разных участках шельфа Черного моря выявить различные зависимости уменьшения темпов осадения вещества по глубине (до значений пелагической седиментации несколько $\text{мг} \times \text{м}^2 \times \text{сут}^{-1}$) от линейных до степенных и экспоненциальных.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» (проект НШ-4717.2006.5, Госконтракт № 02.515.11.50.49), гранта РФФИ (проект 06-05-64504) и программы «Университеты России» (проект ур.08.01.279 за 2005 г.).

During the 20-years' period of observations on the Black Sea shelf from the Danube River delta to the Ingury River mouth the sediment traps of cylindrical type were exposed on 188 stations at the depths varying from 0,5 to 50 m. It is found out that in different parts of the studied area the sedimentation intensity decreases in accordance with the linear, polynomial or exponential functions with the depths growing.

О.В. Ивлиева

(Южный федеральный университет, e-mail: ivlieva@rsu.ru)

**Поступления осадочного материала на акваторию
Азовского моря в последние 50 лет**

O.V. Ivlieva

(Southern Federal University)

**Accumulation of sedimentary material on the Azov Sea
coast within 50 years**

На протяжении последних пятидесяти лет экосистема Азовского моря испытала несколько «антропогенных стрессов», связанных с водохозяйственной деятельностью как в акватории, так и на водосборных территориях. Климатические флуктуации, увеличение интенсивности антропогенной деятельности в бассейне Азовского моря, изменение биологического потенциала водоема сказалось на изменении объемов поставки осадочного материала.

Во второй половине 20 века, с середины семидесятых годов произошли резкие изменения в структуре приходной части баланса осадочного материала. Суммарная величина абразии по морю в целом изменяется в последние пятьдесят лет от 2 до 17 млн т. в год при среднем значении 6–7 млн т. При штилевой обстановке и слабых ветрах количество поступающего эолового материала на водную поверхность составляет – 2,56 млн т/год, с осадками – 0,92 млн т/год. Объем выносимых на акваторию моря твердых частиц в период сильных пыльных бурь составляет 40–50 млн т, средних – 11–16 млн т, слабых – 0,2–2,0 млн т. В целом, с конца восьмидесятых годов XX века ежегодное поступление эолового вещества на акваторию Азовского моря не превышает 4 млн т.

Изменение ветровой ситуации: сокращение количества сильных, преимущественно восточных ветров и, соответственно повторяемости пыльных бурь привело к сокращению объемов эолового материала в три раза, зарегулирование стока рек вызвало сокращение объемов твердого стока рек в четыре раза.

Изменчивость гидрохимических условий моря обусловила значительные колебания структуры и биомассы моллюсков, что существенно сказалось на увеличении биогенной части осадка на 30–40% в сравнении с периодом естественного режима стока рек. В последние двадцать лет донная фауна моря была пополнена моллюсками- вселенцами, которые преимущественно обитают в местах обитания, увеличивая тем самым карбонатность донных отложений, и не оказывают решающего влияния на пляжевую аккумуляцию. Моллюск-абориген *Cerastoderma lamarcki*, в основном контролирующей пляжеобразование в прошлом, напротив, сократил свои площади обитания в 2 раза, что привело к серьезной деградации пляжей, особенно на косах, сложенных преимущественно раковинным материалом. Современный

размыв кос составляет от 5 до 15 м/год (максимально до 30 м на дистальных участках кос).

При условно естественном режиме моря приходные статьи баланса осадочного материала характеризовались практически равными долями. С середины семидесятых годов поступление терригенного материала сократилось на 35%, (с 36,8 до 23,8 млн т) биогенного напротив увеличилось на 30–40% в сравнении с периодом естественного режима стока рек, общий объем осадочного материала поступающего в Азовское море за период с 1940 г. по 2000 г. сократился на 32% с 36,8 до 23,8 млн т /год.

Существенное преобразование структуры поступающего терригенного осадочного материала привело к изменению его гранулометрического состава: произошло сокращение поступления в акваторию моря пелитовых и мелкоалевритовых частиц – в три раза, песчаного и крупноалевритового материала в два раза (суммарно от всех источников). Пульсация в поступлении терригенного материала, колебания продуктивности бентосных организмов обуславливают высокую динамичность распространение ареалов основных литологических типов донных отложений от года к году.

Увеличение роли биогенного фактора в осадконакоплении Азовского моря, (с 70-х годов) сопровождающееся уменьшением поступления терригенного материала, привело к увеличению площадей раковинных отложений, к сокращению площади глинистых илов и увеличению карбонатности донных отложений в среднем в три раза в сравнении с пятидесятыми годами, а на отдельных участках в пять раз (район Песчаных островов).

Резкое падение объемов твердого стока Дона привело к сокращению площади крупноалевритовых илов в Таганрогском заливе в три раза, увеличению площади глинистых илов в два раза в сравнении с пятидесятыми годами. Также на предустьевых участках малых рек, в связи с резким уменьшением поступления наносов в устьевую зону, значительно уменьшились площади песчаных отложений

Reduction of terrigenous material in 2,5 times, increasing of carbonic substance in 1,5 times put conditions to some border and area changes of litological types of sea bottom sedimentation and extending of sea bottom sediment carbonality in 3 times.

**А.А. Клювиткин¹, В.В. Зернова¹, М.М. Доманов¹,
Т.С. Клювиткина²**

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва,
e-mail: klyuvitkin@ocean.ru, ²Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, географический ф-т, Москва)

**Распределение взвеси и фитопланктона
в Южной Атлантике в ноябре–декабре 2004 г.**

**A.A. Klyuvitkin¹, V.V. Zernova¹, M.M. Domanov¹,
T.S. Klyuvitkina²**

(¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow;
²M.V. Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow)

**Distribution of suspended particulate matter and phytoplankton
in the Southern Atlantic in November–December 2004**

Цель работы заключается во всестороннем качественном и количественном анализе взвеси и фитопланктона Южной Атлантики, выделении характерных районов, выявлении связей распределения взвеси и фитопланктона с абiotическими факторами и сопоставлении полученных данных с результатами предыдущих исследований.

Пробы фитопланктона и взвеси были собраны в 19-м рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» в ноябре–декабре 2004 г. в атлантическом секторе Южного океана. Первый этап работ проводился на комплексном океанском разрезе SR2, выполнявшемся в рамках международной программы CLIVAR от Кейптауна до пересечения с меридианом Гринвича на широте 55° ю.ш. Второй этап проходил на широтном разрезе по 55° ю.ш. и характеризовался отбором проб только на ходу судна.

Пробы на фитопланктон и взвесь отбирались с поверхности на ходу судна пластиковым ведром или на станциях с различных горизонтах с помощью судовой системы зондирования «Розетт». Для анализа фитопланктона пробу воды концентрировали методом обратной фильтрации через ядерный фильтр с диаметром пор 1 мкм и фиксировали пробу формалином. В дальнейшем после повторного сгущения проба доводилась до объема 5 см³, из которого 0.05 см³ просчитывалось в камере Ножотта при увеличении от 210 до 420 раз. Отмечали размеры клеток, наличие или отсутствие хлоропластов.

Водная взвесь собиралась фильтрацией под вакуумом через предварительно взвешенные ядерные фильтры размером пор 0,45 мкм. В береговой лаборатории ядерные фильтры повторно взвешивались для определения концентрации взвешенного вещества. Параллельно проводилась фильтрация воды на предварительно прокаленные при $t = 450^{\circ}\text{C}$ стекловолонистые фильтры Whatman GF/F для дальнейшего исследования на содержание взвешенного органического углерода. Определение углерода проводилось методом кулонометрического титрования на анализаторе углерода АН-7529.

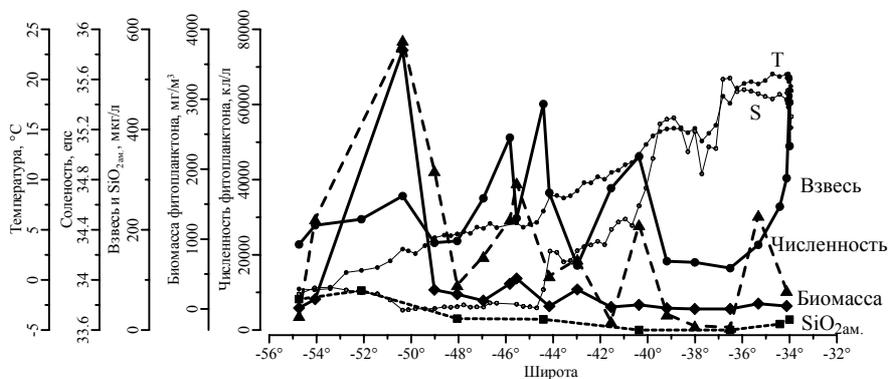


Рис. 1. Разрез SR2.

Определение содержаний Si, Al, P во взвеси проводилось методами мокрой химии с колориметрическим окончанием на фотоколориметре КФК-3.

Поверхностное распределение взвеси на разрезе SR2 характеризуется максимумом взвешенного вещества вблизи Африканского материка (до 1.24 мг/л), далее на юг происходит уменьшение концентраций (в среднем 0.2–0.4 мг/л) и увеличение в южной оконечности разреза (0.3–0.6 мг/л) (рис. 1).

На широтном разрезе взвешенное вещество в поверхностном слое распределялось относительно равномерно, концентрации варьировали в интервале от 0.2 до 0.4 мг/л, можно отметить максимум взвеси вблизи о. Южная Георгия – 0.56 мг/л (рис. 2).

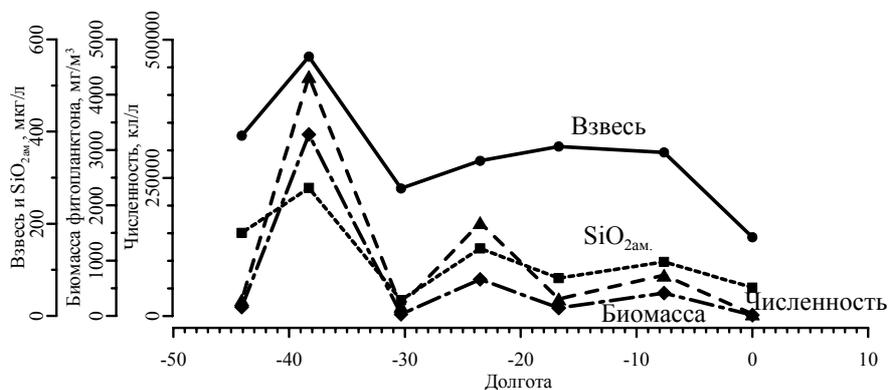


Рис. 2. Широтный разрез.

В составе поверхностной взвеси преобладало биогенное вещество, достигая в отдельных случаях 90–95% от общей массы взвешенного вещества,

терригенная же составляющая в большинстве проб не превышала 15% от суммарной концентрации взвеси. Причем, в северной половине разреза SR2 содержание терригенного вещества во взвеси составляло 12–20%, 0,03–0,06 мг/л, а в южной его части и на всем протяжении широтного разреза 4–10%, 0,02–0,04 мг/л. Максимальное содержание терригенного вещества отмечено близ о. Южная Георгия (28%, 0,17 мг/л), где проба отбиралась в непосредственной близости от острова.

Исследования численности и биомассы фитопланктона указывают на увеличение вегетационной активности фитоплана в ранневесенний период к югу от 50° ю.ш. в зоне ПФ до уровня мезотрофных вод и на широтном разрезе по 54° ю.ш. на шельфе о. Южная Георгия, до уровня эвтрофных вод. Этот вывод подтверждается данными по концентрации хлорофилла «а» и величине первичной продукции. На этих участках разрезов преобладали крупные диатомовые водоросли *Corethron* (26400 кл/л, 3564 мг/м³) и *Porosira glacialis* (98000 кл/л, 2940 мг/м³).

Что касается вертикального распределения биомассы и численности, то в антарктических водах выделяются поверхностный и глубинный максимумы на нижнем горизонте зоны фотосинтеза в слое сезонного пикноклина.

В субантарктических водах распределение фитопланктона относительно равномерное. Максимумы в распределении водорослей выражены слабо, что, вероятно, связано с неустойчивостью вертикальной структуры вод.

Следует отметить приуроченность большинства пиков взвеси к фронтальным зонам, где происходит массовое развитие фитопланктона. Суммарная концентрация взвеси на разрезе также имеет тенденцию расти с увеличением биомассы фитопланктона. Коэффициент корреляции этой пары на широтном разрезе равен 0.82. Наиболее плотная связь $C_{орг.}$ отмечена с фосфором (0.96) и кремнием (0.88) и только потом со взвесью (0.77).

Экспедиция на борту НИС «Академик Сергей Вавилов» проводилась в рамках Межведомственного проекта «Меридиан» и международной программы “Meridian Good Hope”. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН «Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли», гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2236.2006.5.

New data about qualitative composition and quantitative distribution of suspended particulate matter (SPM) and phytoplankton at the transoceanic section from Africa to the Antarctic and at the latitudinal section along 54° S in southern part of the Atlantic Ocean are presented. In the antarctic waters to the south from 45° S and especially near the South Georgia Island the largest concentrations of phytoplankton and SPM were registered. Spring algae vegetation intensifies in the divergence zones and near islands in the antarctic waters. Correlation analysis show close connection between phytoplankton and SPM distribution especially in the antarctic waters at the latitudinal section along 54° S. Direct relation between opal and diatom biomass was registered.

**А.А. Ключиткин¹, А.Н. Новигатский¹, А.С. Филиппов¹,
Е.В. Якушев²**

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва,
e-mail: klyuvitkin@ocean.ru; ²Южное отделение Института океанологии
им. П.П. Ширшова РАН, Геленджик, e-mail: e_yakushev@yahoo.com)

**Взвешенное вещество и потоки осадочного материала
на кислородно/бескислородном интерфейсе Черного моря**

**A.A. Klyuvitkin¹, A.N. Novigatsky¹, A.S. Filippov¹,
E.V. Yakushev²**

(¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow;
²The Southern Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy
of Sciences, Gelendzhik)

**Suspended particulate matter and particle fluxes
at the oxic/anoxic interface of the Black Sea**

Сложные процессы осадконакопления в Черном море определяются многочисленными потенциальными источниками осадочного материала и различными механизмами его переноса и осаждения.

Изучение количественного распределения и вещественного состава осаждающегося в водной толще вещества является одним из ключевых направлений в исследовании процессов осадконакопления.

Исследования вертикальных потоков вещества с применением седиментационных ловушек на Черном море проводились неоднократно, однако все они затрагивали значительные временные интервалы – от 1 месяца до годовых постановок [1, 2].

Отличительной особенностью данной работы является серия регулярных краткосрочных наблюдений в заданных точках. Ниже представлены результаты первых исследований в рамках совместного научного проекта по изучению процессов на кислородно-бескислородном интерфейсе Черного моря.

Основная цель – выявление роли сезонной изменчивости потоков вещества в вариациях толщины и химической структуры субоксильной зоны Черного моря, получение количественной информации о процессах, ответственных за формирование, структуру и положение кислородно-бескислородного интерфейса.

Материал для изучения был собран в северо-восточной части Черного моря в районе Геленджика с борта НИС «Акванавт» на станции 2904, выполненной на расстоянии 11 миль от берега при глубине моря около 1700 м. Получены пробы воды для изучения водной взвеси на горизонтах 0, 10, 30, 60, 140 и 180 м. Вертикальные потоки вещества изучались с помощью седиментационных ловушек, выставленных на горизонтах 60, 138, 158 и 178 м на дрейфующей платформе. Горизонты пробоотбора определялись глубиной границы сероводородной зоны (фон, выше, ниже, в самой зоне). Ис-

пользование дрейфующей платформы с плавучестью на поверхности моря обуславливалось необходимостью наиболее точно выставить ловушки на заданный горизонт, размечая фал сверху от буя. Дрейф платформы контролировался с борта судна и в случае удаления от заданного района, платформа буксировалась обратно в точку. Время экспозиции ловушек в свободном дрейфе составило 36 часов.

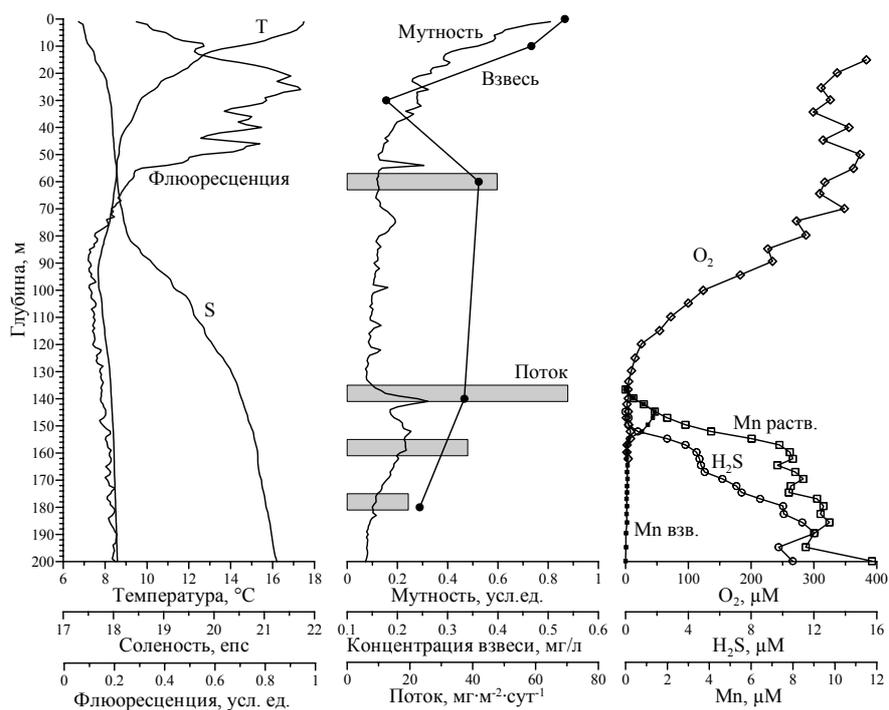


Рис. Распределение основных изучаемых параметров по вертикали

Пробы воды на изучение водной взвеси и ловушечный материал обрабатывались по единой методике. Вещество для изучения выделялось методом фильтрации под вакуумом через предварительно взвешенные ядерные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм, после чего рассчитывались концентрации взвеси и величины вертикальных потоков вещества.

Вертикальное распределение взвеси по нашим данным характеризовалось наличием ярко выраженного максимума на поверхности – 0,53 мг/л (рис.) и относительно высокими концентрациями на горизонте 60 м (под фотическим слоем, 0,36 мг/л) и над верхней границей сероводородной зоны (140 м, 0,33 мг/л). Наименьшие концентрации отмечались уже в сероводородной зоне на горизонте 180 м (0,2 мг/л).

Рассчитанные величины вертикальных потоков вещества варьировали от 20 до 70 мг·м⁻²·сут⁻¹, что является характерным для данного региона и сезона (май, цветение фитопланктона) [1].

Наибольшие значения вертикальных потоков (до 70 мг·м⁻²·сут⁻¹) приходятся на верхнюю границу сероводородного слоя (138–158 м). Стоит отметить появление в этом слое окисленного взвешенного Mn_{взв}, образование которого происходит при окислении кислородом восстановленного растворенного марганца, поступающего из анаэробных вод [3]. Появление на взвешенных частицах окисленного марганца, имеющего плотность примерно в пять раз больше, чем у органического вещества, увеличивает скорость седиментации этих частиц [4].

Вертикальный профиль мутности, полученный при зондировании на станции, также отмечает увеличение содержания взвеси над границей сероводорода (рис. 1). Причем четко выявляется двухпиковая структура: резкий максимум на 140 м в верхней части редокс-зоны, где Mn_{взв} только появляется и плавный максимум на 155 м, где содержание Mn_{взв} уже начинает уменьшаться.

Возможно, переход Mn из растворенной во взвешенную форму и является причиной увеличения потока. Выявить это помогут дальнейшие исследования вещественного и химического состава полученного материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта CRDF RUG1-2828-KS-06, проекта фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН «Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли», гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2236.2006.5, ФЦП «Мировой Океан».

1. Русаков В.Ю., Шимкус К.М., Зернова В.В. и др. Океанология. 2003. Т. 43. № 3. С. 459–468.

2. Honjo S., Hay B.J., Manganini S.J. et al. SCOPE/UNEP Sonderband Heft 62. Hamburg, 1987. P. 19–39.

3. Lewis B.L., Landing W.M. Deep-Sea Research DESRAY. 1991. Vol. 38, No. Sup 2A. P. S773–S803.

4. Yakushev E.V., Debolskaya E.I. Oceanic Fronts and Related Phenomena. Konstantin Fedorov Memorial Symposium. Pushkin, Saint-Petersburg, Russia. 18–22 May, 1998, Proceedings. IOC Workshop Report. No. 159. Kluwer Academic Publishers, 2000. P. 592–597.

Results of studies of suspended particulate matter (SPM) distribution and vertical particle fluxes in the oxic/anoxic interface of the Black Sea are presented. Maximal SPM concentrations and fluxes were fixed at the upper layer of redox zone (138–158 m) and correspond to suspended Mn appearance. Minimal fluxes were registered at 60 m (lower boundary of the photic zone) and 178 m (under redox zone).

А.А. Ключиткин, Н.В. Политова, А.Н. Новигатский

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

Атмосферные аэрозоли в аридных зонах Атлантического океана в марте–апреле 2005 г.

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

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

Atmospheric aerosols in the arid areas of the Atlantic Ocean in March–April 2005

Основным источником аэрозолей в Атлантике являются пустыни, полупустыни и саванны Африки. Большое количество работ посвящено исследованию основных районов выноса и путей переноса африканской пыли в океан посредством спутниковых наблюдений, расчетом обратных траекторий, выявлением минералов и элементов-трассеров и др. Однако, публикации, оценивающие конкретный вклад аэрозолей в формирование состава водной взвеси океана, довольно редки. Большинство таких работ посвящено сопоставлению потоков аэрозолей и вещества, собранного седиментационными ловушками в толще вод. Сравнение же параллельных проб атмосферных аэрозолей и водной взвеси, собранных одновременно и обработанных по одной методике нам не встречалось вообще.

Основной целью данной работы является оценка распределения, состава и потоков аэрозолей на океанскую поверхность в весенний период, выявление связи аэрозолей и водной взвеси. Данные получены на субмеридиональном разрезе через Атлантический океан от Монтевидео (Уругвай) до пролива Ла-Манш в 20-м рейсе НИС "Академик Сергей Вавилов" (март–апрель 2005 г.). Ранее подобные исследования проводились нами в 5 экспедициях в Атлантике в разные сезоны и на разных расстояниях от суши.

Концентрации аэрозолей на разрезе варьировали от 0,02 до 4,7 мкг/м³. Максимальные значения были зафиксированы в полосе от 8° ю.ш. до 16° с.ш. и связаны с выносом пыли из пустынь и саванн Западной Африки. К югу и к северу от этой зоны содержания резко падали, и составляли в среднем 0,04–0,07 мкг/м³, оставаясь, однако, заметно выше средней фоновой концентрации аэрозолей в центральной Атлантике (0,01 мкг/м³). Увеличение (до 0,99 мкг/м³) отмечено и близ Канарских островов.

5-суточные обратные траектории воздушных масс для точек отбора проб на уровнях 925 гПа и 850 гПа показали, что пробы с максимальными концентрациями аэрозолей соответствуют атмосферному выносу аэрозолей из пустынных и полупустынных областей Африки (пустыни Сахары и особенно области Сахель). Эти траектории характерны для зимне-весеннего сезона северного полушария. В летне-осенний сезон вся климатическая система переноса аэрозолей сдвигается к северу, что было установлено в других

рейсах. Обнаруженные в этих пробах кальцит и доломит (минералы-индикаторы сахарской пыли), а также преобладание в пробах каолинита над иллитом, характерное для почвенного покрова Сахеля – независимое подтверждение генезиса аэрозолей.

Литогенная компонента аэрозолей на изученном разрезе достигала 100% в зоне максимального поступления африканской пыли. К югу, в зоне действия ветров Южно-атлантического максимума, доля литогенного вещества снижалась более чем в 10 раз (<8%). В северной части разреза это содержание также невелико (до 16%), что определяется преобладающим направлением ветров.

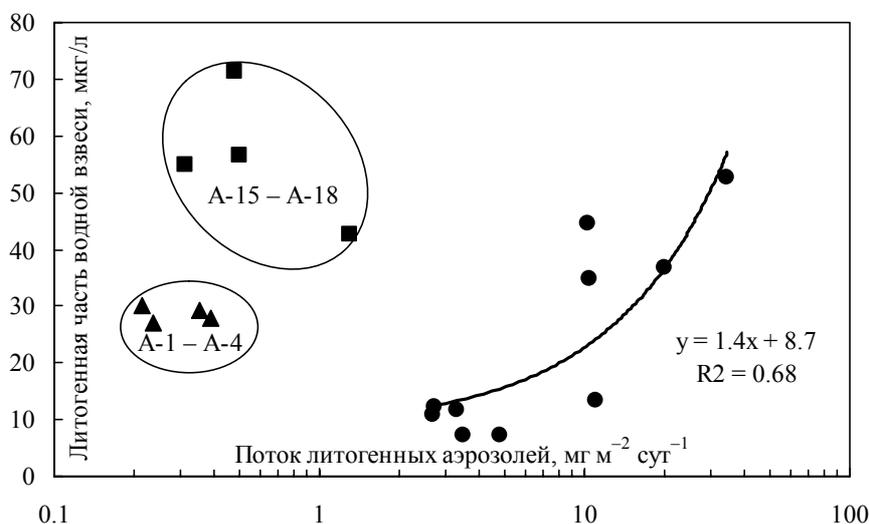


Рис. 1. Зависимость концентрации литогенного вещества водной взвеси поверхностного слоя океана от потока литогенного вещества атмосферных аэрозолей.

Наиболее интересным представляется сопоставление потоков литогенных аэрозолей с литогенной компонентой водной взвеси в параллельных пробах. При общем взгляде на рисунок никакой зависимости не усматривается, однако выявляется объединение проб в две группы: 1) А-1 – А-4 и 2) А-15 – А-18, собранных в непосредственной близости от суши. Доставка литогенного вещества на поверхность океана осуществляется здесь, судя по всему, не только эоловым путем, но и выносом рек. При отбраковке этих двух групп, получаем четкую линейную зависимость содержания литогенной водной взвеси от потока литогенных аэрозолей на поверхность океана (для удаленных от суши районов). Коэффициент корреляции для 10 пар проб составил 0.83.

Полученная зависимость, описывается выражением $y = 1.4x + 8.7$, где “ y ” – литогенная водная взвесь (в мкг/л), а “ x ” – поток литогенных аэрозолей ($\text{мг м}^{-2} \text{сут}^{-1}$). Интересен последний член данного выражения – 8.7. Это число показывает, что даже при нулевых потоках эолового материала из атмосферы в воде обычно присутствует заметное количество литогенной взвеси (поставка реками, абразией берегов, льдами и др.). Имеет место и влажное осаждение, особенно характерное для внутритропической зоны конвергенции (ВТЗК). Здесь основная поставка литогенного вещества в океан происходит именно при вымывании атмосферными осадками.

Сходные зависимости были получены нами и для других экспедиций в те же районы Атлантики. Уравнения зависимости вклада литогенной части аэрозолей в состав водной взвеси несколько отличаются. Так наименьшее “фоновое” содержание литогенной водной взвеси было отмечено в апреле 2005 г. (8,7 мкг/л), а в октябре–ноябре 2002 и 2003 гг. оно достигало 30 и 20 мкг/л соответственно.

Таким образом проведены первые прямые сопоставления вклада аэрозолей в количественное распределение и качественный состав взвеси (микро- и наночастиц) из поверхностных вод океана. Вклад литогенной части аэрозоля в аридных зонах предопределяет литогенную часть водной взвеси. Как показали наши сравнительные исследования воздушной и водной взвеси, и в биогенной части взвеси вод аридных зон значительную часть составляют микроскопические органические остатки, принесенные сильными ветрами с суши.

Авторы выражают благодарность Лаборатории воздушных ресурсов за предоставленную возможность использовать модель HYSPLIT для построения обратных траекторий воздушных масс, А.Б. Исаеву, Е.О. Золотых, О.М. Дару за аналитические работы.

Экспедиция проводилась в рамках Межведомственного проекта “Меридиан”. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН “Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли”, гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2236.2006.5.

Studies of the Atlantic atmospheric aerosols at the meridian section in March–April 2005 show latitudinal zonality of eolian material distribution. Maximal concentrations and fluxes were registered in the zone of the dust ejection from deserts and semi-deserts of the Africa. There is a linear dependence between content of the lithogenic component of suspended particulate matter (SPM) in the surface of the ocean and fluxes of lithogenic aerosols in the arid zones. It is revealed that not all lithogenic matter comes from atmosphere. “Background” content of lithogenic SPM is related to river input, coastal abrasion and other.

**К.П. Куценогий¹, О.В. Чанкина¹, М.А. Бизин¹, С.А. Попова¹,
Б.С. Смоляков², В.П. Шевченко³**

(¹Институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск,
e-mail: koutsen@kinetics.nsc.ru, ²Институт неорганической химии СО РАН,
Новосибирск, ³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва)

**Пространственно-временная изменчивость химического
состава атмосферных аэрозолей над акваторией Белого
моря и континентом**

**K.P. Koutsenogii¹, O.V. Chankina¹, M.A. Bizin¹, S.A. Popova¹,
B.S. Smolyakov², V.P. Shevchenko³**

(¹Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk; ²Institute
of Inorganic Chemistry SB RAS, Novosibirsk; ³Institute of Oceanology, Moscow)

**Spatial and temporary variability of the chemical composition
of atmospheric aerosols above the White Sea and continent**

В августе 2006 г. в районе Белого моря проводилась экспедиция для изучения химического состава атмосферного аэрозоля над акваторией моря и континентом. Измерения проводились на НИС "Штокман" с 14–25 августа и в г. Архангельск (аэрологическая станция) с 11–24 августа. В ходе эксперимента были измерены массовая концентрация аэрозоля (C_M , гравиметрический метод), массовая концентрация субмикронной фракции аэрозоля ($C_M^{суб}$, нефелометрия), многоэлементный состав (рентгено-флуоресцентный метод с использованием синхротронного излучения), ионный состав (ионная хроматография), концентрации органического ($C_{орг.}$) и элементного ($C_{эл}$) углерода (реакционная газовая хроматография). Концентрации элементов в субмикронной ($d < 1$ мкм) и грубодисперсной ($d > 1$ мкм) фракциях измерялись с помощью виртуального двухкаскадного импактора.

На рис. 1 и 2 показана посуточная зависимость концентрации элементов К, Са, и ионов NH_4^+ , SO_4^{2-} в прибрежной зоне и над акваторией моря. Как видно из рис. 1, в г. Архангельск в определённые периоды времени концентрации элементов и ионов одновременно увеличиваются, что вероятно связано с единовременным воздействием какого-либо локального источника, либо с переносом воздушных масс. Рис. 2 показывает, что над акваторией моря концентрации элементов и ионов имеют отрицательную корреляцию (например, коэффициент корреляции для Са и NH_4^+ составляет $-0,48$) и периоды максимальных концентраций данных элементов и ионов не совпадают, что, возможно, указывает на разный тип их источников. Таким образом, временная изменчивость химического состава атмосферного аэрозоля морской и прибрежной зоны позволяет определять тот или иной источник, для идентификации которого используется метод обратных траекторий воздушных масс.

Четкое различие в аэрозоле континентальной и акваториальной территории наблюдается по результатам измерений водорастворимой фракции.

Таблица 1 показывает, что ионный состав аэрозоля над акваторией моря в значительной степени формируется за счёт ветровой эрозии водной поверхности и характеризуется преобладанием ионов Na^+ и Cl^- . Ионный состав аэрозоля прибрежной зоны характеризуется преобладанием ионов NH_4^+ , SO_4^{2-} , $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$, HCO_3^- , что является типичным для континентальной территории.

Таблица 1. Среднеарифметические концентрации ионов (нг-экв/м³).

	NH_4^+	$\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$	Na^+	K^+	HCO_3^-	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
Архангельск	20,3	28,8	17,7	4,2	8,8	3,3	3,3	2,8	51,2
Корабль	3,5	12,8	27,9	2,0	3,7	3,9	14,5	2,2	21,8

Из таблицы 2 видно различие массовых долей $C_M^{\text{СУБ}}$, $C_{\text{ОРГ}}$ и $C_{\text{ЭЛ}}$, кроме того, пространственная изменчивость отчётливо видна по результатам корреляционного анализа (таблица 3).

Таблица 2. Среднегеометрические значения (x_i) C_M , $C_M^{\text{СУБ}}$, $C_{\text{ОРГ}}$, $C_{\text{ЭЛ}}$ (мкг/м³) и их среднеквадратичные отклонения (σ_g).

		C_M	$C_M^{\text{СУБ}}$	$C_{\text{ОРГ}}$	$C_{\text{ЭЛ}}$
Архангельск	x_i	20,9	11,8	4,9	1,9
	σ_g	1,7	2	1,5	1,5
Корабль	x_i	16,3	5	1,9	0,5
	σ_g	1,5	1,4	1,3	1,7

Таблица 3. Коэффициенты корреляции.

Архангельск					Корабль				
	C_M	$C_{\text{ОРГ}}$	$C_{\text{ЭЛ}}$	$C_M^{\text{СУБ}}$		C_M	$C_{\text{ОРГ}}$	$C_{\text{ЭЛ}}$	$C_M^{\text{СУБ}}$
C_M	1	0,75	0,8	0,88	C_M	1	0,83	0,53	0,18
$C_{\text{ОРГ}}$		1	0,77	0,75	$C_{\text{ОРГ}}$		1	0,23	0,35
$C_{\text{ЭЛ}}$			1	0,64	$C_{\text{ЭЛ}}$			1	-0,06
$C_M^{\text{СУБ}}$				1	$C_M^{\text{СУБ}}$				1

The results of the expedition at the White Sea region are presented. Measurements were conducted on the research ship Stokman from 14.08.06 to 25.08.06 and in Arkhangelsk from 11.08.06 to 24.08.06. Differences in the chemical composition of the atmospheric aerosol of sea and coastal areas are discussed.

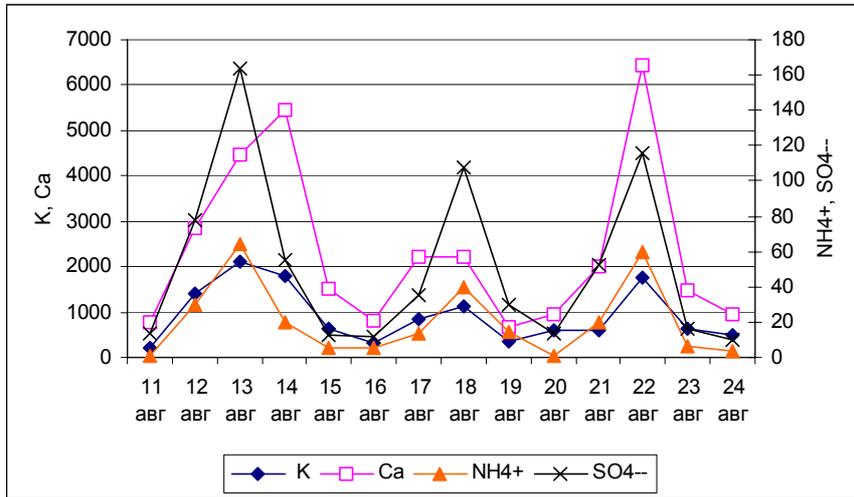


Рис. 1. Концентрации элементов K, Ca (нг/м³) и ионов NH₄⁺, SO₄²⁻ (нг-экв/м³) в г. Архангельск

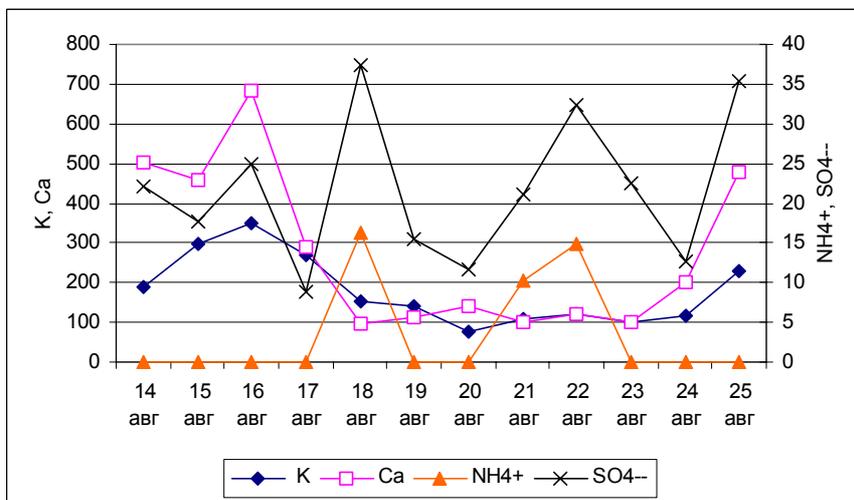


Рис. 2. Концентрации элементов K, Ca (нг/м³) и ионов NH₄⁺, SO₄²⁻ (нг-экв/м³) измеренные на НИС "Штокман"

В.Н. Лукашин

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail lukashin@ocean.ru)

Исследование седиментационной системы контурных течений на континентальных склонах

V.N. Lukashin

(Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow)

Study of the sedimentation system of the contour currents at the Bear Island continental slope

Контурные течения всегда сопровождаются нефелоидным слоем – слоем повышенной мутности. Образование нефелоидного слоя связано с рядом процессов, происходящих при взаимодействии текучей воды с влажными неконсолированными донными осадками. Это взмучивание осадков и сброс материала с шельфа и верхней части склона интенсивными вдольбереговыми течениями и сильными штормами. Внутренние волны и приливотливные течения также являются фактором, воздействующим на донные осадки склона. Источником взвеси в нефелоидном слое также являются вынос осадочного материала с шельфа и верхних частей континентального склона суспензионными потоками и оползневыми процессами. Некоторая часть взвешенного вещества поступает в нефелоидный слой за счет турбулентной диффузии, возникающей при взаимодействии самого контурного течения с дном на неровностях рельефа, либо при усилении течения в результате разномасштабных флуктуаций.

Нефелоидный слой является аккумулятором взвешенного вещества, поступившего в придонные слои, а также источником осадочного материала для донных осадков. Придонные течения осуществляют перенос осадочного вещества нефелоидного слоя вдоль континентальных окраин. Этот перенос определяется горизонтальным потоком вещества, выражающимся через концентрацию взвеси в нефелоидном слое, мощность нефелоидного слоя и скорость придонного течения, т.е. массой вещества, проходящего через вертикальное сечение столба воды нефелоидного слоя в единицу времени.

В то же время происходит осаждение осадочного вещества из нефелоидного слоя на дно. Интенсивность этого процесса выражается через вертикальный поток, который определяется массой вещества, осаждающегося из нефелоидного слоя через единицу площади в единицу времени.

Таким образом, нефелоидный слой контурного течения представляет собой открытую седиментационную систему, в которой происходит ряд процессов, поддерживающих ее в равновесии. Это – адвективный поток вещества, приносимый в район исследования придонным течением, поступление вещества из промежуточных вод, поступление осадочного материала из донных осадков и, наконец, извлечение осадочного материала из нефелоид-

ного слоя в осадки, вертикальный поток вниз. Оценка масштабов этих процессов является важной задачей седиментологии.

Необходимые данные были получены в экспедициях НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Норвежское море, на континентальном склоне о. Медвежий (полигон «Комсомолец»). Использовались данные по скоростям контурного течения, концентрациям взвеси, гидрофизическому зондированию, вертикальным потокам осадочного вещества, донным осадкам, полученные одновременно.

Полученные данные позволили рассчитать горизонтальные потоки для каждой гидрофизической станции, расположенной вблизи притопленных буйковых станций, на которых измерялись течения. Средний, за все время наблюдений, горизонтальный поток составил $453 \text{ кг м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Средние по годам показали высокую межгодовую изменчивость. Средний вертикальный поток на дно составил $152 \text{ мг м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$, что на 6 порядков величины меньше горизонтального потока. Межгодовая изменчивость вертикальных потоков идет параллельно изменчивости горизонтальных, что позволило установить взаимосвязь между потоками.

Данные по плотности и влажности осадков, а также данные по скоростям седиментации позволили рассчитать абсолютные массы верхнего слоя осадков и сопоставить их с вертикальными потоками на дно. Расчет абсолютных масс осадков и скорости седиментации в голоцене показал, что в осадках остается в среднем только 55% осевшего на дно осадочного вещества, ресуспензия или поток вещества из осадков составляет более 40% поступившего в осадки – менее $68 \text{ мг м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$.

Используя данные по запасу взвеси в столбе воды нефелоидного слоя, вертикальному потоку осадочного материала и абсолютным массам верхнего слоя донных осадков, были рассчитаны две важные седиментологические характеристики – время пребывания частиц взвеси в нефелоидном слое и время пребывания их до полного захоронения в осадках – 2,2 и 5,4 года соответственно.

Study of the sedimentation system of the contour currents was carried out at the Bear Island continental slope. Nepheloid layer of the contour currents is the open sedimentation system, in which a number of processes support it in the stable equilibrium. There is the advective flux of the suspended matter to place of observation, flux of the sedimentary material from the background water, particle flux from nepheloid layer to the bottom, flux of the material from the bottom sediments. The scales of this process were estimated.

М.И. Малахов, Г.Ю. Малахова

(Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, Магадан, e-mail: Malakhov@neisri.ru)

Магнито-реологическая модель литогенетических структур пелагической области океана – I (атмосфера и гидросфера: стадия седиментогенеза, этап председиментогенеза)

M.I. Malakhov, G.Yu. Malakhova

(North-Eastern Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan)

Magnetorheological model of lithogenetic structures of the ocean pelagic region – I (atmosphere and hydrosphere: the stage of sedimentological genesis, step of pre-sedimentological genesis)

Прямыми наблюдениями осадочного материала кернов донных отложений, грейферных проб в центральной и восточной частях Тихого океана (приэкваториальная область, разведочные районы России и Совместной организации «Интерокеанметалл») отмечено, что пространственно-временные соотношения и вещественное строение осадков удовлетворяют литогенетической структуре пелагической области океана, предложенной В.Н. Свальновым [6]. Она состоит из стадии *седиментогенеза*, включающей три этапа – *председиментогенез*, *протосингенез*, *сингенез*; стадии *диагенеза*, также состоящей из трех этапов – *протодиагенез*, *ранний диагенез*, *поздний диагенез* [4, 5].

В осадочном процессе участвует магнитный материал, находящийся в окружении немагнитной матрицы дисперсной структуры определенной газо- и водонасыщенности. Рассмотрим поведение магнитных частиц при прохождении ими всех этапов и стадий пелагического литогенеза путем описания их вращательного движения. Стохастическое дифференциальное уравнение такого движения магнитной частицы с объемом V в среде с пластической вязкостью η^* , прочностью контакта p_r и эластичностью G газожидкой прослойки между частицами-соседями представимо в виде

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + 6V\eta^* \frac{d\theta}{dt} + 6VG\theta + 6Vp_r + mH\sin\theta = f(t). \quad (1)$$

Здесь введены обозначения: θ – угол между векторами магнитного момента частицы \mathbf{m} и геомагнитного поля \mathbf{H} , $d\theta/dt$ – скорость вращения, $d^2\theta/dt^2$ – вторая производная угла θ по времени, J – момент инерции частицы, $f(t)$ – интенсивность случайного воздействия с математическим ожиданием $\langle f \rangle = 0$ и дисперсией $\langle f^2 \rangle \neq 0$. Если ввести эффективную вязкость η как

сумму пластической η^* и структурной $\eta_s = \frac{J}{6V} \frac{d\theta}{dt} + \frac{G\theta}{d\theta/dt} + \frac{p_r}{d\theta/dt}$, то уравнение (1)

перепишется в форме

$$6V\eta \frac{d\theta}{dt} + mH\sin\theta = f(t). \quad (2)$$

В дальнейшем необходимо сделать переход от описания поведения ориентировки магнитного момента одной частицы к коллективной магнитной характеристике ансамбля частиц – намагниченности [Малахов, Малахов, 2007]. Таким образом, уравнению (2) для угла θ можно сопоставить аналог уравнения для остаточной намагниченности I . Тем не менее, каждая приведенная ниже модель сначала представляется для узнаваемости в форме уравнения для угловой переменной θ , а затем исследуется поведение ее инструментального аналога I (намагниченности).

Вычисление средней ориентации магнитных моментов большого числа частиц приводит к определению полевой и временной зависимости намагниченности $I(K, t)$ и ее равновесного значения $I(K, t \rightarrow \infty) = I_0(K)$ в магнитном поле K . Здесь и далее $K = mH/kT$, k – постоянная Больцмана, T – температура. Запишем для намагниченности уравнение, соответствующее уравнению (2)

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{1}{\tau} [I - I_0(K)], \quad (3)$$

Здесь время релаксации $\tau(K) = 6V\eta/kTK$. Определим влияние каждого слагаемого уравнения (1) в основных стадиях литогенеза.

Объектами исследований выбраны воздушная и водная среды, верхний 7-метровый осадочный слой геологических полигонов, находящихся в Тихом океане. Осадочные горизонты полигонов обладают детальной картиной по распределению таких реологических параметров как влагосодержание, предельное напряжение сдвига (прочность осадка), пластическая вязкость и др. Данные по магнитной фракции получены авторами или взяты из публикаций. Таким образом, «наполнение» уравнения (3) вспомогательными параметрами проведено на основе предварительного изучения физических, механических и магнитных характеристик реально существующих геологических объектов.

Этап преципитации соответствует мобилизации исходного вещества, его эоловому разносу (локальному, тропосферному и стратосферному), переносу в водной толще при разрушении пород дна и обезличиванию при осаждении.

Атмосфера. Модель соответствует поведению магнитных частиц, находящихся в аэрозолях, воздушных продуктах извержения вулканов, эоловой пыли и т.п. Первое и пятое слагаемые в выражении (1) доминируют над вязким членом, полностью отсутствуют третье и четвертое слагаемые.

Эквивалент (3) содержит переменное время релаксации $\tau(K) = \frac{1}{kTK} \frac{J \frac{d^2 I}{dt^2}}{\frac{dI}{dt}}$. Методы компьютерного моделирования позволяют провести численные расчеты.

Уравнения релаксации намагниченности в поле K_{rel} , и ее возникновения в магнитном поле K_{mag} , имеют вид [2]:

$$I(K_{\text{rel}}, t) = [I_0^\infty - I_0(K_{\text{rel}})] \left\{ \cos \omega_{\text{rel}} t - \frac{1}{192} [I_0(K_{\text{rel}})]^2 \cos 3\omega_{\text{rel}} t \right\} + I_0(K_{\text{rel}}); \quad (4)$$

$$I(K_{\text{mag}}, t) = [I_0(K_{\text{mag}}) - I_0^\infty] \left\{ 1 - \cos \omega_{\text{mag}} t + \frac{1}{192} [I_0(K_{\text{mag}})]^2 \cos 3\omega_{\text{mag}} t \right\} + I_0^\infty. \quad (5)$$

где обозначены $I_0(K) = cmL(K)$, $L(K) = \text{cth}K - 1/K$, $\omega_{\text{mag}} \approx \omega_c \left\{ 1 - \frac{1}{16} [I_0(K_{\text{mag}})]^2 \right\}$, $\omega_{\text{rel}} \approx \omega_c \left\{ 1 - \frac{1}{16} [I_0(K_{\text{rel}})]^2 \right\}$, $\omega_c^2 = kTK_{\text{mag}}/J$, $\omega_c^2 = kTK_{\text{rel}}/J$, c - концентрация магнитных частиц, I_0 - намагниченность, приобретенная к моменту начала действия магнитного поля K_{mag} или K_{rel} .

Поведение намагниченности дисперсной структуры соответствует так называемой магнито-реологической динамической модели Гука.

Гидросфера. По физическим и гидрохимическим параметрам над разделом «вода-дно» выделяют важные для понимания пелагического осадконакопления следующие элементы структуры стационарного течения: диффузионный подслей, вязкий ламинарный подслей и логарифмический турбулентный слой. Внешняя среда соответствует воде с малым наполнением дисперсной фазой. Пренебрегать вязкостью уже не корректно. Аналог модуля Гука мал ($G \approx 0$), так как еще не сформировалась упругая сетка каркаса дисперсной системы. Частицы разобщены, прямые контакты практически отсутствуют ($p_r \approx 0$). Процессы релаксации намагниченности подчиняются магнито-реологической модели Ньютона и параллельно присоединенной динамической модели Гука. В этом случае время релаксации в уравнении (3) имеет вид $\tau(K) = \frac{6V}{kTK} \left(\eta^* + \frac{J d^2 I / dt^2}{6V dI/dt} \right)$. Без применения численных расче-

тов можно получить аналитическое решение при малых углах поворота частиц. Кривые намагничивания и релаксации представляются уравнениями, описывающими собственные затухающие колебания намагниченности при приближении сигнала к асимптоте I_0^∞

$$I(t, K_{\text{mag}}, \tau) = [I_0(K_{\text{mag}}) - I_0^\infty] \Psi(t, \tau) \cos \omega_c t + I_0^\infty; \quad (6)$$

$$I(t, K_{\text{rel}}, \tau) = [I_0^\infty - I_0(K_{\text{rel}})] Y(t, \tau) \cos \omega_c t + I_0(K_{\text{rel}}). \quad (7)$$

В уравнениях (6) и (7) введены обозначения: $\Psi(t, \tau) = 1 - \exp(-t/\tau)$, $Y(t, \tau) = \exp(-t/\tau)$, $\tau = J/3V\eta^*$.

М.И. Малахов, Г.Ю. Малахова

(Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, Магадан, e-mail: Malakhov@neisri.ru)

Магнито-реологическая модель литогенетических структур пелагической области океана – II (литосфера: стадия седиментогенеза, этапы протосингенеза и сингенеза)

M.I. Malakhov, G Yu. Malakhova

(North-Eastern Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan)

Magnetorheological model of lithogenetic structures of the ocean pelagic region – II (lithosphere: the stage of sedimentological genesis, steps of protosyngensis and syngensis)

В течение *этапа протосингенеза* образуется густая суспензия на границе вода-дно (диффузионный и вязкий подслой толщиной около 1 см), постепенно переходящая в тонкий ($\Delta h \approx 1-3$ мм) слой окисленного ила с влагосодержанием $\varpi^* \approx 95-90\%$ или влажностью $\varpi \approx 1800-900\%$; $\varpi^* = 100\varpi/(\varpi + 100)$ (рис. 1) [2]. Такой ил легко разрушается придонными течениями, но при благоприятных условиях теряет воду и уплотняется. Тем не менее, условия существования осадков этого слоя наиболее адекватны параметрам придонной воды. Время его формирования колеблется в пределах $\Delta t \approx 100-1000$ лет. Данному слою характерны повышенные (относительно подстилающих слоев) содержания органического вещества, а также избыток преимущественно аэробных бактерий и микрофлоры. В нем широко проявлены процессы гидратации и окисления, преобразования органического вещества, взаимодействия между коллоидами, укрупнения частиц за счет слипания и коагуляции, растворения скелетных остатков, осаждения новообразованных фаз.

Поведение частиц в среде с пластической вязкостью η^* описывается уравнением (1), в котором присутствуют только вязкостный член $6V\eta^* \frac{d\theta}{dt}$, эластический (упругий) $6VG\theta$ и полевой $mH\sin\theta$:

$$6V\eta^* \frac{d\theta}{dt} + 6VG\theta + mH\sin\theta = f(t). \quad (8)$$

В терминологии реологической науки уравнение (8) характеризует так называемое магнитное тело Кельвина-Фойгта. Кривые релаксации намагниченности при «включении» поля K_{mag} и снижении поля до K_{rel} представляются уравнениями, совпадающими с формулами (11) и (12), а характерные времена поворота частиц имеют вид [3]:

$$\tau(K_{\text{mag}}) = \frac{6V}{kTK_{\text{mag}}} \left(\eta^* + \frac{GI}{dI/dt} \right), \quad \tau(K_{\text{rel}}) = \frac{6V}{kTK_{\text{rel}}} \left(\eta^* + \frac{GI}{dI/dt} \right). \quad (9)$$

Здесь соответствующие скорости намагничивания dI/dt определяются формулой (3). Модель Кельвина-Фойгта (магнито-реологическая модель

Ньютона с последовательно присоединенной статической моделью Гука) характеризует магнитные дисперсные структуры, обладающие типичной кривой затухающей магнитной ползучести.

Скорости изменения намагниченности в чисто статической модели Гука описываются также уравнениями типа (3), в которых стоят соответствующие времена релаксации

$$\tau(K_{\text{mag}}) = \frac{6V}{kTK_{\text{mag}}} \cdot \frac{GI}{d/dt}, \quad \tau(K_{\text{rel}}) = \frac{6V}{kTK_{\text{rel}}} \cdot \frac{GI}{d/dt}. \quad (10)$$

Они строятся из соотношений (9) при выполнении условия $GI \gg \eta^* d/dt$.

Длительность *этапа сингенеза* составляет $\Delta t \approx 5$ тыс. лет. За это время формируется гомогенный слой мощностью $\Delta h \approx 2-7$ см полужидких окисленных коричневых илов. Гомогенизация слоя достигается в результате интенсивной переработки илов мелкими бентосными организмами. Часто этот слой называют *перемешанным* или *активным*. Он составляет основную часть так называемой зоны Такера-Храмова [2]. Его влагосодержание варьирует в пределах $\varpi^* \approx 90-80\%$ ($\varpi \approx 800-400\%$). В целом, полужидкие илы характеризуются как крайне неуровновешенная физико-химическая система, подверженная гидродинамическому, гравитационному и биологическому воздействию. Неизбежно происходит проникновение в осадки новых порций поровых вод, отжатых из нижележащих слоев. Данный процесс разрушает намечающиеся равновесия и поддерживает неустойчивость системы «твердая фаза – раствор – газ». Процессы сингенеза происходят во время осаждения в самой верхней части осадка, представляющей собой в некоторых случаях коллоидную студенистую массу, которая содержит больше воды, чем минерального вещества.

Предлагаемая ниже магнито-реологическая модель описывает фундаментальный механизм намагничивания широкого спектра осадков природного происхождения. Поведение магнитной дисперсной структуры соответствует телу Ньютона с высокой *постоянной* вязкостью η^* , зависящей только от влагосодержания осадка. Расчет средней ориентации магнитных моментов большого числа частиц приводит к уравнению для намагниченности в случае ее роста и спада:

$$I(t, K_{\text{mag}}, \tau) = [I_0(K_{\text{mag}}) - I_0^\infty] \Psi(t, \tau) + I_0^\infty; \quad (11)$$

$$I(t, K_{\text{rel}}, \tau) = [I_0^\infty - I_0(K_{\text{rel}})] Y(t, \tau) + I_0(K_{\text{rel}}). \quad (12)$$

В соотношениях (11) и (12) введены те же обозначения, что и в формулах (6) и (7), характерные времена намагничивания и релаксации определяются формулами:

$$\tau(K_{\text{mag}}) = \frac{6V\eta^*}{kTK_{\text{mag}}}, \quad \tau(K_{\text{rel}}) = \frac{6V\eta^*}{kTK_{\text{rel}}}. \quad (13)$$

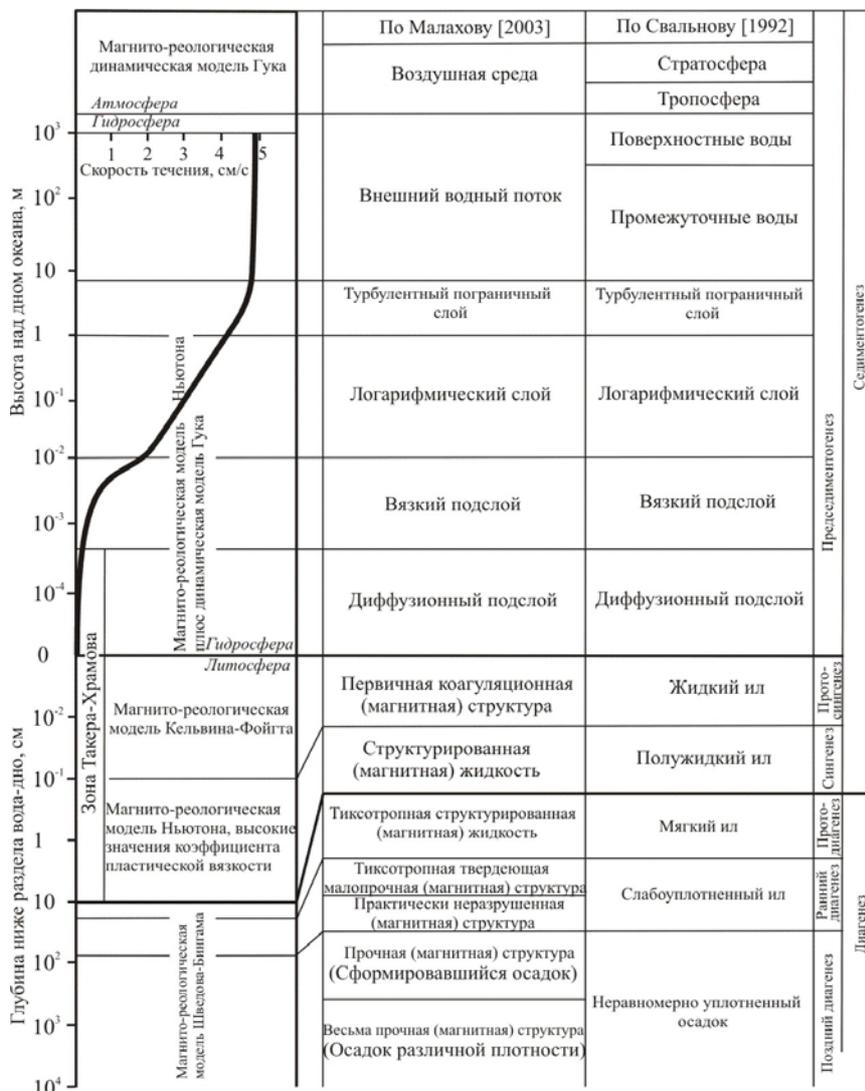


Рис. 1. Схема этапов пелагического литогенеза и соответствующие им магнито-реологические модели природной среды

М.И. Малахов, Г.Ю. Малахова

(Северо-Восточный КНИИ ДВО РАН, Магадан, e-mail: Malakhov@neisri.ru)

Магнито-реологическая модель литогенетических структур пелагической области океана – III (литосфера: стадия диагенеза, этапы протодиагенеза, раннего и позднего диагенеза)

M.I. Malakhov, G.Yu. Malakhova

(North-Eastern Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan)

Magnetorheological model of lithogenetic structures of the ocean pelagic region – III (lithosphere: the stage of diagenesis, steps of protodiagenesis, of the early and late diagenesis)

Этап протодиагенеза характеризует слой мощностью до $\Delta h \approx 10-15$ см мягких илов, накопившихся примерно $\Delta t \approx 5-10$ тыс. лет назад. Влагосодержание ω^* илов колеблется от 80 до 75 % (влажность ω в интервале 400-300 %). Светло-коричневая фоновая окраска их осложнена довольно редкими коричневыми и темно-коричневыми округлыми пятнами – ходами илоедов, заполненными вышележащим осадком. Контакт мягких илов с придонными водами затруднен и в основном возобновляется при биотурбации.

Этап раннего диагенеза охватывает временной интервал от 10 до 15 тыс. лет назад. За это время образуется слой осадков мощностью 10-20 см, внутри которого влагосодержание снижается от 75 до 70 % (влажность от 300 до 233 %). Фоновая светло-коричневая окраска затушевана многочисленными желтовато-коричневыми, серыми, коричневыми, желтовато-серыми линзами, неотчетливыми пятнами. Перенос вещества из слабоуплотненных илов к границе «вода-дно» осуществляется не диффузионным путем, а в результате выжимания поровых вод. Все это свидетельствует о завершившемся раннедиагенетическом перераспределении элементов в микроусловиях восстановительной среды, когда миграция, прежде всего Mn, к периферии следов жизнедеятельности бентосных организмов приводит к локальному обесцвечиванию осадков.

Этап позднего диагенеза – самый длительный и «вялый» отрезок истории пелагического литогенеза. В общем случае наблюдается постепенное увеличение плотности осадков вниз по разрезу, сопровождаемое уменьшением влажности ω до значений 40-30 % на горизонтах 500-600 м. Деятельность анаэробных бактерий затухает, и начинает преобладать абиогенная мобилизация вещества. В ходе позднего диагенеза трансформируются структуры аутигенных минералов, растворение и перераспределение биогенных компонентов приводит к локальному уплотнению осадков. Условную границу между диагенезом и катагенезом определяют по физическим свойствам, парагенезам аутигенных минералов и степени консолидации [1]. Результаты глубоководного бурения свидетельствуют, что мощность зоны

диагенеза в пелагических областях превышает местами 500 м, а продолжительность стадии составляет десятки миллионов лет.

Магнито-реологическая модель осадка в стадии диагенеза соответствует магнитному телу Ньютона с высокой *переменной* вязкостью η , зависящей от влагосодержания ϖ^* осадка, прочности $P_r(\varpi^*)$ осадка и скорости изменения намагниченности dI/dt в магнитном поле Земли (рис. 2). За данной моделью закреплено название магнито-реологическая модель Шведова-Бингама [3,7]. Уравнения (13) вместо постоянной η^* будут содержать соответствующие ньютоновские переменные коэффициенты вязкости

$$\eta(K_{\text{mag}}, dI/dt, P_r) = \eta^* + \frac{P_r}{dI/dt}, \quad \eta(K_{\text{rel}}, dI/dt, P_r) = \eta^* + \frac{P_r}{dI/dt}. \quad (14)$$

В соотношениях (14) представлены скорости приобретения намагниченности I в магнитном поле K_{mag}

$$dI/dt = -\frac{1}{\tau} [I - I_0(K_{\text{mag}})], \quad I < I_0(K_{\text{mag}}), \quad (15)$$

и спада намагниченности I в магнитном поле K_{rel}

$$dI/dt = -\frac{1}{\tau} [I - I_0(K_{\text{rel}})], \quad I > I_0(K_{\text{rel}}). \quad (16)$$

1. Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образование и изменение осадочных пород на континентах и в океане. Л.: Недра, 1987. 237 с.

2. Малахов М.И. Процессы постседиментационного намагничивания и характерные изменения магнитного поля и климата Земли в прошлом. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. С. 9–42.

3. Малахов М.И., Малахов Д.М. Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2007. № 1. С. 71–88.

4. Мурдмаа И.О. Литология и полезн. ископ. 1991. № 5. С. 3–18.

5. Свальнов В.Н. Динамика пелагического литогенеза. М.: Наука, 1991. 256 с.

6. Свальнов В.Н. Автореф. дис. ... д.г.-м.н. М.: Геол. ин-т. АН СССР, 1992. 59 с.

7. Щербаков В.П., Щербакова В.В. Тонкая структура геомагнитного поля. М.: ИФЗ АН СССР, 1986. С. 110–122.

Based on fundamental laws of physicochemical mechanics of disperse structures, a magnetorheological model of lithogenetic structures in open (far from land) regions of the Pacific Ocean is constructed. Special attention is given to the magnetization mechanism of bottom sediments below the water-seafloor interface. This process is most active in the so-called Tucker-Khramov zone, where strength properties of a suspension are either unobservable or weak. In the lower part of the zone, the sediment is a thixotropic solidifying structure in which the spatial orientation of magnetic dipoles is fixed due to an increase in the strength properties of the soil.

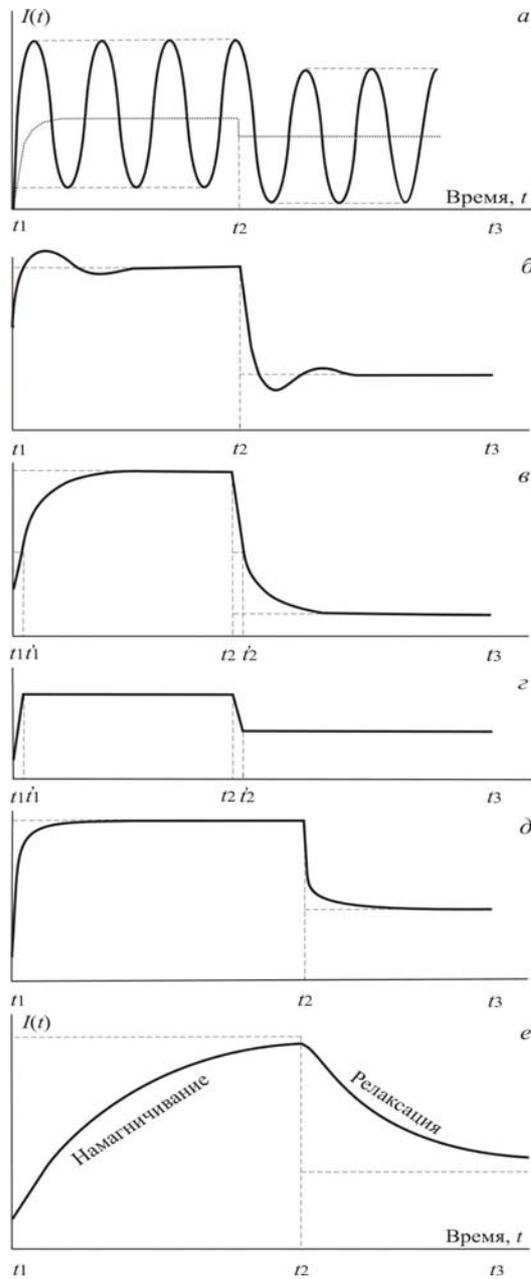


Рис. 2. Форма кривой временной зависимости намагниченности основных литогенетических структур пелагической области Тихого океана: а- динамическая модель Гука; б- модель Ньютона плюс динамическая модель Гука; в- модель Кельвина-Фойгта; г- статическая модель Гука; д- модель Ньютона; е- модель Шведова-Бингама; ($t_1 - t_2$) временной интервал намагничивания в поле K_{mag} ; ($t_2 - t_3$) временной интервал релаксации намагниченности в поле K_{rel} ; $K_{\text{mag}} > K_{\text{rel}}$

М.В. Митяев, М.В. Герасимова, Е.И. Дружкова

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

Вертикальные потоки осадочного вещества в губе

Дальнезеленецкая Баренцева моря (июль–сентябрь 2006 г.)

M.V. Mityaev, M.V. Gerasimova, E.I. Druzhkova

(Murmansk Marine Biological Institute KNC Russian Academy of Science, Murmansk)

Vertical particle fluxes in the Dalnezelenetskaya Bay

of the Barents Sea (July–September 2006)

В настоящее время, систематические данные по вертикальным потокам осадочного вещества в заливах Мурманского побережья отсутствуют из-за трудностей получения материала.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Использована малая седиментационная ловушка (МСЛ), перед постановкой во флаконы добавляли 50 мл 40% формалина и 100 мл насыщенного раствора NaCl. Постановка МСЛ осуществлялась стандартным способом в 5–7 м от морского дна. МСЛ были поставлены в западной (бухта Оскара), средней (Центральное плато) и восточной (Дальний пляж) частях губы Дальнезеленецкая.

После подъема МСЛ во флаконы добавляли 50 мл 40% формалина. Определение организмов фитопланктона осуществлялось стандартным методом. Удаления солей проводилось методом осаждения на центрифуге, далее осадок переводился в мерный цилиндр, где измерялся объем вещества с точностью до 0,5 см³, затем под бинокляром изучался вещественный состав, в заключении осадочное вещество высушивалось при температуре 104–105°C и взвешивалось с точностью до 0,01 грамма.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРИОДА РАБОТ

Работы проводились с 6 июля по 11 октября 2006 г. Весь период работ характеризуется холодной, дождливой, пасмурной, ветреной погодой (табл. 1). Самым теплым был первый период работ (июль), он также был ветреным, но штормов было не много. Второй период работ был теплый солнечный, сухой и тихий, более 30% времени ветра не было. Третий период был самым холодным и ветреным с большим количеством атмосферных осадков, которые вызвали интенсивный паводок ручья Зеленецкого. В этот период дули ветра, определяющие максимальное ветровое волнение в губе.

Таким образом, погодные условия, и в первую очередь штормовые ветра и атмосферные осадки, во многом повлияли на количество и состав осадочного вещества, попавшего в седиментационные ловушки.

Таблица 1. Метеорологические показатели в июле-сентябре 2006 г.

		За сезон	Июль	Август	Сентябрь
Температура воздуха	Средняя	9,8	11,2	10,3	7,9
	Максимальная	27,0	27,0	20,5	16,0
	Минимальная	1,8	5,8	5,0	1,8
	Суточный градиент	3,8	4,8	4,1	2,6
Ветровой режим	Средняя скорость	6,4	7,8	4,3	7,7
	Максимальная скорость*	15/22	15/20	10/15	15/22
	Преобладающее направление ветра	Ю, С-В	Ю, С-З	Ю, С-В	С, С-В
Количество штилевых дней		15	1	11	3
Количество штормовых дней		16	6	0	12
Сумма атмосферных осадков, мм		166,5	44,4	14,3	107,8
Солнечное сияние, часы		221,3	71,7	89,5	60,1

*в знаменателе скорость ветра в порывах

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Губа Дальнезеленецкая по потоку осадочного вещества распадается на три части, строго подчиняясь геоморфологическим особенностям морского дна (табл. 2). Бухта Оскара и Дальний пляж с глубинами моря 18–20 м представляют собой блюдцеобразные котловины – области аккумуляции, а Центральное плато с глубиной моря 3–5 м – относительное поднятие – зона размыта. Как видно (табл. 2) максимальные значения потока вещества во всех частях залива соответствуют наиболее штормовым месяцам, но даже в безветренный период поток вещества в губе характеризуется высокими значениями. В бухте Оскара поток осадочного вещества больше по объему, но на Дальнем пляже в составе осадочного вещества больше кластического материала, что отражается в весовых показателях. Средневзвешенный поток вещества в губе составляет 1,423 г/(м²*сут). В составе осадочного вещества всегда присутствует терригенный и биогенный материал, а в бухте Оскара еще и техногенный материал.

Основную массу осадочного вещества попавшего в МСЛ составляет тонкий коричневого цвета материал (— листочки биотита, обломки вулканического стекла и горных пород (гранитоидов и базальтоидов)), а — также остатки фитопланктона. Суммарный поток микрофитопланктона составлял 19,3–121,3 мг/(м²*сут.) (максимум в августе), доминируют колониальные формы пеннатных диатомовых водорослей (15–95% от планктонного сообщества). В небольших количествах присутствуют центрические диатомовые, зеленые, жгутиковые водоросли, динофлагелляты (доминировали в июле) и инфузории.

Таблица 2. Поток осадочного вещества в губе Дальнезеленецкой

Губа Дальнезеленецкая	Период работ	Поток вещества	
		см ³ /(м ² *сут.)	г/(м ² *сут.)
Бухта Оскара	июль	30,89	1,334
	август	15,50	0,672
	сентябрь	44,65	2,386
Центральное плато	июль	14,89	0,217
	август	6,76	0,193
	сентябрь	15,49	1,004
Дальний пляж	август	12,61	0,795
	сентябрь	41,47	4,784

Полученные данные по потоку осадочного вещества на один два порядка превышают аналогичные данные в открытых акваториях Норвежского, Гренландского и Карского морей. Его количество и объем сопоставимы с потоками вещества в фиордах Норвегии и на «маргинальных фильтрах» крупных Сибирских рек, где скорость осадконакопления велика и составляет десятки миллиметров в год.

Особенность литодинамики в губе Дальнезеленецкая – постоянное перераспределение вещества в результате штормов, но скорость седиментации в губе все равно высокая. По геоморфологическим особенностям морского дна и потоку вещества в губе выделяется две области аккумуляции, разделенные зоной размыва.

Vertical particle fluxes were studied in 3 parts of Dalnezelenetskaya Bay. It was found out, that main mass of the sedimentary matter consists of pelites-size particles. Constant presence of benthos organism vestiges in substance composition let us consider that in storm periods redistribution of sediment substance inside the inlet takes place.

И.А. Немировская, В.П. Шевченко, А.Н. Новигатский
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; e-mail: nemir@ocean.ru)

Органические соединения в снежно-ледовом покрове арктических районов

I.A. Nemirovskaya, V.P. Shevchenko, A.N. Novigatsky
(P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Organic compounds in snow-ice cover of the Arctic regions

Приводятся данные по содержанию органических соединений – углеводов (УВ), липидов, органического вещества (ОВ) в сопоставлении с концентрациями взвеси в снежно-ледяном покрове в отдельных арктических районах: Северный Ледовитый океан (СЛО) – желоб Франц-Виктория и поднятие Менделеева; Белое море – Кандалакшский залив, устье Северной Двины. Исследование снежно-ледового покрова становится особенно актуальным в связи с проведением Международного полярного года 2007/2008.

Несмотря на то, что в СЛО полигоны были расположены на одной широте (82° с.ш.), минимальные концентрации УВ и взвеси в снеге были установлены в районе поднятия Менделеева, находящемся за пределами континентальных воздушных масс: для АУВ_р (в растворенной форме) и АУВ_в (во взвешенной форме), соответственно, 5 и 6 мкг/л, для полициклических ароматических углеводов (ПАУ_р и ПАУ_в) – 2 и 3 нг/л. Снег из района желоба Франц-Виктория отличался более высокими концентрациями УВ. Содержание АУВ_р и АУВ_в составило 14 и 18 мкг/л; а ПАУ_р и ПАУ_в) – 30 и 50 нг/л. УВ снега желоба Франц-Виктория имели преимущественно терригенную природу. Во льдах желоба Франц-Виктория содержание УВ также было выше (АУВ_р и АУВ_в – 25 и 148 мкг/л; ПАУ_р и ПАУ_в – 110 и 47 нг/л), чем в районе поднятия Менделеева (АУВ_р и АУВ_в – 12 и 64 мкг/л; ПАУ_р и ПАУ_в – 4 и 54 нг/л). В желобе Франц-Виктория УВ концентрировались в поверхностных слоях льдов и имели, преимущественно аллохтонное происхождение. В районе поднятия Менделеева аккумуляция УВ и взвеси наблюдалась на границе лед–вода и совпадало с распределением взвеси. Содержание АУВ_в в нижней части керна льда в среднем 8 раз выше, чем в подледной воде, в то время как концентрации АУВ_р в этих объектах близки (6–10 мкг/л). В этом районе, находящемся на периферии антициклонического круговорота СЛО, при образовании льдов практически не происходит захвата прибрежной взвеси. Поэтому льды, несмотря на их большую мощность (до 3-х м), содержали значительно меньше взвешенного материала: от 0,04 на поверхности до 1,21 мг/л в нижней части кернов. Причем взвесь и АУВ имели (особенно в нижних слоях) преимущественно биогенную природу, так как даже при низких температурах барьерная зона “вода–лед” остается активной биологической средой, в которой происходит развитие ледовой флоры. Низкая

доля АУВ в составе липидов (от 1,5% до 20% против 40–80% в толще воды), а также состав алканов (доминирование низкомолекулярных соединений с максимумом при $n-C_{17}$), подтверждает их автохтонное происхождение. Следовательно, на распределение УВ в толще льда оказывает влияние не столько его возраст (станции в желобе Франц-Виктория были выполнены на двухлетнем льду с включениями однолетнего, а в районе поднятия Менделеева – на двухлетнем льду с включениями многолетнего), но и условия его образования и дрейф.

Перераспределение УВ между взвешенной и растворенной (так же как между газовой фазой и аэрозолями) формами зависит от гидрофобно-дисперсионных свойств индивидуальных соединений, которые определяются массой и формой молекул. Их роль возрастает с увеличением длины цепи для АУВ и числа бензольных колец для ПАУ. Поэтому, из-за гидрофобности высокомолекулярных алканов, доля АУВ выше во взвесах. Гидрофильные низкомолекулярные полиарены так же, как липиды, преимущественно содержатся в водной фазе.

В снежно-ледовом покрове Белого моря содержание, состав и распределение УВ значительно различались в зависимости от района исследования. В Кандалакшском заливе (губа Чупа) рост концентраций органических соединений происходил к нижним слоям льдов, благодаря развитию здесь диатомовых водорослей, что типично для снежно-ледового покрова Арктики. Поэтому в толще припайного льда наблюдалось синхронное изменение концентраций органических соединений и взвеси (по результатам расчета коэффициентов корреляции): $r(C_{\text{орг}}-\text{лип})=0,83$; $r(C_{\text{орг}}-\text{АУВ})=0,67$; $r(\text{лип}-\text{АУВ})=0,88$. $r(C_{\text{орг}}-\text{взвесь})=0,97$; $r(\text{лип} - \text{взвесь})=0,79$; $r(\text{АУВ}-\text{взвесь})=0,70$. Содержание ПАУ также увеличивалось от поверхности к нижней части льдов: от 86 до 347 нг/л. Однако как концентрации АУВ, так и ПАУ оказались значительно выше, чем во льдах СЛЮ, что может свидетельствовать об их эмиссии с берега. В тоже время, маркеры в составе АУВ и ПАУ указывали на незначительное влияние антропогенных источников.

В устье Северной Двины (от г. Новодвинска до о. Мудьюгский в Двинском заливе) при приближении к г. Архангельск содержание органических соединений резко увеличивалось во взвеси снега: липидов – до 1743 мкг/л, АУВ – до 119 мкг/л; ПАУ – до 216 нг/л, и в верхней части льда, соответственно, до 1499 мкг/л, 814 мкг/л, 148 нг/л. В отдельных пробах при переходе от снега ко льду содержание АУВ уменьшалось в 8 раз. Распределение органических соединений в снежно-ледяном покрове устья Северной Двины находится под влиянием их поступления из атмосферы. Однако и в подледной воде концентрации АУВ изменялись от 11 мкг/л (фоновый уровень в прибрежных акваториях) до 814 мкг/л. Средняя концентрация – 103 мкг/л ($n=28$) превышала ПДК для нефтяных УВ в воде – 50 мкг/л практически в 2 раза. Связано это с тем, что в зимне-весенний период в воды реки попадают загрязнения за счет их смыва с берега. Водный режим рек водосбора Север-

ной Двины определяется преимущественно снеговым питанием. В снеге, собранном на льду р. Северной Двины содержание пирена близко к содержанию флуорантена, соответственно 55,4 и 66,3 нг/г, что может указывать на свежее загрязнение пиролизическими полиаренами. Распределение маркеров свидетельствует о локальном выпадении основного количества загрязнений.

Таким образом, при приближении к промышленным центрам содержание в снеге органических соединений резко увеличивается. Снежный покров выступает в качестве «планшета», который сорбирует «свежее» загрязнение не только атмосферных осадков и атмосферного воздуха, но и последующего загрязнения льда и вод. Таким образом, снежный покров обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором состояния экосистемы. Уменьшение концентраций изучаемых соединений с удалением от источников эмиссии, может свидетельствовать о том, что загрязнения выпадают локально. При этом антропогенные соединения, поступающие со снегом, аккумулируются преимущественно в верхней части льда. Механизм нарастания сверху типичен для берегового льда, поэтому и во льдах в устье Серной Двины содержание УВ было выше, чем в нижних горизонтах. Кроме того, в Арктике при низких температурах большое значение приобретают ветровые процессы, которые способствуют выветриванию органических соединений и предотвращают их поступление в толщу льда.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (06-05-64815а; 06-05-96016а р-восток; 07-05-00691а), Программы № 17 фундаментальных исследований Президиума РАН (проекты 4.4 и 6.4), гранта Президента РФ (НШ-2236.2006.5), проекта 9 ОЗ Отделения наук о Земле РАН «Наночастицы во внутренних и внешних сферах Земли», российско-германской Лаборатории им. О.Ю. Шмидта.

The data on content of organic compounds – lipids, aliphatic hydrocarbons (HC) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in snow, ice and under-ice water (in dissolved and particulate forms) in the Arctic Ocean at 81°–82° N (regions of Franz-Victoria Trough and Mendeleev Ridge) and in two areas of the White Sea (Chupa Bay and Northern Dvina mouth) are presented. It was shown that distribution, concentration and composition of hydrocarbons in a snow-ice cover are caused by features of formation and circulation of air masses, and also drift of ice. It has been revealed that content of organic compounds in snow sharply increases along with approaching industrial centres. Decrease of concentrations of studied compounds with moving off sources could testify that pollutants deposit mostly locally. Concentration of organic compounds takes place in barrier zones: snow-ice and water-ice depending the source of pollution.

В.Н. Орешкин

(Институт Фундаментальных Проблем Биологии РАН, ifpb@issp.serpukhov.su)

Развитие методов электротермического атомно-абсорбционного и атомно-флуоресцентного анализа морских объектов

V.N. Oreshkin

(Institute of Basic Biological Problems, RAS)

Development of electrothermal atomic absorption and atomic fluorescence analysis of sea samples

Для решения многих вопросов геоэкологии, геохимии, контроля загрязнения морской среды необходимо определение ультраследов редких и рассеянных элементов (в их числе токсичные Cd, Pb, Hg, Tl) в морских и речных водах, взвесах, донных осадках, биологических образцах. Широкое применение находят методы электротермического атомно-абсорбционного (АА) и атомно-флуоресцентного (АФ) анализа. Однако проблема снижения пределов АА, АФ обнаружения элементов в образцах остается актуальной вследствие их низких фоновых содержаний, значительных матричных влияний основных компонентов, ограниченности массы самой пробы. Наибольшие трудности вызывает определение ультрамалых количеств элементов в морских и речных водах.

Разработаны методы электротермического АА, АФ, определения ультраследов Cd, Pb, Tl, Hg, Ag, Bi, In в различных объектах (воды, взвеси, донные осадки и др.). Отличительная особенность этих методов – термообработка и прямая атомизация в однокамерных или многокамерных (для эффективного подавления помех) графитовых тиглях непосредственно твердых проб (обычно разбавленных графитовым порошком, но без какой-либо химической подготовки), а также твердых концентратов после сорбционного концентрирования элементов из вод и растворов в статических или динамических условиях на полистирольных сорбентах с конформационно-подвижными аминокарбоксильными группировками (ДЭТАТА-сорбенты [1])[2-4]. Для дальнейшего улучшения метрологических характеристик определения элементов в морских и речных водах в растворенной и взвешенной формах предложены варианты сорбционно-АА/АФ методов с предварительным динамическим сорбционным концентрированием металлов в электротермических графитовых тиглях-микроколонках. Необходимо отметить, что такая пробоподготовка может быть проведена в экспедиционных условиях сразу же после отбора образцов воды, что важно при определении ультраследов тяжелых металлов [2-4]. Ниже в табл. 1 приведены варианты прямого и сорбционно-АА/АФ определения тяжелых металлов в фильтрате и взвеси (после мембранной ультрафильтрации) и в нефилтрованных образцах.

Пределы прямого АА, АФ обнаружения элементов в донных осадках, взвеси, биообъектах составили $(0,03-1) \cdot 10^{-6}\%$, сорбционно-АА, АФ обнаружения в водах – $(0,05-1)$ нг/л (табл. 2, 3). Относительное стандартное отклонение лежит обычно в пределах 0,1–0,3, что вполне удовлетворительно для целей геоэкологических и геохимических исследований. Для проверки правильности определения элементов в различных объектах использовали результаты независимых анализов, метод «введено-найдено», а также анализировали международные геохимические стандарты состава [2–4]. В предлагаемых вариантах методов существенно упрощена стадия пробоподготовки и, следовательно, снижены риски потерь следов элементов или загрязнения пробы. Методы применены для изучения распространения металлов в водах, взвеси, донных осадках, планктоне в устьевых зонах рек и различных регионах морских бассейнов.

Таблица 1

Варианты прямого и сорбционно-АА/АФ определения элементов в морских и речных водах

Фильтрат (содержание растворенных форм)	Нефильтрованные образцы (суммарное содержание растворенных и взвешенных форм)	Взвеси (содержание взвешенных форм)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Прямое АА/АФ определение в графит-солевых концентратах (слабоминерализованные воды) ▪ Сорбционно-АА/АФ определение с концентрированием в статических условиях и прямым анализом твердого концентрата ▪ Сорбционно-АА/АФ определение с динамическим концентрированием в атомизаторе и прямым анализом твердого концентрата 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Прямое АА/АФ определение в графит-солевых концентратах, содержащих взвеси (слабоминерализованные воды) ▪ Сорбционно-АА/АФ определение с динамическим концентрированием и выделением взвеси в атомизаторе и прямым анализом твердой матрицы (концентрат+взвесь) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Прямое АА/АФ определение в твердых пробах ▪ Сорбционно-АА/АФ определение с растворением взвеси, концентрированием в статических условиях и прямым анализом твердого концентрата ▪ Сорбционно-АА/АФ определение с растворением взвеси, динамическим концентрированием в атомизаторе и прямым анализом твердого концентрата

Таблица 2

Пределы прямого АА/АФ обнаружения элементов в морской и речной взвеси, донных осадках, планктоне ($n \cdot 10^{-6} \%$, $m = 3-20$ мг)

Элемент, аналитическая линия, нм	Однокамерный тигельный атомизатор	Многокамерные тигельные атомизаторы с несколькими независимо нагреваемыми зонами
Ag(328,1)	1-5	0,03-1
Bi(306,8; 223,1)	3-20	0,5-5
Cd(228,8)	0,5-5	0,03-1
Pb(283,3)	20-100	3-10
Tl(276,8; 377,6)	5-30	1-5
Hg(253,7)	10-50	0,5-5
In(303,9)	5-50	1-10

Таблица 3

Пределы сорбционно-АА/АФ обнаружения элементов в морских и речных водах (нг/л, $V=10-50$ мл, $v=0,4-2$ мл/мин., $m=5-10$ мг)

Элемент, аналитическая линия, нм	Концентрирование элементов на ДЭТАТА-сорбенте	
	в статических условиях ($K_{\text{конц}}=10^3$)	в динамических условиях ($K_{\text{конц}}=10^3-10^4$)
Ag(328,1)	2-5	0,05-1
Bi(306,8; 223,1)	10-50	1-5
Cd(228,8)	2-10	0,05-1
Pb(283,3)	20-100	1-10
Tl(276,8; 377,6)	10-50	1-5
In(303,9)	10-30	<10

1. Золотов Ю.А., Цизин Г.И., Формановский А.А. и др. Коорд. химия. 1992. Т. 18, № 10-11. С.1113.

2. Орешкин В.Н., Цизин Г.И., Золотов Ю.А. Журн. аналит. химии. 2002. Т.57, №9. С. 923.

3. Орешкин В.Н., Цизин Г.И. Журн. аналит. химии. 2004. Т. 59, №9. С. 988.

4. Орешкин В.Н., Цизин Г.И. Журн. аналит. химии. 2006. Т. 61, №4. С. 360.

Improvements of electrothermal atomic absorption and atomic fluorescence methods for determination of ultratraces of heavy metals in sea samples have been suggested.

В.В. Сивков

(Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, e-mail: sivkov@balnet.ru)

Исследования контуритов и дрейфов в Атлантическом океане

V.V. Sivkov

(Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS)

Contourites and drifts investigations in the Atlantic Ocean

В нескольких экспедициях на судах ИОРАН в Атлантическом океане проводилось исследование контуритов и дрейфов – крупных осадочных тел, сформированных контурными течениями. Широтные трансатлантические разрезы пересекали все возможные пути распространения глубинных вод Норвежско-Гренландского бассейна в Атлантику. Благодаря этому были получены новые данные практически по всем известным дрейфам Северной Атлантики к северу от 50° с.ш. В Южной Атлантике были обследованы дрейфы, расположенные в районе поднятия Риу-Гранде.

Для акустического профилирования морского дна использовались параметрические эхолоты-седиментографы ATLAS PARASOUND, установленные на НИС «Академик Иоффе» и «Академик С. Вавилов». Они позволяют вести регистрацию донного рельефа и акустической структуры осадочной толщи мощностью до 100 м с разрешением около 1 м. Стандартными методами отбирались и исследовались донные осадки (ударная трубка) и взвешенное вещество (фильтрация, счетчик Коултера). Данные по взвеси сопоставлялись с гидролого-гидрохимическим фоном.

В северной части впадины Рокколл в 70 км к юго-западу от прохода Уайвилла-Томпсона (на глубине 1060–1130 м), через который из Норвежского бассейна в Северо-Восточную Атлантику проникают глубинные воды (восточная ветвь Норвежско-Исландского контурного течения), зафиксированы седиментационные волны с характерной высотой 5–7 м и длиной около 1 км. Здесь в верхних 40 м акустического разреза прослеживается до 20 отражающих горизонтов, свидетельствующих об изменчивости фациальных условий в позднечетвертичное время. За период формирования этих осадков волны передвинулись вверх по склону на расстояние 300–400 м. Сочетание мигрирующих седиментационных волн и слабой миграции самого дрейфа указывает на долговременную устойчивость системы течений. В той же впадине Рокколл был пересечен дрейфт, прилегающий с запада к банке Розмари. Седиментационные волны высотой до 10 м отмечены здесь на глубине 1500–1550 м. При обтекании банки Розмари скорость Норвежско-Исландского контурного течения временами достигает 50–100 см/с.

После обтекания с юга плато Рокколл восточная ветвь Норвежско-Исландского течения движется на север-северо-восток и формирует дрейфт

Хаттон. Седиментационные волны высотой до 15 м отмечены здесь на глубинах 1840–1980 м. После слияния восточной и западной ветвей, уже единое Норвежско-Исландское течение, движущееся на юго-запад вдоль хребта Рейкьянес, формирует дрейф Гардар и соответствующие поля седиментационных волн (высота до 10 м, глубина 2480–2590 м).

На хребте Рейкьянес (глубина 1530–1680 м) было обнаружено локальное по горизонтали (3–4 км), но развитое по вертикали (более 60 м) осадочное тело. Оно содержит до 25 отражающих горизонтов и граничит с отрицательными формами рельефа, что напоминает один из типов дрейфов, т.н. «замкнутый» дрейф. Детальное исследование этого дрейфа может дать дополнительную информацию с точки зрения придонного обмена вод между бассейнами западной и восточной Атлантики.

В бассейне Ирмингера выявлены глубокие (десятки метров) эрозионные врезы, которые, по-видимому, трассируют путь придонного течения, связанного с перетоком холодных вод из Норвежско-Гренландского бассейна через Датский пролив. Наиболее плотные воды распространяются в центральной части бассейна Ирмингера, а несколько менее плотные – по подводному склону Гренландии в виде контурного течения. Пересечение дрейфа Эрик, расположенного у южной оконечности Гренландии, выполнено по его простирацию. При выходе на основную поверхность хребта проявилась небольшая холмистость. Хребет полностью выклинился на глубине 2400 м. В южной части Лабрадорской котловины на северо-западной и южной окраинах гигантского дрейфа Глория (глубина 3350–3450 м) регистрировались обширные поля симметричных седиментационных волн высотой от 10 до 50 м.

Над дрейфами отмечались высокие концентрации взвеси, свидетельствующие о развитом придонном нефелоидном слое. Так над дрейфом Глория придонный нефелоидный слой имел высоту до 1,5 км. Здесь помимо разгрузки придонных течений может сказываться эффект абиссального апвеллинга, связанного с циклонической циркуляцией придонных вод. Над разломом Чарли-Гиббс также отмечены аномально высокие для абиссальных глубин концентрации взвеси. Известно, что через этот разлом осуществляется обмен придонными водами между Западно-Европейской и Лабрадорской котловинами. Сложный рельеф дна в сочетании с высокой активностью течений здесь также способствуют формированию развитого нефелоидного слоя, хотя и не такого интенсивного как над дрейфом Глория. Развитый нефелоидный слой был выявлен и в районе дрейфа Фени (южный склон плато Роколл), сформированного восточной ветвью Норвежско-Исландского течения. Дополнительный вклад в повышение концентрации взвеси здесь может вносить «взмучивание» осадков течением трансформированных Антарктических донных вод.

В Южной Атлантике в районе канала Вима (поднятие Риу-Гранде) обследован особый тип контуритов, формирующихся в глубоководных каналах. К югу от канала Вима, в Аргентинской котловине, был пересечен ги-

гантский дрейф Юинг высотой около 100 м. Он препятствует прямому проникновению Антарктических придонных вод (АПВ) в канал Вима, играя роль своего рода «задвигающейся заслонки». В настоящее время дополнительный путь АПВ (относительно времени начала формирования дрейфа) составляет около 1 тыс. км. Известно, что по мере продвижения в северном направлении температура АПВ повышается. Увеличение их пути за счет обтекания дрейфа ведет к некоторому дополнительному повышению температуры вод. Поскольку после выхода из канала Вима АПВ распространяются по всей Атлантике, роль дрейфа Юинг, как локального фактора, возможно влияющего на глобальный климат, требует пристального внимания.

Contourites and drifts investigations were carried out in the Atlantic Ocean. New data on all well-known drifts of the Northern Atlantic to the north from 50°N were received. High concentrations of suspended matter were shown upon drifts what indicates well-developed bottom nepheloid layer. The giant Ewing drift blocks direct penetration of Antarctic bottom waters in the Vema Channel (the Southern Atlantic) and thus, have an influence on their rise in temperature. In paleoceanological sense this may have an impact both on general circulation of the bottom waters in the Atlantic Ocean and climate.

**В.В. Сивков¹, В.А. Жамойда², Ю.П. Кропачев²,
А.Н. Бабаков¹, В.В. Горбачкий³, В.А. Чечко¹, Б.В. Чубаренко¹**

(¹Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, e-mail: sivkov@balnet.ru; ²Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, e-mail: Vladimir_Zhamoida@vsegei.ru; ³Центральный научно-исследовательский институт им. академика А.Н. Крылова, Санкт-Петербург, e-mail: gorbatsky@infopro.spb.su)

Особенности современных морфо- и литодинамических процессов на подводном склоне Куршской косы (юго-восточная Балтика)

**V.V. Sivkov¹, V.A. Zhamoida², Yu.P. Kropatchev², A.N. Babakov¹,
V.V. Gorbatskiy³, V.A. Chechko¹, B.V. Chubarenko¹**

(¹Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, ²A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, ³Academician A.N. Krylov Central research Institute)

Features of recent morfo- and litodynamical processes on the underwater slope of the Curonian Spit (South-Eastern Baltic)

Балтийское побережье Калининградской области представляет собой сложную морфо-литодинамическую систему, развивающуюся унаследовано, по крайней мере, с начала иольдиевой трансгрессии. В частности абразия береговых уступов и подводного склона северной части Самбийского полуострова служит источником осадочного материала для формирования Куршской косы. Куршская коса в морфо- и литодинамическом отношении представляет собой длинную пересыпь, простирающуюся почти на 100 км на ССВ от Самбийского полуострова.

Рельеф подводного берегового склона, примыкающего к Куршской косе, выположен. Лишь на участках выходов валунных суглинков наблюдаются линейно-вытянутые повышения.

Вдольбереговое перемещение наносного материала осуществляется сильными «суммарными» течениями, возникающими в результате взаимодействия градиентных и дрейфовых течений. Зона наносодвижущих течений (>20 см/с) компенсационного оттока вод при остром угле подхода штормового ветра может простираться до изобат 15–20 м, а морская граница вдольбереговых придонных течений располагается в районе изобаты 30 м.

Куршская коса по морфо-литодинамическим признакам подразделяется на три участка: южный, средний и северный. Южный участок (российская часть косы) характеризуется наиболее интенсивным размывом морских берегов, что объясняется особенностями гидро- и литодинамического режимов, заключающимися в значительном выносе песчаного материала из прирезозной зоны на большие глубины компенсационными противотечениями, и связанным с этим дефицитом наносов в береговой зоне. Кроме того, боль-

шую роль в формировании здесь дефицита обломочного материала играют эоловые процессы.

Средняя (российско-литовская) часть косы характеризуется миграцией наносов и чередованием локальных участков размыва и аккумуляции. В северной (литовской) части Куршской косы преобладает аккумуляция.

В 2005–2006 гг. в рамках экологического мониторинга морской нефтедобычи на Кравцовском месторождении методом сонарного профилирования были уточнены сложившиеся представления о микрорельефе дна и распространении различных типов осадков на подводном склоне южной (российской) части Куршской косы. Для заверки сонарных профилей использовался гранулометрический анализ донных осадков.

В районе сочленения Самбийского полуострова и Куршской косы выявлено чередование участков дна, сложенных гравийно-галечным материалом с грубозернистым песком, и участками распространения мелкозернистых песков. Зоны распространения грубообломочного материала отличаются, как правило, сложной конфигурацией, расчлененным микрорельефом дна и, вероятно, в целом несколько оторваны от сугубого мелководья, располагаясь преимущественно на глубине моря более 5–8 м. Хотя следует отметить, что в некоторых местах грубообломочный материал вплотную подходит к прибрежной части. Характер донных отложений свидетельствует об интенсивных гидродинамических процессах, препятствующих седиментации, и дефиците осадочного материала. Можно предположить, что эти поля отчасти маркируют выходы ледниковых отложений на поверхность дна. Участки, где на поверхности дна залегают мелкозернистые пески, выположены. Вероятно, мощность песков невелика, т.к. иногда на записи сонара по особенностям микрорельефа прослеживаются перекрываемые ими подстилающие моренные отложения. Отмечаются и поля «динамичных» песков со знаками подводной ряби. В прибрежной части они ориентированы по нормали к берегу и маркируют пути выноса осадочного материала от берега на глубину. На глубине 10–15 м такие поля имеют иногда более изометричные формы и часто оконтуривают участки распространения грубообломочного материала.

В основании Куршской косы преобладает выровненная поверхность, сложенная мелкозернистыми плотными однородными песками. Среди них выделяются довольно обширные языки динамичных песков с хорошо различимыми знаками ряби. Сложены они, по-видимому, среднезернистыми рыхлыми песками. На расстоянии 10–15 км от корня косы были обнаружены поля мелкорасчлененного рельефа, в том числе вблизи побережья. Это «листоватые» лагунные илы голоценового возраста, находящиеся в зоне активного гидродинамического воздействия. Далее к северу – в центральной части косы – площади размыва морского дна существенно сокращаются. По мере приближения к литовской границе начинает преобладать выровненная поверхность морского дна, сложенная однородными мелко-тонкозернистыми песками.

В южной части Куршской косы, где береговая линия выровнена и имеет слегка вогнутую форму, а ее ориентация постепенно меняется с ВСВ на СВ, происходит сокращение активной части сектора ветров северных румбов и увеличение западных. Здесь происходит значительное увеличение значений общего потока волновой энергии, поступающего в береговую зону, за счет выхода косы из волновой тени, создаваемой мысами Самбийского полуострова при ветрах западных румбов. В этом месте ширина косы минимальна, и именно здесь в сильные штормы чаще всего случаются прорывы авандюны.

Измерения течений прибрежной зоны моря, выполненные с берега доплеровским радиолокатором, позволили выявить у основания Куршской косы циклонический круговорот, устойчиво существующий при юго-западных ветрах. Поскольку это же направление имеют штормовые ветры, то, по-видимому, во время штормов круговорот также существует. Шторма – во многом решающий фактор прибрежной литодинамики, и поэтому роль выявленного круговорота в транспорте осадочного вещества от Самбийского полуострова к Куршской косе может быть весьма существенной.

Knowledge on micro-relief and distribution of different types of sediments on the bottom slope of the Southern (Russian) part of the Curonian Spit were detailed by sonar profiling and direct sampling of sediments. Lagoonic Holocene sediments were found in the near-shore zone (active hydrodynamic influence) of the spit at the distance of 10–15 km to the north from the core of the spit. Current measurements made by coastal radar revealed a cyclonic eddy near the core of the spit, which steadily exists during south-western winds. Its role in the sediment transport from the Sambian Peninsula towards the Curonian Spit may be considerable.

**А.С. Столетова¹, В.П. Шевченко², М.А. Бизин³,
К.П. Куценогий³**

¹Архангельский ЦГМС-Р, г. Архангельск, e-mail: stoanastasiya@yandex.ru;

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва;

³Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск)

**Пути эолового переноса вещества в районе мыса Картеш,
Белое море**

**A.S. Stoletova¹, V.P. Shevchenko², M.A. Bizin³,
K.P. Koutsenogii³**

¹Arkhangelsk Regional Hydrometeorological Centre, Arkhangelsk;

²P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow;

³Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk)

**Pathways of aeolian transport of matter to the Cape Kartesh
area, the White Sea**

Атмосфера (наряду с гидросферой) является одним из каналов поступления вещества из средних широт в Арктику. Основную массу поступающего вещества составляют природные компоненты терригенного или морского происхождения. Однако, в индустриальную эпоху и в арктической атмосфере резко возросли концентрации антропогенных газов и аэрозолей [1]. Аэрозолями принято называть взвешенные в воздухе жидкие и твердые частицы размером от 10^{-3} до 10^3 мкм. Осаждаясь из атмосферы на подстилающую поверхность, атмосферные аэрозоли (в том числе и их антропогенные составляющие) могут оказывать существенное влияние на экологические системы региона. Многие химические элементы в составе аэрозольных проб являются трассерами при исследовании происхождения аэрозоля, путей его переноса в атмосфере, процессов его трансформации и осаждения на подстилающую поверхность.

Представление о пространственном происхождении изучаемого аэрозоля и влиянии на его состав природных и/или антропогенных источников дают траектории переноса воздушных масс над поверхностью земли [1–3 и др.]. Подобные траекторные модели позволяют получить результат с некоторой степенью точности, обусловленной интерполяцией дискретных метеоданных и определенными допущениями о характере движения воздуха. Только при переходе к достаточно большому числу однородных траекторий движения воздушных масс получают усредненные результаты, более надежные, чем те, которые основаны на единичных траекториях. Большие массивы траекторий движения воздуха и различные статистические приемы для их анализа позволяют решать задачи климатического, синоптического, экологического характера.

Изобарический уровень, по которому нужно анализировать перенос, зависит от задач, для которых это делается. Кроме того, необходимо учиты-

вать дальность источника, качество подстилающей поверхности, над которой происходит перенос, синоптические условия и т.д. Известно, что анализ траекторий, рассчитанных на нескольких изобарических уровнях, дает наиболее достоверные результаты [1]. Приземные траектории подходят для анализа переноса примеси на небольшие расстояния или при условии ровной поверхности. Траектории на уровнях 925 и 850 гПа (высоты приблизительно 800 м и 1400 м соответственно) применяются для расчета при дальнем переносе аэрозольных примесей. Траектории на высотах более 1500 м используются для климатических и синоптических задач. В тех случаях, когда траектории разных уровней расходятся в противоположные стороны, перенос неустойчив.

Целью наших исследований является исследование путей переноса аэрозольных примесей в районе Белого моря. Эти исследования являются частью работ по проекту "Система Белого моря" [4] и Международного полярного года 2007/2008 (проект № 323 "Исследование эолового и ледового переноса и потоков вещества (включая экотоксиканты) в Арктике", руководитель В.П. Шевченко). При наличии устойчивого переноса в атмосфере, с учетом перечисленных выше условий, можно выявить, промышленные предприятия какого региона (Кольский п-ов, Западная Европа, Скандинавия, центр европейской части России или Урал) являются источником аэрозольных примесей для района исследования (в нашем случае – для Белого моря).

Начальным этапом нашей работы является расчет обратных траекторий движения воздуха для мыса Картеш (Кандалакшский залив Белого моря). В этом районе сотрудники Института океанологии РАН совместно с коллегами из ряда других организаций регулярно проводятся многодисциплинарные исследования. Расчеты проводятся с использованием модели HYSPLIT на сайте Лаборатории воздушных ресурсов Американской национальной Администрации по исследованию океана и атмосферы (NOAA) <http://www.arl.noaa.gov/ready.html>. Расчет обратных 5-суточных траекторий движения воздуха производится один раз в сутки в 8 Гринвичского времени на высотах 10 м (стандартная высота при наземных наблюдениях), 400 м, 1500 м.

Состав аэрозолей был изучен в окрестностях мыса Картеш в период с 23 марта по 7 апреля 2004 г. [5]. Для определения элементного состава аэрозолей воздух фильтровали в течение суток через ацетил-целлюлозные фильтры АФА-ХА-20 [3]. Элементный анализ собранных проб был выполнен рентгено-флуоресцентным методом с использованием синхротронного излучения. В большинстве проб концентрации химических элементов в аэрозолях были на фоновом уровне, воздушные массы в эти дни поступали из чистых районов Арктики и Субарктики. 31 марта 2004 г. аэрозоли были сильно обогащены Ni, Cu, S, V, Se, Pb. Воздушные массы, поступившие в этот день в точку пробоотбора, перед этим прошли через район Мончегор-

ского медно-никелевого комбината “Североникель”. Для всего года анализ полученных траекторий показал: доля воздуха, приходящего со стороны Кольского полуострова и Северной Европы составляет около 13% случаев за год. Значителен вклад в общую сумму воздуха из районов Карелии и Севера Европейской части России. В 4–5% случаев за год регионами-источниками для м. Картеш являются Западная и Центральная Европа, бассейн реки Печора. От 1 до 3% случаев за год в разные сезоны составляют воздушные массы, источником которых являются Урал, Якутия, районы Норильска и Енисейского залива. Непосредственно из Арктического региона воздух поступает в район исследования в 3% случаев за год.

Авторы благодарны академику А.П. Лисицыну, В.Б. Коробову и А.А. Виноградовой за ценные замечания, В.Я. Бергеру и сотрудникам Беломорской биологической станции Зоологического института РАН за помощь. Работа была выполнена при поддержке РФФИ (грант 07-05-00691), Программы № 17 фундаментальных исследований Президиума РАН, Программы фундаментальных исследований № 16, часть 2 “Природные процессы в полярных областях Земли и их вероятное развитие в ближайшие десятилетия”, проекта “Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли”, гранта поддержки ведущих научных школ № 2236.2006.4.

1. *Виноградова А.А.* Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана. Дисс. докт. геогр. наук. М., 2004. 217 с.

2. *Stohl A.* Computation, accuracy and applications of trajectories – A review and bibliography // *Atmospheric Environment*. 1998. V. 32. P. 947–966.

3. *Шевченко В.П.* Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.

4. *Лисицын А.П.* Новые возможности четырехмерной океанологии и мониторинга второго поколения – опыт двухлетних исследований на Белом море // *Актуальные проблемы океанологии*. М.: Наука, 2003. С. 501–554.

5. *Куценогий К.П., Шевченко В.П., Лисицын А.П. и др.* Химический состав атмосферных аэрозолей в районе Белого моря // *Геология морей и океанов. Тез. XVI Межд. научн. школы по морской геологии*. Москва, 14–18 ноября 2005 г. М.: ГЕОС, 2005. Т. 1. С. 75–76.

Aerosol transport is an important way of matter (including pollutants) delivery to the White Sea. It is possible to estimate sources of aerosols and their pathways calculating the back trajectories of air masses. Pathways of aerosols to the Cape Kartesh during one year have been calculated. It gives possibility to reveal source regions of aerosols arriving to the studied area.

Г.В. Тарасенко, Е.А. Демичева

(АктГУ им. Ш. Есенова, ИНГ, г. Актау, tarasenko-genadi@rambler.ru)

**Шаровые конкреции палеоокеана Тетис, их роль
в познании планеты Земля и новых энергий**

G.V. Tarasenko, E.A. Demicheva

(Aktau state university of the name Sh.Esenov, Aktau)

**Ball concretion of paleo-ocean Tetis, their role in cognition
of the planet Land and new energy**

Как особая группа природных тел шаровые конкреции были выделены еще в 18 веке, и они являются объектом специальных исследований уже более 250 лет. Но теория образования конкреций остается до сих пор нераскрытой. С позиции теории тектоники плит скольжения (Тарасенко, 2007), присутствуют горизонтальные тектонические нарушения в земной коре, приводящие к расслоению геолитодинамических комплексов (чешуй, пластин, пластов), которые трутся друг под другом (эффект жерновов), образуя базальные пачки, или расходятся друг от друга, скользя по базальной пачке, заполненной флюидами, образуя карсты. Нефтегазоносные толщи любых месторождений достигают от первых метров до сотен (Тенгиз, Жетыбай, Узень и др.), где чередуются коллектора (базальные пачки, карсты, песчаники, конгломераты и др.) и флюидоупор (глины, аргиллиты и др.). Так как нефть является диэлектриком, то получается природный электроконденсатор, в котором накапливается электрическое напряжение за счет трения пластин, чешуй или заряжается от динамо-эффекта самой планеты Земля. Во время разряда природного конденсатора появляются шарообразные электромагнитные поля (в виде шаровых молний) в пустотах заполненных флюидом и размученной (раздробленной) породой, которая притягивается электромагнитным полем. Вполне закономерно образование электромагнитного поля в виде завихрения на расстоянии базальной пачки или карста, из-за чего на поверхности конкреции могут достигать несколько километров в длину и 1,5 до 32 м. в диаметре. Образование торнадо также связано с явлениями завихрения (вращения) воздушного потока и их исследования могут дать дополнительную информацию о возникновении таких процессов. Изучая шаровые конкреции палеоокеана Тетис (горы Каратау, Мангышлак), обнаруженные внутри пластов-коллекторов нижнемелового и юрского возраста, которые заполнены песчано-глинистыми породами, можно констатировать факт сингенетического происхождения конкреций, а вмещающей породы – эпигенетического. Значит, шаровые конкреции образовывались в пустоте, а только потом пустота заполнялись продуктами грязевого вулканизма, хороня конкреции и вытесняя пластовый флюид. Конкреции становятся очень плотными и только на поверхности разрушаются за счет физического выветривания, обнажая, таким образом, различные сферические образования. Химический анализ Мангышлакских кон-

креций по сферам разнообразен (анализы выполнены в химической лаборатории ТОО «МАЭК Казатомпром» при поддержке главного инженера Назаренко П.И.).

Конкреции урочища Жынгылды по химическому составу относятся к кремнистым, но в центре содержание окислов железа достигает 90% и к поверхности – до 5–6%. Большое содержание окислов железа говорит о постоянной циркуляции пластовых флюидов через ядро конкреции (адсорбция), которая может происходить за счет вращения шаровой плазмы от электро-взрыва. Ядро, как правило, очень мягкое, по сравнению с другими геосферами, которые сцементированы глинистыми породами. Форма конкреций в основном шарообразная, эллипсоидная, состоящая из нескольких сфер, тарельчатая, в основном слоистая. Возраст конкреций относится к нижнему мелу, аптский ярус.

Конкреции горы Шеркала также относятся к кремневым, но с меньшим содержанием окиси железа, но увеличением содержания серы в центре ядра. Форма конкреций цилиндрическая, шарообразная, с диаметром от 1 см до 50 см (футбольный мяч).

Конкреции урочища Онды в основном карбонатно-кремнистые, состоят из ярко выраженного ядра и одной сферы, с различными линиями трещин, в диаметре достигают двух метров, массивные, монолитные.

Шаровые конкреции встречаются и в плитах Кавказских дольменов и Египетских пирамид.

На основе проведенных геолого-геофизических исследований в строении планеты Земля и шаровых конкреций (Тарасенко Г.В. 1993–2007 гг.), были проведены опытные работы по созданию электроразрядов в пластовых условиях. В сосуд-реактор помещались различные компоненты пластовых флюидов и горных пород. Сосуд-реактор помещался в статор электродвигателя на 30 кВт, на который подавалось напряжение 20–30 вольт, ток поднимался до 35 ампер. В тоже время на сосуд-реактор подавались разряды через конденсаторную батарею емкостью 16 мкФ на напряжение 6 кВ. Во время разрядов сосуд-реактор нагревался до 70°C. На шаровом воздушном разряднике происходило постепенное увеличение дуги, перешедшей в постоянное свечение (замыкание), напряжение упало до нуля. При увеличении зазора на шаровом разряднике, замыкание происходило в сосуде-реакторе (по звуку). Давление поднялось до 300 атм. После разборки сосуда-реактора и слива флюидов, на электродах остались шарообразные асфальто-смолистые остатки. Их образование связывается с холодным ядерным синтезом, происходящим за счет электроразрядов и приводящим к образованию разделения флюидов и срастанию твердых минералов. Эти опыты подтверждают образование шаровых конкреций, угля, полиметаллов из продуктов грязевого вулканизма и пластовых флюидов, образующихся в мантии и литосфере.

Подтверждением этому заключению служат также палинологические исследования нефти и угля, где спора и пыльца, заключенные в них, одного

с ними возраста (палеозойского) и их сгорание происходит при температуре выше 600 градусов (Медведева ИГ и РГИ). Таким образом, нефть и другие флюиды являются постоянно образующимися, а уголь – это палеонефть, из которого, в свою очередь образуется нефть в зонах субдукции за счет холодного ядерного синтеза (не выше 600 градусов) в мантии и ядре.

Постоянное образование флюидов в зонах континентальной субдукции приводит к радиаторному эффекту, как в двигателе внутреннего сгорания. Происходит отвод тепла от процессов холодного ядерного синтеза.

Чрезмерный отбор флюидов (нефть, газ, вода) приводит к опустошению литосферы, с чем и связывается мною с глобальным изменением климата, а не с парниковым эффектом. Механизм воспроизведения флюидов субдукционным механизмом имеет определенный предел и его природное ускорение вызывает аномальные явления в виде различных катаклизмов. Наступил момент переосмысления строения планеты Земля, ее модели.

Для получения нового вида энергии необходимо создать механизм, в котором будут присутствовать все элементы строения планеты Земля.

К ним относятся:

1. Радиатор (литосфера)
2. Электроконденсатор (литосфера, мантия)
3. Генератор (шаровая молния)

Forming the ball concretions and planet Land are connected with powerful electrodischarge, during which appears the spherical plasma. The organized experiences of the reception ball concretions. The revealed regularity of the global change the climate from havoc of the lithosphere-radiator.

Ю.А. Федоров, А.Н. Кузнецов, М.Е. Трофимов, Е.Н. Ленец
(Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: fizgeo@rsu.ru)

Cs-137 и Pb-210 в колонках донных отложений Азовского моря как индикаторы хронологии осадконакопления

Y.A. Fedorov, A.N. Kouznetsov, M.E. Trofimov, E.N. Lenets
(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

Cs-137 and Pb-210 in the Sediment Cores of the Sea of Azov as the Indicators of Sedimentation Chronology

В летне-осенний период 2006 г. проведена серия комплексных экспедиционных исследований в российской части Азовского моря. Впервые для рассматриваемой акватории на семи станциях были отобраны и послойно опробованы колонки донных отложений мощностью от 20 до 100 см для изучения распределения радионуклидов цезия-137 и свинца-210, оценки скорости осадконакопления, а также определения нижней границы осадочного слоя, сформировавшегося в условиях активного техногенного воздействия [1, 2]. Ранее эта проблема уже рассматривалась в работе [3] на примере ртутного загрязнения Азовского моря. Станции отбора проб располагались в районах с различными условиями осадконакопления: в Таганрогском заливе (центральной и западной его частях), центральной части Азовского моря, Керченском проливе, устьевых областях Дона и Кубани, а также в бессточном солоноватом озере Пеленкино. В общей сложности были отобраны 44 пробы донных отложений. Их анализ выполнялся гамма-спектрометрическим методом в Центре радиационной экологии и технологии Южного федерального университета.

По разрезу донных отложений повсеместно наблюдается закономерное снижение активности ^{137}Cs с глубиной, причём в нижних слоях отобранных колонок она падает ниже предела обнаружения, что свидетельствует об их образовании до начала испытаний термоядерного оружия, т.е. до 1950-х гг.

На всех станциях на глубине до 10 см достаточно четко прослеживается основной пик активности ^{137}Cs , связанный с атмосферными выпадениями вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. В глубоководной части Азовского моря, в условиях, наиболее благоприятных для осадконакопления, этот пик расположен в слое 5–10 см. Таким образом, средняя скорость седиментации в этом районе за последние два десятилетия составляет примерно 0,3–0,5 см/год. В западной части Таганрогского залива, вблизи косы Долгой, этот показатель понижается до 0,2–0,3 см/год, а в центре залива, где для проверки результатов колонки донных отложений отбирались дважды – в июле и сентябре – не превышает 0,2 см/год. Здесь, несмотря на близость источников поступления взвеси, в силу мелководности большую роль играют процессы взмучивания и выноса осадочного материала. В устьевых областях Дона и Кубани чернобыльский пик активности цезия-137 отмечен

на глубинах 5–10 и 3–4 см соответственно, что свидетельствует о скорости седиментации на уровне 0,2–0,5 см/год. Максимальные значения этого показателя – 0,8–1,0 см/год – получены для бессточного солоноватого оз. Пеленкино, расположенного в междуречье Дона и Кагальника, что объясняется активной аккумуляцией органического ила, обогащенного растительными остатками.

На некоторых станциях в более глубоких слоях донных отложений отмечен второй, на порядок менее значительный пик активности цезия-137, связанный с его глобальными выпадениями в конце 1950-х – начале 1960-х гг., в период активного проведения испытаний термоядерного оружия в атмосфере. Наиболее отчетливо он выражен в колонке, отобранной в Керченском предпроливье, и расположен в слое 40–55 см. Оценивая среднюю за последние полвека скорость седиментации по этим данным, получаем примерно 0,9–1,2 см/год. На других станциях второй пик активности цезия-137 является более сглаженным и, по сути, сливается с первым. По нему скорость осадконакопления оценивается величинами порядка 0,4–0,5 см/год, что вдвое превышает оценки по чернобыльскому пику. Такое расхождение может объясняться реальным снижением объемов поступления терригенного материала на акваторию Азовского моря из-за уменьшения повторяемости и масштабов пыльных бурь и сокращения твердого стока рек.

Наряду с искусственным радионуклидом цезием-137, в пробах донных отложений определялась активность природного радиоактивного изотопа свинца-210. Выделив активность так называемого избыточного свинца-210, поступающего в донные отложения из атмосферы, и проанализировав ее изменение с глубиной, можно оценить скорость седиментации. Этот метод наиболее применим для датировки донных отложений водоёмов с постоянной скоростью осадконакопления, в которых активность избыточного ^{210}Pb падает с глубиной по экспоненте, причем тем быстрее, чем меньше скорость накопления осадочного материала.

Большое разнообразие источников поступления изотопа и непостоянство динамики седиментационного процесса осложняют использование рассматриваемого метода в отношении Азовского моря. Ожидаемое экспоненциальное снижение активности ^{210}Pb в толще донных отложений с глубиной наблюдалось только в озере Пеленкино. Для него по этому показателю средняя за последние 30 лет скорость осадконакопления составляет около 1,8 см/год. На остальных станциях активность свинца-210 уменьшалась с глубиной достаточно медленно и нерегулярно, а в нижних слоях больших колонок даже несколько увеличивалась, что обусловлено искажающим влиянием процесса распада содержащегося в донных отложениях ^{226}Ra . Применяя методы математической статистики, нам удалось устранить это влияние и с большой достоверностью аппроксимировать графики вертикального распределения активности избыточного ^{210}Pb в наиболее репрезентативных колонках суммой экспонент, одна из которых возрастает, а другая –

убывает с глубиной. По убывающей экспоненте получены скорости осадконакопления, близкие к рассчитанным по цезию-137 (0,2 см/год для Таганрогского залива и 0,4 см/год для Керченского предпроливья).

Результаты определения вертикальных потоков взвешенного вещества с использованием седиментационных ловушек подтвердили приведенные выше оценки для восточной и северо-восточной частей Азовского моря (0,2–0,3 см/год). В то же время, в мелководном Таганрогском заливе поток осаждающейся взвеси на два порядка превышает рассчитанные нами скорости осадконакопления, что объясняется регулярным взмучиванием и перетолжением осадочного материала. Применение двух радиоизотопных методов позволило выделить слой донных отложений, сформировавшийся в условиях интенсивного техногенного воздействия. На обследованных станциях в Азовском море и устьевых областях Дона и Кубани его мощность изменяется от 20 до 40 см.

В целом сделанные выводы хорошо согласуются с полученными ранее результатами [3,4].

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» проект НШ-4717.2006.5 (Госконтракт № 02.515.11.50.49) и грантов РФФИ (проекты 06-05-22001, 06-05-64504).

1. Федоров Ю.А., Сапожников В.В., Агатова А.И. и др. Комплексные экосистемные исследования в российской части Азовского моря (18–25 июля 2006 г.) // Океанология. 2007. Т. 47. № 2. С. 316–319.

2. Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Давыдов М.Г., Трофимов М.Е., Ленец Е.Н. Цезий-137 в воде и донных отложениях (по результатам экспедиции «Азовское море – 2006») // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Спецвыпуск «Науки о Земле». 2007. С. 26–31.

3. Федоров Ю.А., Хансигарова Н.М., Березан О.А. Об особенностях распределения и поведения ртути в донных отложениях нижнего течения р. Дон и Таганрогского залива // Известия высших учебных заведений. Естественные науки. 2001. № 3. С. 76–81.

4. Панов Д.Г., Спичак М.К. Скорость осадконакопления в Азовском море. // Докл. АН СССР. 1961. Т. 137. №5. С. 1212–1213.

The distribution of the ^{137}Cs and ^{210}Pb activity in the sediment cores of the Sea of Azov is analyzed. The sedimentation rates are estimated and compared with data obtained by the method of sedimentation traps. The thickness of the sediment layer formed under the intensive technogenic influence is determined.

В.А. Чечко, В.Ю. Курченко

(Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Калининград. E-mail: che-chko@mail.ru)

**Об организации постоянных наблюдений (мониторинга) за
трансграничными потоками аэрозолей на Вислинской косе
(Балтийское море)**

V.A. Chechko, V.Y. Kurchenko

(Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad)

**Organization of continuous observations (monitoring)
of transborder aerosol fluxes at the Vistula Spit (the Baltic Sea)**

Изучение аэрозолей (взвешенных в воздухе частиц минерального, растительного и техногенного генезиса) в последние годы привлекает внимание все большего числа исследователей. Показано [1, 2, 3, 4, 5, 6], что аэрозоли являются источником разнообразных антропогенных загрязнений, поступающих воздушным путем, они оказывают влияние на качество воздуха, формирование условий среды и являются важным климатообразующим фактором. Данные о величинах вертикальных потоков аэрозолей крайне важны при изучении режима выпадения антропогенных загрязнений и, очевидно, в будущем станут основой для экологических исследований и мониторинга [3].

В последнее время сотрудниками Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (АО ИО РАН) активно развиваются научные исследования, касающиеся сбора и изучения аэрозолей в юго-восточной части Балтийского моря, включающей территорию Вислинской (Балтийской) косы, Вислинского залива и прибрежной зоны Самбийского полуострова (Калининградская область). Горизонтальный перенос аэрозолей изучается преимущественно сетевым методом, вертикальные потоки аэрозольного материала на водную поверхность залива и прибрежной зоны моря в летний период – при помощи оригинальной плавающей ловушки. Вислинский залив, являющийся второй по размерам лагуной бассейна Балтийского моря с площадью водного зеркала 838 км², в отличие от прилегающей акватории моря – замерзающий водный объект, что дает возможность определения вертикальных потоков в период ледостава путем изучения снежного покрова.

Данные исследования выполняются в порядке инициативных программ лаборатории прибрежных систем при поддержке ФЦП «Мировой океан» и являются в некотором роде «пионерскими», так как ранее здесь практически не проводились. Сравнение первых полученных результатов с литературными данными показывает, что они отражают вполне реальные характеристики аэрозольного материала, оседающего в прибрежной зоне юго-восточной Балтики. Значения вертикальных потоков аэрозолей в этом районе за-

нимают промежуточное положение между значениями потоков в южных регионах и арктических условиях (табл. 1).

Таблица 1. Величины вертикальных потоков аэрозолей, характерные для различных климатических условий

Район	Величина вертикальных потоков аэрозолей	Литературный источник
Дельта Волги, 3,5 км от берега	200–450 г/м ² /год	[7]
Северный Каспий	109 г/м ² /год	[8]
Вислинский залив, лето	12 г/ м ² /год	[9]
Вислинский залив, зима	5,7 г/ м ² /год	[9]
Российская Арктика	0,3 г/м ² /год	[3]

Между тем, географическое положение Калининградской области предоставляет к организации здесь регулярных комплексных наблюдений за потоками аэрозолей, результаты которых могут иметь важное научное и практическое значение, далеко выходящее за региональные рамки. Это обусловлено тем, что над территорией области (являющейся самым западным регионом России) большую часть года господствуют ветры западных румбов с высокими скоростями, т.е., она находится на пути трансграничного переноса аэрозолей (и, следовательно, сопутствующих загрязняющих веществ) из стран Европы на территорию России. Определение основных направлений переноса аэрозолей и их химического состава даст возможность выявить основные страны – источники поступления загрязнений как в бассейн Балтийского моря, так и на территорию России.

Уникальной природной лабораторией для наблюдений за трансграничными потоками аэрозолей и изучением их количественного, вещественного и химического составов может стать Вислинская (Балтийская) коса, расположенная в западном секторе области между Балтийским морем и Вислинским заливом. Для нее характерен высокий песчаный морской берег, открытый для западных ветров и полное отсутствие каких-либо промышленных предприятий. На косе имеется несколько высотных сооружений (вышки и башни от 22 до 40 м), которые можно использовать в качестве основы для установки на них приборов при оценке вертикальной структуры воздушных потоков. Несомненно, важнейшим позитивным фактором является наличие на косе научной базы АО ИО РАН с реальной возможностью оборудования на ней лабораторных помещений по обработке собранного аэрозольного материала.

Таким образом, начатые исследования аэрозолей на западе России заслуживают, на наш взгляд, самого пристального внимания и материальной поддержки, что, в свою очередь, позволит со временем превратить их в систему комплексных круглосуточных и круглогодичных наблюдений (мони-

торинга) на базе современного научного центра в рамках общероссийской национальной программы «Аэрозоли России».

1. *Barrie L.A.* Arctic air pollution: an overview of current knowledge // *Atmos. Environ.* 1986. Vol. 20. № 4. P. 643–663.

2. *Brimblecombe P.* Air composition and chemistry. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1996. 253 p.

3. *Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А. и др.* Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований // *Оптика атмосферы и океана.* 2000. Т. 13. № 6/7. С. 551–575.

4. *Виноградова А.А.* Многолетние изменения в процессах загрязнения арктической атмосферы // *Известия РАН, физика атмосферы и океана.* 2003. Т. 39. № 6. С. 799–808.

5. *Кондратьев К.Я.* Атмосферный аэрозоль как климатообразующий компонент атмосферы. 1. Свойства аэрозоля различных типов // *Оптика атмосферы и океана.* 2004. Т. 17. № 1. С. 5–24.

6. *Шевченко В.П.* Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.

7. *Бруевич С.В., Гудков М.П.* Атмосферная пыль над Каспийским морем (к вопросу о морском осадкообразовании) // *Известия АН СССР, сер. географ.* 1954. № 4. С. 18–28.

8. *Хрипунов И.А.* Роль эоловой аккумуляции в донных отложениях северного Каспия // *Труды ВНИРО.* 1974. Т. 101. С. 32–35.

9. *Чечко В.А.* Процессы современного осадкообразования в Вислинском заливе Балтийского моря / Автореферат дис. канд. геол.-минер. наук. Калининград, 2006. 24 с.

Vistula Spit (the Baltic Sea) is convenient place for organization of regular aerosol studies. Here it is possible to reveal peculiarities of transborder western aerosol fluxes.

В.А. Чудаева¹, О.В. Чудаев², С.Г. Юрченко¹

(¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток,
e-mail: Valchud@hotmail.com; ²Дальневосточный геологический институт
ДВО РАН, Владивосток, e-mail: Olegchud@hotmail.com)

**Концентрации и вынос микроэлементов с речным стоком
в Японское море с территории Приморья**

V.A. Chudaeva¹, O.V. Chudaev², S.G. Yurchenko¹

(¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток;
²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток)

**Concentrations and flux of microelements to the Sea of Japan
from Primorye rivers**

Состав воды и осадков Японское море формируется во многом благодаря поступлению материала с Российской территории, Японии, Северной и Южной Кореи. Российская континентальная часть водосбора составляет около 120 тыс. км². Реки в основном небольшие. Расчет выноса растворенного и твердого материала, в том числе микроэлементов, проводился нами ранее на основании многолетних данных Гидрометслужбы и собственных исследований. В данном случае уровни микроэлементов в растворенной и взвешенной форме, их соотношения и расчет выноса в прибрежную акваторию Японского моря оцениваются на основании двух опробований 2005–2006 гг., проведенных на реках водосбора в период низкой воды и весеннего подъема.

Пробы фильтровались на месте отбора (0,45 мкм), там же определяли рН, НСО₃, кондуктивность. Определение основных ионов проводили колориметрически и ионной хроматографией. Фильтры со взвесью растворяли в смеси сильных кислот для последующего определения химических элементов. Микроэлементы определяли методом ICP-MS.

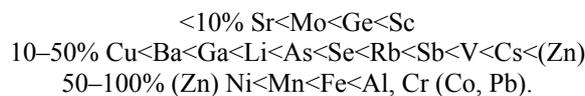
В пределах водосбора Японского моря были отдельно рассмотрены и сопоставлены уровни элементов рек водосбора Амурского и Уссурийского заливов, Восточного Сихотэ-Алиня, а также выделены реки Раздольная, как одна их наиболее крупных рек; р. Рудная, состав воды которой во многом определяется находящимися на водосборе горнодобывающими и перерабатывающими предприятиями и небольшие водотоки в пределах городов, сильно загрязненные бытовыми стоками. Расчет выноса микроэлементов складывался из расчета для этих особых участков и затем суммировался.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Величина рН речных вод близка к нейтральной. Воды гидрокарбонатно-кальциевые или со смещенным катионным составом. Содержание микроэлементов в разных реках изменялось в несколько раз в течение рассмотренного периода. Растворенные содержания элементов в целом уменьшались в ряду (мкг/л): Al, Sr (>50) > Fe (50–10) > Ba, Mn, Zn (10–1) > Ga, Sc, Cu, Li, As, Mo, Rb, V, Ni, Se, Sb, Y (1–0,1) > Cs, Cr, Cd (<0,1).

Для многих элементов не установлено четкой зависимости от уровня водности, но для Ga, As, Rb, Sr, Ba для всех рек отмечено уменьшение содержания в период повышенной водности реки.

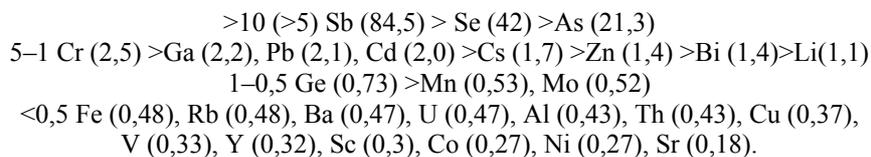
Больших различий в содержаниях отдельных микроэлементов в пределах рассмотренных в Приморье сравнительно чистых водотоков не найдено. Вместе с тем, в пределах городов (Владивосток, Уссурийск), а также в р. Рудной (нижний створ) наблюдается существенное увеличение содержания почти всех изученных элементов (Sr, Ba, Li, Rb, Cs, Ga, Mo, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Sb, Se, а в пределах городов Владивостока и Уссурийска – Cr, V. В р. Раздольной, куда поступают стоки с г. Уссурийска, к нижнему створу содержания элементов значительно понижаются благодаря большим объемам разбавления впадающими ниже притоками. Здесь отмечается заметно более высокие содержания Sr, Ba, Li, Rb, Ga, V, Fe, Co, Ni, Cu, Zn по отношению к рекам «условно чистым».

Соотношение растворенной и взвешенной формы элементов зависит от мутности воды, и соответственно, роль взвешенной формы в период подъема воды была больше, чем в период низкой водности рек. Вместе с тем отмечена четкая зависимость в соотношениях взвешенной и растворенной формы элементов, обусловленная химическими особенностями элементов. На основании данных по «условно-чистым водам» можно все элементы ранжировать в ряды по увеличению доли твердого вещества в их миграции:



В водах загрязненных (городские водотоки, р. Рудная) отмечается увеличение доли взвешенной формы Cs, V, Bi, Y, Th, но уменьшение Mn (благодаря уменьшению кислорода), Sb, Se а в р. Рудной – Zn, Li за счет значительного увеличения их растворенных концентраций.

Накопление элементов различно по отношению к среднему содержанию в земной коре. Если для сравнения использовать средние значения элементов во взвеси относительно чистых рек, то отношения *речная взвесь/литосфера* в нашем случае будут выглядеть следующим образом:



На основании полученных результатов был рассчитан вынос отдельных микроэлементов (табл. 1) в Японское море, суммированный для отдельных участков, указанных выше.

Таблица 1. Вынос элементов с Приморья в Японское море, т/год

элемент	раствор	взвесь	элемент	раствор	взвесь
Sr	2623	87,8	Co	1,2	9,2
Ba	360	308	Ni	9,9	29,7
Li	45,5	34,5	Cu	24,3	40,3
Rb	18,0	64,7	Zn	90,8	210
Cs	0,9	9,0	Cd	0,6	1,0
Al	671	43,5*	Pb	0,5	51,6
Sc	26,7	9,2	Bi	0,6	0,5
Ga	38,4	48,9	Ge	3,8	2,2
Cr	1,7	410	As	37,5	69,0
V	7,9	63,1	Sb	6,4	27,7
Mo	15,1	1,4	Y	4,9	15,5
Mn	56,2	844	Se	7,4	3,1
Fe	1256	31,4*	Th	5,2	6,9

* 10³ т/год

Работы выполнялись при финансовой поддержке проекта Президиума ДВО РАН (06-1-ОНЗ-117).

The levels of microelements in dissolved and suspended material were estimated in the continental Russian rivers within the catchment of the Sea of Japan. The role of the suspended fraction varied from <10% to >90% with minimal values for Sr and maximum values for Fe, Al, Cr. The concentration of many elements in suspended material is significantly different from concentrations in the crust, including both higher (>10 times) and lower (<0,2). The flux of microelements to the Sea of Japan, including dissolved and suspended forms, consists of (t/y) Ba – 670, Li – 80, Rb – 82, Cs – 10, Sc – 36, Ga – 90, Cr – 400, V – 70, Mo – 17, Mn – 900, Co – 10, Ni – 40, Cu – 65, Zn – 300, Cd – 1,5, Pb–Bi – 52, Ge – 6, As – 107, Sb – 34, Y – 20, Se – 10, and (10³ t/y) Fe – 32, Al – 44, Sr – 2,7.

В.П. Шевченко, А.П. Лисицын

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

Эоловый и ледовый перенос и потоки вещества в Арктике

V.P. Shevchenko, A.P. Lisitzin

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

**Aeolian and ice transport and fluxes of sedimentary matter
in the Arctic**

Арктика оказывает огромное влияние на природную среду Земли. Очень хрупкое равновесие между ее физическими, химическими и экологическими параметрами (зависящими от низких скоростей восстановления биологических ресурсов) делает Арктику индикатором глобальных изменений. Традиционно речной сток считают главным геохимическим путем поставки терригенных и антропогенных соединений от источников в морскую среду, но существует много данных, показывающих, что атмосферный и ледовый перенос являются важными путями поставки вещества в моря и океаны, в том числе в Северный Ледовитый океан, его моря и водосборный бассейн [1–11].

В 1991–2007 гг. сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН совместно с коллегами из многих российских и зарубежных организаций проводили специальные исследования аэрозолей, снега и льдов Арктики и их влияния на состояние окружающей среды и процессы морского осадконакопления. Результаты этих исследований частично опубликованы [4–7, 11]. В период Международного полярного года 2007–2008 гг. авторы руководят проектом МПГ № 323 "Исследование эолового и ледового переноса и потоков вещества (включая экотоксиканты) в Арктике". Целью данного проекта является дальнейшее системное исследование аэрозолей, снега и льдов Арктики и оценка их реального влияния на климат, осадконакопление и загрязнение шельфовых морей Российской Арктики и центральной части Северного Ледовитого океана.

В ходе аэрозольных исследований изучается гранулометрический состав аэрозолей в диапазоне от 0,005 до 10 мкм с помощью счетчиков разных видов, вещественный состав (микроскопия), минеральный состав, элементный состав (нейтронно-активационный, атомно-абсорбционный, рентгено-флюоресцентный анализы, ICP-MS), изотопный состав углерода, концентрации ⁷Be, свойства и закономерностей пространственно-временной изменчивости характеристик аэрозольной компоненты прозрачности атмосферы, процессы формирования полей и потоков приходящей радиации, влияние различных факторов на радиационный режим, обратные траектории переноса воздушных масс и ледового дрейфа, загрязнения (тяжелые металлы, углеводороды и др.).

Исследование многоэлементного состава лишайников, мхов и кернов торфяников верховых болот выполняются с целью оценки поставки веществ

ва из атмосферы (включая экотоксиканты) [6, 8]. В ходе исследования снега изучают растворенную фазу, нерастворимые частицы (теми же методами, что и аэрозоли), потоки эолового вещества со снегом.

В ходе этих исследований использованы новые подходы и методы с максимальным привлечением современных дистанционных методов (спутники), методов изучения микро- и наночастиц, природных самописцев на суше (в бассейне водосбора), в толще вод и донных осадков. Исследование ведется на количественном уровне с определением потоков вещества в $\text{мг м}^{-2} \text{год}^{-1}$ в четырехмерной системе (три координаты в пространстве и время), системно. Подготовка к проведению данных работ в Центральной Арктике проводится в Белом море с 2000 г. по настоящее время.

Будет выполнена оценка поставки биогенных элементов и железа в Северный Ледовитый океан эоловым путем и с дрейфующими льдами и их влияния на продуктивность микроводорослей. Исследуются на количественном уровне вертикальные потоки осадочного вещества (краткосрочные и длительные постановки седиментационных ловушек с дрейфующих льдин и круглогодичные постановки ловушек со сменными стаканами), что дает ин- ситные данные о ходе природных процессов.

Применение нескольких взаимно дополняющих методов исследования аэрозолей и снега на поверхности льдов и в снежниках позволило использовать эти природные самописцы для определения количественного содержания и потоков аэрозольного материала в Арктике вплоть до Северного полюса, его гранулометрический, минеральный и химический состав, впервые определить потоки отдельных видов загрязнений и районы их поступления и разгрузки. Выявлены и применены многочисленные новые маркеры аэрозольного материала, использование которых позволяет определить как области его захвата с поверхности, так и траектории переноса и участки отложения на лед и разгрузки при таянии льдов (депоцентры).

Коренным отличием эолового материала в Арктике является то, что главная его поставка и разгрузка идут не летом, а зимой, когда поверхность питающих провинций скрыта слоем снега и скована льдом. В это время главное значение приобретают аэрозоли и загрязнения дальнего и сверхдальнего происхождения (особенно зимой) – об этом свидетельствуют многочисленные маркеры (минералы, отношения химических элементов, биомаркеры) [6]. Осаждение аэрозолей в Арктических морях и в Центральной Арктике идет не на водную поверхность, как в других зонах, а на поверхность льдов. В зоне паковых льдов круглогодичная аккумуляция эолового материала на льдах идет на протяжении 3–15 лет. Разгрузка аэрозолей паковых льдов идет в местах таяния льдов – в северной части Гренландского моря – именно здесь выявляется наибольшее их поступление в донные осадки.

Балансные подсчеты, полученные на основе наших определений, показывают, что вклад аэрозолей в формирование осадочного материала в Арктике близок к вкладу речного осадочного вещества – за пределами марги-

нальных фильтров рек. Это принципиально важно, поскольку ранее эоловый материал в Арктике не принимался в расчет. Для многих элементов (Pb, Sb, Se, V и др.) аэрозольный источник – главный. В целом для Северного Ледовитого океана (пелагиаль) вклад аэрозолей в осадкообразование составляет примерно 10–15% по нашим данным. Велика роль эолового материала в поставке органического вещества и биогенных элементов в Северный Ледовитый океан.

Потепление климата в целом должно уменьшать роль атмосферного канала в загрязнении Арктики. При этом все большее количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу в крупных промышленных регионах, будет осаждаться на поверхность, не доходя до самых северных областей, загрязняя почву и водные объекты в среднеширотных и приарктических районах.

Наряду с всесторонним изучением эолового материала из атмосферы, крайне необходимы также систематические исследования литологии и геохимии снежного покрова (в Центральной Арктике он удерживается 9–10 мес.) – естественного коллектора как растворенного, так и взвешенного эолового материала. Необходимы также соответствующие исследования по литологии и геохимии морских льдов, на поверхность которых выпадает, и где концентрируется эоловый материал.

Морской лед всегда содержит некоторое количество взвешенных веществ (криозолей), но визуально загрязнение льда отмечается при содержании взвеси более 10 мг/л. За последние 25 лет были проведены специальные исследования количества и состава криозолей как на поверхности льда, так и в кернах бурения льдин [10]. С 1995 г. мы подключились к исследованию криозолей Центральной Арктики и проводим такие исследования совместно с немецкими коллегами с борта НИС “Полярштерн”. Проводятся сравнительные исследования морского льда и осадочного материала на дрейфующих льдах (“грязного льда”) – изучение гранулометрического, минерального, химического состава осадочного материала, состава микроводорослей и их остатков, изучение кернов льда на дрейфующих льдинах и сопоставление результатов работ с данными по льдам на островах. Показано, что наибольшие количества осадочного вещества приурочены, как правило, к верхним слоям ледовой толщи. Верхние слои образуются при первичном замерзании льда, т.е. в начале дрейфа ледового поля, нижние самые молодые. Вторым важным компонентом осадочного вещества верхнего слоя льдов является эоловый материал, накапливающийся в снеге. Летом снег стает почти полностью, отдавая осадочный материал в озера-снежницы, где он смешивается с осадочным веществом талого льда. На их дне в понижениях идет смешение осадочного вещества ранних этапов существования льда (криогенного) и эолового материала. Образуются пятна и полосы криогенно-эолового вещества (“грязный лед”).

Кроме осадочного вещества, захваченного при образовании льда, в арктические моря и Центральную Арктику поступает осадочный материал в

составе речного льда, выносимого в море во время весеннего паводка, и айсбергов, откалывающихся от ледников на суше.

Осадочный материал во льдах дельты Северной Двины регулярно изучается нами, начиная с 2003 г. [12]. Концентрация криозолей в речном льду здесь варьирует в большом диапазоне – от 1 до более 50 мг/л. При этом обычно значительно более высокие концентрации частиц отмечаются в верхних частях кернов, лед в которых образовался из перекристаллизованного снега.

В августе–сентябре 2001 г. во время экспедиции “AMORE-2001” с борта НИС “Полярштерн” в районе хребта Гаккеля нами было обнаружено аномально большое количество айсбергов, 6 из них было обследовано с помощью вертолета [13]. На всех этих айсбергах отобран осадочный материал пелитовой, алевроитовой и песчаной фракций. На трех айсбергах были обнаружены обломки горных пород. Результаты проведенных лабораторных исследований показывают, что наиболее вероятным источником айсбергов, изученных нами, являются острова архипелага Северная Земля.

Весь осадочный материал, включая загрязняющие вещества, фиксируется в толще донных осадков – уникальном природном самописце. Это не только подчеркивает необходимость одновременного изучения нановещества атмосферы, криосферы, литосферы и седиментосферы, но и дает замечательную возможность изучения вещества в этих геосферах во времени, т.е. открывает век четырехмерных (4-D) исследований природной среды и климата. Соответствующие исследования начаты нами в последние годы.

Авторы благодарны всем коллегам, принимавшим участие в экспедиционных и лабораторных исследованиях аэрозолей, снега и льда Арктики. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 6 ФЦП «Мировой океан», проекта 4.4 Программы № 17 фундаментальных исследований Президиума РАН, Программы фундаментальных исследований № 16, часть 2 “Природные процессы в полярных областях Земли и их вероятное развитие в ближайшие десятилетия”, проекта “Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли”, грантов РФФИ №№ 05-05-65159, 06-05-64815 и 07-05-00691, гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2236.2006.5, госконтракта № 02.515.11.5053, российско-германской Лаборатории им. О.Ю. Шмидта.

1. *Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия. М.: Наука, 1978. 392 с.

2. *Лисицын А.П.* Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.

3. *Barrie L.A.* Occurrences and trends of pollution in the Arctic troposphere // Chemical exchange between the atmosphere and polar snow. Berlin, Heidelberg: Springer, 1996. P. 93–129.

4. *Лисицын А.П.* Нерешенные проблемы океанологии Арктики // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный мир, 2001. С. 31–74.
5. *Виноградова А.А.* Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана. Дисс. ... докт. геогр. наук. М., 2004. 217 с.
6. *Шевченко В.П.* Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
7. *Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А. и др.* Аэрозоли Арктики и их влияние на окружающую среду // Аэрозоли Сибири. Отв. ред. К.П. Куценогий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. С. 148–184.
8. *Шевченко В.П., Гордеев В.В., Демина Л.Л. и др.* Элементный состав лишайников как индикатор эоловых потоков // Геохимия биосферы. Докл. Межд. научн. конф. Смоленск: Ойкумена, 2006. С. 387–389.
9. *Stein R., Macdonald R.W.* (eds.). The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean. Berlin: Springer, 2004. 363 p.
10. *Nürnberg D., Wollenburg I., Dethleff D. et al.* Sediments in Arctic sea ice – entrainment, transport and release // Marine Geology. 1994. V. 119. P. 185–214.
11. *Lisitzin A.P.* Sea-ice and Iceberg Sedimentation in the Ocean: Recent and Past. Berlin: Springer, 2002. 563 p.
12. *Шевченко В.П., Филиппов А.С., Богунов А.Ю. и др.* Геохимические исследования взвеси в маргинальном фильтре р. Северная Двина в конце зимнего периода // Вестник Архангельского государственного технического университета. 2007 (в печати).
13. *Шевченко В.П., Лисицын А.П., Харин Г.С. и др.* Перенос осадочного материала в Центральной Арктике айсбергами // Геология морей и океанов. Тез. докл. XV Междунар. Школы морской геологии. Т. I. М.: ГЕОС, 2003. С. 63–64.

Aeolian and ice transport and fluxes of sedimentary matter in the Arctic plays an important role in the geochemical cycles of many chemical elements. In our presentation we give the review of knowledge on these processes in the Arctic Ocean and discuss plans for future studies in the frame of International Polar Year 2007–2008.

Jörn Thiede

(Alfred-Wegener-Institute for Polar and Marine Sciences, Bremerhaven, Germany)

German Marine Geosciences during the 4th International Polar Year

The research icebreaker POLARSTERN has been a highly valuable asset with many important contributions to the geoscientific properties of the polar seas both on the southern as well as on the northern hemisphere over the past 25 years. As part of the international research geoscientific programs of the 4th International Polar Year she will contribute to studies of the distributions of deep-water corals off Norway, of the hydrothermal activities over the Gakkel Ridge in the eastern Arctic Ocean and Quaternary paleoenvironmental changes in the Eurasian shelf seas and the adjacent Arctic deep-sea basins. In the Southern Ocean geophysical studies have resolved many new aspects of the early opening of the South Atlantic and the Atlantic segment of the Southern oceans. Sediment cores have provided samples documenting the late Quaternary fluctuations of the Antarctic ice sheet. Long-term prospects of German marine geoscientific research aim at the perennial deployment of the POLARSTERN in the Southern Ocean with visits of its segments to the South of the Indian and Pacific oceans, whilst planning is going ahead for the construction of a novel research ice-breaker for the central Arctic with all-season and drilling capabilities (the AURORA BOREALIS project promoted under the auspices of the European Polar Board of the European Science Foundation). This new ship will be the most efficient marine polar research platform ever constructed; it will be equipped to carry out deep-sea drilling in ice-infested polar oceans during summer months with optimal ice conditions and it will be able to serve all other marine polar research disciplines during the entire year. The efficiency of such a vessel will require the formation of an international consortium of countries and it is hoped that Russia will play an active role in the development of this new ship.

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ В МОРЯХ
И ОКЕАНАХ**

Е.В. Бекетов^{1,2}, Т.В. Матвеева¹, Л.Л. Мазуренко¹

Х. Шоджи³, Х. Минами³, Я.К. Джин⁴, Е.А. Логвина^{1,2}

(¹ВНИИОкеангеология, e-mail: beketovv@yandex.ru, Английский пр., 1, 190121,

Санкт-Петербург; ²СПбГУ, Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург;

³Технологический институт, 165 Коэн-че, 090-8507, Китами, Япония;

⁴Институт Полярных Исследований, Юнсу-ку Инчон, 406-840, Корея)

**Некоторые особенности состава поровых вод из отложений
газогидратоносных очагов разгрузки флюидов в северо-
западной части впадины Дерюгина**

(результаты экспедиции 2006 по проекту CHAOS III)

E.V. Beketov^{1,2}, T.V. Matveeva¹, L.L. Mazurenko¹, H. Shoji³,

H. Minami³, Y.K. Jin⁴, E.A. Logvina^{1,2}

(¹VNIIOkeangeologia, 1, Angliyskiy pr., 190121, St.Petersburg, ²St-Petersburg State

University, Univesitetskaya nab, 7/9, ³Kitami Institute of Technology, (KIT),

165 Koen-cho, 090-8507, Kitami, Japan, ⁴Korea Polar Research Institute (KOPRI),

Yunsu-ku Incheon, 406-840, Korea)

**Some features in composition of sediment-pore waters from
hydrate-bearing seepage structures at the Deriugin Basin
(results from 2006 expedition in the frame of CHAOS III project)**

Северо-западная часть впадины Дерюгина (прибрежье о.Сахалин) характеризуется широким распространением очагов разгрузки флюидов на морском дне [1]. В ходе рейсов по международной программе CHAOS (Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea) в 2003–2006 был обнаружен и исследован ряд очагов разгрузки флюидов; в отложениях десяти из них были обнаружены газовые гидраты [2, 3]. Есть основания полагать, что отложения всех обнаруженных в данном районе очагов разгрузки газа являются потенциально газогидратоносными [4]. В ходе 39-го рейса на НИС «Академик Лаврентьев» по программе «CHAOS III» в районе исследований были обнаружены три новые очага разгрузки газа, названные Соловьев (LV39-25Н), Елизавета (LV39-36Н), Наташа (LV39-37Н) [5]; продолжились исследования газогидратоносной структуры ПОИ (LV39-39Н, LV39-40Н) обнаруженной ранее [6]. В отложениях структур Соловьев (кern LV39-25Н) и ПОИ (кern LV39-40Н) были вскрыты газовые гидраты в интервалах 160-280 и 170–260 см поддонных глубин, соответственно. Подошва гидратосодержащих отложений не была вскрыта ни на одной станции. Сравнение данных по распределению ионов хлора по разрезу позволили выявить некоторые различия в составе поровых вод, отобранных из различных структур (рис. 1). В частности, распределение хлорности в газогидратоносном керне, отобранном на структуре Соловьев, характеризуется небольшим положительным трендом в газогидратоносном интервале, при отсутствии отрицательных аномалий хлорности, вызванных разложением гидратов в керне. Это

может являться следствием как минимального гидратосодержания, так и увеличением солености (остаточная соленость) в результате сегрегации поровой воды свободным газом в ходе образования гидратов. С другой стороны, увеличение содержания ионов хлора с глубиной может свидетельствовать о наличии подтока более соленой воды из нежележащих горизонтов, как это наблюдалось в кернах, отобранных на структуре Обжиров [7].

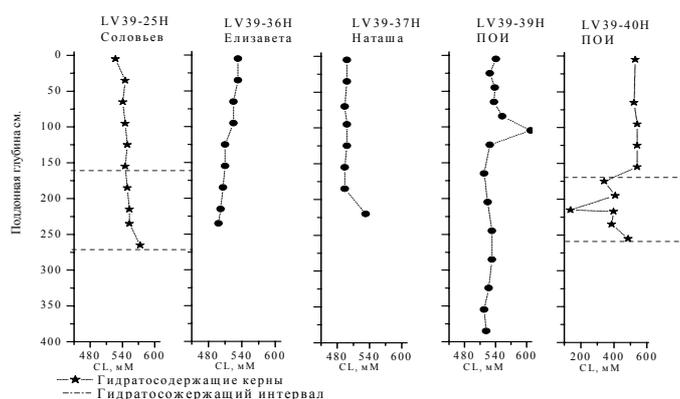


Рис. 1. Распределение ионов хлора по разрезу в разных структурах.

Небольшой отрицательный тренд в распределении ионов хлора с глубиной в поровом флюиде сипа Елизавета (LV39-36Н), может указывать на наличие локального очага разгрузки относительно более пресной воды (по сравнению с морской). Данные по распределению хлорности в поровой воде из структуры Наташа (LV39-37Н) свидетельствуют лишь о составе порового флюида с несколько пониженными (по сравнению с морской водой) содержанием солей в отложениях. Керна, отобранный на структуре ПОИ (LV39-40Н), характеризуется наличием закономерной отрицательной аномалий хлорности (и других консервативных элементов) в гидратоносном интервале, наряду с увеличением влажности, вызванных разложением гидрата в образце. Керна LV39-39Н оказался сильно газонасыщенным в пределах верхних 123 см. В этом же интервале наблюдается и значительная положительная аномалия хлорности. Вероятнее всего, этот керн был отобран не из центральной части сипа, а на его периферии - в пределах диффузионного ореола рассеяния газового потока. Положительная аномалия хлорности в данном случае может свидетельствовать о перераспределении порового флюида диффундирующим газом, приводящим к прераспределению в нем солей (содержание ионов Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} и Na^+ в этом интервале также повышены). Что подтверждается распределением влажности.

Распределение Ca^{2+} и SO_4^{2-} по разрезу всех станций характеризуется уменьшением их концентраций с глубиной, тогда как содержание HCO_3^- напротив увеличивается с глубиной, что, вероятно, объясняется осаждением аутигенных карбонатов в зоне сульфат-редукции из поровых растворов, вследствие окисления метана [8].

Керны, отобранные в пределах сипов Наташа и Елизавета, не выявили признаков сильной газонасыщенности и газогидратообразования в отложениях и характеризуются пониженными (относительно фоновых значений и, в некоторых случаях, ниже концентраций в морской воде) значениями таких элементов как хлор, калий и натрий. Вероятно, концентрации этих элементов в различных сипах связано с интенсивностью газовых выбросов и, возможно, с наличием локальных очагов разгрузки воды специфического состава. Газогидратообразование при данном сценарии не влияет на их концентрации, но в свою очередь, связано с интенсивностью подтока газа снизу.

Работа проделана при поддержке гранта РФФИ 05-05-66860-МФ.

1. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты ВНИИОкеангеология. С-Пб, 1994. 145 с.

2. Shoji H., Soloviev V., Matveeva T., Mazurenko L., Minami H., Hachikubo A., Sakagami H., Hyakutake K., Kaulio V. et al. Hydrate-Bearing Structures in the Sea of Okhotsk. EOS, 86(2). P. 13–24.

3. Matveeva T., Soloviev V., Shoji H., Obzhirov A. et al. Hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea (CHAOS Project Leg I and Leg II) Report of R/V Akademik M.A. Lavrentyev Cr. 31 and 32: VNIIOkeanгеология. SPb, 2005. 164 p.

4. Mazurenko L.L., Soloviev V.A., Jin Y.K., Shoji H., Obzhirov A.I., Matveeva T.V. et al. Resource potential of the gas hydrates accumulations off North Sakhalin (estimation based on the CHAOS project data). Proc. of 14th Int. Symp. on Polar Sc. May 15–17, 2007. Incheon, Korea.

5. Мазуренко Л.Л., Обжиров А., Джин Я., Логвина Е., Бекетов Е., Гладыш В., Саломатин А., Кида М., Смирнов Б., Сазонов А., Нишио С., Матвеева Т., Куликова М. Экспедиционные работы в Охотском море по изучению скоплений газовых гидратов (проект ХАОС-3). Экспедиционные исследования ВНИИОкеангеология в 2006 г. / Ред. Черкашев Г.А. СПб: ВНИИОкеангеология, 2007.

6. Hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea (CHAOS-II Project). Report of R/V Akademik M.A. Lavrentyev Cruise 36, Vladivostok – St.Petersburg, 2006. 127 p.

7. Matveeva T.V., Soloviev V.A., Wallmann K., Obshirov A., Biebow N., Port J., Salomatina A., Shoji H. Geochemistry of gas hydrate accumulation offshore NE Sakhalin island (the Sea of Okhotsk): results from the KOMEX-2002 cruise. Geo-Mar. Lett. (2003) 23. P. 278–288.

8. *Шишкина О.В.* Геохимия морских и океанических иловых вод. М.: Наука, 1972. 93 с.

The paper presents results of hydrogeochemical study of pore waters from hydrate-bearing and – free cores obtained at the Sea of Okhotsk within gas venting structures. The features in distribution of major constituents in the pore fluid from different seeps is discussed.

А.А. Богуш, Г.А. Леонова

(Институт геологии и минералогии СО РАН, e-mail: annakhol@uiggm.nsc.ru)

Формы нахождения химических элементов в неорганической подсистеме поверхностных вод эстуария реки Онега

A.A. Bogush, G.A. Leonova

(Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, e-mail: annakhol@uiggm.nsc.ru)

Chemical elements species into inorganic subsystem of estuarial surface waters of the Onega River

Принимая во внимание установленное океанологами свойство морского планктона накапливать широкий спектр химических элементов, планктон можно считать «индикатором» подвижных (растворимых) форм химических элементов в водной среде [1]. В этой связи нами были рассчитаны химические формы нахождения элементов в различных по солености и физико-химическим условиям водах реки Онеги и Онежского залива по продольному разрезу в пределах маргинального фильтра с помощью программ WATERQ4F [2] и «Селектор-С» [3]. Программа WATERQ4F позволяет определять химические формы элементов на фоне основного солевого состава и расчет индексов насыщения различных минеральных фаз. Программный комплекс «Селектор-С» позволяет рассчитывать равновесие в растворах с различной минерализацией. Поэтому совместное применение двух компьютерных программ не только дает вполне удовлетворительный по степени сходимости с химико-аналитическими данными результат. При расчетах в качестве исходной информации использовали солевой (табл. 1) и микроэлементный состав воды (табл. 2), а также вводили физико-химические параметры, такие как Eh, pH и содержание кислорода.

Результаты расчетов долевого распределения химических форм в водах Онежского залива Белого моря представлены в таблице 4. В целом, при повышении pH и солености вод в Онежском заливе по сравнению с водами р. Онеги происходит и изменение химических форм микроэлементов, что особенно ярко выражено у Cd и Cu. Кадмий в неорганической подсистеме реч-

Таблица 1. Концентрации главных ионов в р. Онега по и Белом море по [4].

Показатель	р. Онега [4]	Онежский залив [4]	Бассейн Белого моря [4]
Минер-я, мг/л	191	1490	26840
O ₂ , мг/л	6.44-11.46	7.46	7.7
pH	6.6-7.9	8.14	8.15
Ca ²⁺	32.4	20	300
Mg ²⁺	9.1	50	960
Na ⁺	4.6	450	7750
K ⁺	1	10	250
HCO ₃ ⁻	102	60	112
SO ₄ ²⁻	37.3	130	1980
Cl ⁻	5.1	750	14210

Таблица 2. Элементный состав воды Онежского залива Белого моря и р. Онега

Элемент	р. Онега	Онежский залив		
		Станция 9	Станция 11	Станция 18
B (мг/л)	0.476	3.3	3.3	0.0056
Ba (мг/л)	0.0112	0.0054	0.0058	0.0036
Sr (мг/л)	0.207	5.3	5.3	0.015
Ca (мг/л)	29.4	290.0	290.0	2.2
Mg (мг/л)	17.56	888.2	880.2	1.25
Na (мг/л)	69.7	7206	7183	4.9
K (мг/л)	3.47	300.6	299.9	0.99
Si (мг/л)	1.21	0.14	0.22	1.34
Li (мг/л)	0.007	0.13	0.13	0.003
Mn (мг/л)	0.072	0.003	0.004	0.039
Ti (мг/л)	0.02	0.01	0.01	0.01
Fe (мг/л)	1.05	0.17	0.12	0.52
Zn (мг/л)	0.0056	0.0051	0.0039	0.0062
Cu (мг/л)	0.0001	0.0021	0.001	0.0001
Cd (мг/л)	0.0001	0.007	0.0028	0.0001
Pb (мг/л)	0.0001	0.0058	0.0063	0.0001
Hg (мг/л)	0.00002	0.00007	0.00007	0.000025

Примечание: В, Ва, Sr, Ca, Mg, Na, K, Si, Li, Mn, Ti, Fe, Zn определены методом ИСП-АЭС (аналитик Л.Б. Трофимова); Cd, Pb, Hg – методом ААС (аналитик – Ж.О. Бадмаева) в Аналитическом центре ИГМ СО РАН.

ной воды мигрирует преимущественно в виде гидратированных ионов (аква-ионы), а в более соленых водах эстуарной зоны значительно повышается доля хлоридных комплексов на фоне еще достаточно высокой доли аква-

Таблица 4

Долевое (%) распределение элементов по основным химическим формам в неорганической подсистеме вод р. Онега и Онежском заливе Белого моря

Формы элементов	р. Онега	Онежский залив		Формы элементов	р. Онега	Онежский залив	
		ст. 11	ст. 9			ст. 11	ст. 9
Калий				Натрий			
K ⁺	99.84	99.54	99.54	Na ⁺	99.79	99.58	99.58
KHCO ₃	0	0	0	NaHCO ₃	0.08	0.04	0.04
KSO ₄ ⁻	0.16	0.46	0.46	NaSO ₄ ⁻	0.13	0.39	0.39
Кальций				Магний			
Ca ²⁺	94.95	92.59	92.59	Mg ²⁺	94.78	92.83	92.83
CaCO ₃ ⁰	0.07	0.19	0.19	MgCO ₃ ⁰	0.04	0.11	0.11
CaHCO ₃ ⁺	1.37	0.42	0.42	MgHCO ₃ ⁺	1.38	0.49	0.49
CaSO ₄ ⁰	3.61	6.8	6.8	MgSO ₄ ⁰	3.8	6.57	6.57
Барий				Стронций			
Ba ²⁺	90.01	82.95	82.95	Sr ²⁺	95.02	93.02	93.02
BaCO ₃ ⁰	0.02	0.05	0.05	SrCO ₃ ⁰	0.02	0.06	0.06
BaHCO ₃ ⁺	0.89	0.24	0.24	SrHCO ₃ ⁺	1.48	0.42	0.42
BaSO ₄ ⁰	9.08	16.77	16.77	SrSO ₄ ⁰	3.47	6.50	6.50
Медь				Свинец			
Cu ²⁺	17.64	0.77	0.77	Pb ²⁺	9.75	3.56	3.56
CuCO ₃ ⁰	43.44	5.80	5.80	PbCO ₃ ⁰	77.69	86.91	86.91
Cu(CO ₃) ₂ ²⁻	0.04	0.04	0.04	Pb(CO ₃) ₂ ²⁻	0.15	1.33	1.33
CuHCO ₃ ⁺	11.17	0.17	0.17	PbHCO ₃ ⁺	9.79	1.27	1.27
CuOH ⁺	1.38	0.49	0.49	PbOH ⁺	1.48	4.42	4.42
Cu(OH) ₂	25.64	92.65	92.65	PbSO ₄ ⁰	1.1	0.81	0.81
CuSO ₄ ⁰	0.69	0.06	0.06	PbCl ⁻	0.04	1.52	1.52
CuCl ⁻	0	0.02	0.02	PbCl ₂	0	0.07	0.07
CuCl ₂	0	0	0	PbCl ₃ ⁻	0	0	0
CuCl ₃ ⁻	0	0	0	PbCl ₄ ²⁻	0	0	0
Цинк				Кадмий			
Zn ²⁺	76.72	61.52	61.52	Cd ²⁺	90.33	37.73	37.73
ZnCO ₃ ⁰	7.02	17.25	17.25	CdHCO ₃ ⁺	3.61	0.04	0.04
Zn(CO ₃) ₂ ²⁻	0.12	2.24	2.24	CdSO ₄ ⁰	5.04	4.04	4.04
ZnHCO ₃ ⁺	12.21	3.47	3.47	CdCl ⁻	0.93	51.61	51.61
ZnOH ⁺	0.4	1.56	1.56	CdCl ₂	0	4.36	4.36
Zn(OH) ₂	0.07	4.47	4.47	CdCl ₃ ⁻	0	0.07	0.07
ZnSO ₄ ⁰	3.44	5.25	5.25	Железо			
ZnCl ⁻	0.02	1.38	1.38	Fe(OH) ₂ ⁺	53.57	12.54	12.54
ZnCl ₂	0	0.03	0.03	Fe(OH) ₃ ⁰	46.07	81.69	81.69
ZnCl ₃ ⁻	0	0	0	Fe(OH) ₄	0.33	5.77	5.77
ZnCl ₄ ²⁻	0	0	0				
ZnOHCl _{aq}	0	2.76	2.76				

ионов. Медь мигрирует в водах р. Онеги преимущественно в карбонатных формах, а в соленых водах Онежского залива резко возрастает доля гидроксидных форм. Изменение долевого соотношения форм других изученных микроэлементов при прохождении градиента солености вод тоже явно выражено, но не так контрастно.

1. Демина Л.Л. Формы миграции тяжелых металлов в океане. М.: Наука, 1982. 120 с.

2. *Ball J.W., Nordstrom D.K.* Users manual for WATERQ4f, with revised thermodynamic data base and rest cases for calculating speciation of major, trace, and redox elements in natural waters. California: Menlo Park, 1991. 189 p.

3. *Karpov I.K., Chudnenko K.V., Kulik D.A. and Bychinskii V.A.* The convex programming minimization of five thermodynamic potentials other than Gibbs energy in geochemical modeling // *American Journal of Science*, 2002. V. 302. N 4. P. 281–311.

4. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР*. Т. 1. Белое море. Вып. 2 / Проект «Моря СССР». Л.: Гидрометеоздат, 1991. 193 с.

In order to understand peculiarities of microelements concentrating by species in different aquatic ecosystems we calculated chemical state of the elements entry into brine of waters of the Onega River.

А.В. Вершинин, А.В. Егоров, А.Г. Розанов

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

**Потоки растворенных форм химических элементов
из донных осадков Гданьского залива Балтийского моря**

A.V. Vershinin, A.V. Egorov, A.G. Rozanov

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

**Fluxes of dissolved chemical forms from the sediments
of the Gulf of Gdansk of the Baltic Sea**

В 86-м рейсе НИС «Профессор Штокман» в Гданьском заливе Балтийского моря (май 2007 г.) для оценки химических потоков на границе водно-дно были применены два экспериментальных метода: метод иловых вод и боксовый метод. Метод иловых вод (метод 1, ст. 6208-ПШ, ст. 6214-ПШ) позволяет на основе измерений концентраций в иловых водах после их выделения из осадка рассчитывать потоки с применением закона Фика; боксовый метод основан на определении потоков по изменяющимся концентрациям в придонной воде боксов в ходе их экспозиции на дне (метод 2, ст. 6214-ПШ). На небольших глубинах операции с боксами выполняются водолазами-ныряльщиками. Для больших глубин потребовалось создание автономных донных станций – лендеров, аналогом которых являлась испытываемая в указанном рейсе донная станция – лендер ИО РАН.

На станции 6214-ПШ лендер был размещен на окисленных с поверхности (~ 2,5 см) илах алевритово-пеллитовой размерности (с примесью песчаного материала) на глубине ~ 72 м. На ст. 6208-ПШ осадок был представлен жидким серовато-зеленоватым илом алевритово-пеллитовой раз-

мерности восстановленным уже с поверхности на глубине 93 м с характерным запахом сероводорода (H₂S) в нижних слоях подстилающих илов. В пробах иловой и придонной воды определялись содержания растворенных форм металлов (железа II – Fe²⁺, железа III – Fe³⁺, марганца II – Mn²⁺), а также содержания растворенных кремнекислоты – SiO₄⁴⁻ и фосфат-ионов – PO₄³⁻. Для определения железа применялся феррозин, марганец определялся с формальдоксимом, кремнекислота и фосфаты определялись стандартными гидрохимическими методами.

Форма химического элемента (компонента), размерность	Метод 1	Метод 2
Mn ²⁺ , мкмоль/м ² ·сутки	-27.8 ± 5.1	-36.0 ± 5.6
Fe ²⁺ , мкмоль/м ² ·сутки	-0.32 ± 0.05	-30.0 ± 5.0
Fe ³⁺ , мкмоль/м ² ·сутки	-2.21 ± 0.41	-3.0 ± 0.5
SiO ₄ ⁴⁻ , мкмоль/м ² ·сутки	-37.8 ± 3.8	-18.0 ± 1.8
PO ₄ ³⁻ , мкмоль/м ² ·сутки	-1.45 ± 0.29	-12.0 ± 1.2

Результаты исследований потоков наиболее полно изученной ст. 6214-ПШ представлены в таблице. Как видно из таблицы все потоки направлены из осадка. Потоки, рассчитанные прямым методом боксового эксперимента (постановка лендера, метод 2), превышают потоки, полученные методом иловых вод (метод 1), за исключением SiO₄⁴⁻. Так, для Mn²⁺- и Fe³⁺-концентраций поток методом 2 превышает метод 1 в 1,3 раза, а для Fe²⁺-концентраций превышение составляет ~ 2 порядка, PO₄³⁻-иона ~ 1 порядок. Для потока кремнекислоты поток по методу 1 ~ в 2 раза превышает поток по методу 2, что, видимо, лишний раз указывает на необходимость повышения точности химических определений при работе с иловой водой, где объем пробы крайне мал. Сказанное лишний раз указывает на ограничения исследований методом иловых вод, надежность которого намного возрастает при попытках получения иловых вод из сегментов осадка < 1 мм или при использовании микроэлектродов с микронным шагом измерений при погружении в осадок. Кстати, повышенные значения потоков Fe²⁺ методом 2 (по сравнению с методом 1) указывают на возможное окисление в иловом растворе Fe(II) до Fe(III) в процессах центрифугирования и фильтрации иловых вод.

Для ст. 6208-ПШ (в присутствии сероводорода) поток растворенного марганца из осадка много меньше, т.к. марганец-II не способен образовывать минеральных фаз в восстановленных осадках и в результате раннедиагенетических процессов выходит в придонную воду, откуда может многократно переосаждаться в виде гидроксидов Mn (IV) на окисленных поверхностях осадка. Соответственно, Fe²⁺ в присутствии H₂S на ст. 6208-ПШ из-за склонности к образованию не только минеральных, но и не совсем окристаллизованных сульфидных фаз (гидротроилита) имеет слабый поток в осадок.

Chemical fluxes from the sediments of the Gulf of Gdansk of the Baltic Sea were studied during 86-th cruise of the scientific vessel “Professor Shtokman” by means of two different methods: 1 – pore water investigations, 2 – application of lander for near-bottom water investigations during box experiments.

А.В. Вершинин, А.В. Егоров, А.Г. Розанов

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

Исследования потоков растворенных форм химических элементов в Голубой бухте Черного моря

A.V. Vershinin, A.V. Egorov, A.G. Rozanov

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

Investigations of fluxes of dissolved chemical forms for the Blue Bay of the Black Sea

Осадки для оценки величин потоков были исследованы как методом иловых вод, который позволяет рассчитывать потоки с применением закона Фика (метод 1), так и прямым методом «боксового» эксперимента с определением потоков по изменяющимся концентрациям в придонной воде боксов растворенных форм химических элементов в ходе временной экспозиции боксов на дне (метод 2). Боксовый эксперимент проводился в июле 2007 г. с помощью лендера – автономной донной станций. Лендер был выставлен 2 раза в центре бухты на восстановленном серо-черном илу с характерным запахом сероводорода уже с самой поверхности на глубине ~ 12 м, причем времена экспозиции лендера были следующими: $\Delta t_1=16$ ч (1-ая постановка лендера), $\Delta t_2 = 40$ ч (2-ая постановка). Измерения с помощью кислородных датчиков в рабочем и фоновом боксах позволили оценить поток кислорода в осадок, который много превышал 50 ммоль/м²сутки, как это фиксировалось нами ранее на таких же осадках в ходе многолетних предыдущих исследованиях. Осадок для исследований был отобран возле места размещения лендера водолазом с помощью пластиковой трубки диаметром 12 см. В пробах иловой и придонной воды определялись содержания растворенных форм металлов (железа II – Fe²⁺, железа III – Fe³⁺, марганца II – Mn²⁺), а также содержания растворенных кремнекислоты – SiO₄⁴⁻ и фосфат-ионов – PO₄³⁻.

Результаты исследований потоков двумя разными методами представлены в таблице.

Как показывают результаты таблицы, потоки из осадка, рассчитанные прямым методом боксового эксперимента (постановка лендера, метод 2), превышают потоки, полученные методом иловых вод (метод 1), за исключением SiO₄⁴⁻ (уменьшение ~ в 2 раза при 2-ой постановке по сравнению с

Расчет значений величин потоков по результатам исследования разными методами

Форма химического элемента (компонента), размерность	Метод 1	Метод 2 ($\Delta t_1=16$ ч)	Метод 2 ($\Delta t_2=40$ ч)
Mn^{2+} , мкмоль/ $m^2 \cdot$ сутки	-442 ± 88	-627 ± 125	-439 ± 88
Fe^{2+} , мкмоль/ $m^2 \cdot$ сутки	$-39,2 \pm 7,8$	-709 ± 142	-234 ± 47
Fe^{3+} , мкмоль/ $m^2 \cdot$ сутки	$-2,87 \pm 0,57$	-923 ± 185	-103 ± 21
SiO_4^{4-} , мкмоль/ $m^2 \cdot$ сутки	-2700 ± 540	-4960 ± 992	-1385 ± 277
PO_4^{3-} , мкмоль/ $m^2 \cdot$ сутки	-795 ± 160	-1589 ± 318	-2228 ± 446
HS^- , мкмоль/ $m^2 \cdot$ сутки	-8470 ± 1690	–	–

измерениями в иловой воде) и Mn^{2+} (совпадение расчетов как по иловой воде, так и при 2-ой постановке). Так, для Mn^{2+} -концентраций поток методом 2 превышает метод 1 в 1,4 раза (1-ая постановка), а для Fe^{2+} -концентраций превышение составляет ~ 6 –18 раз, PO_4^{3-} -иона – ~ 2 –2,8 раз. Для Fe^{3+} -концентраций превышение составляет 36 – 322 раз. Видимо, для SiO_4^{4-} и Mn^{2+} показанное несовпадение с общим правилом о превышении потоков по методу 2 по сравнению с методом 1 лишний раз указывает на необходимость повышения точности химических определений при работе с иловой водой, где объем пробы крайне мал (1 мл). В целом, более длительная экспозиция лендера на дне (40 ч) уменьшает рассчитанные значения потоков по сравнению с более короткой – (16 ч), за исключением потоков PO_4^{3-} -иона (см. табл.), т.е длительная экспозиция, особенно в сероводородных условиях искажает полученные результаты. Сказанное лишний раз указывает на ограничения исследований методом иловых вод, надежность которого намного возрастает при попытках получения иловых вод из сегментов осадка < 1 мм или при использовании микроэлектродов с микронным шагом измерений при погружении в осадок. Кстати, понижение значения потока Fe^{3+} методом 2 при более длительной экспозиции лендера (с 322 раз при 16 ч до 36 раз при 40 ч) указывают на возможное восстановление в придонной воде $Fe(III)$ до $Fe(II)$ в ходе хранения проб в шприцах на дне, особенно в присутствии сероводорода. Все это лишний раз доказывает необходимость работать с растворенными формами железа в среде инертного газа (Ar и N_2) и более подробного изучения кинетических параметров процессов окисления – восстановления форм железа.

Chemical fluxes for the Blue Bay of the Black Sea were studied (July, 2007) by means of two different methods: 1 – pore water investigations, 2 – application of lander for near-bottom water investigations during box experiments.

**А.А. Ветров¹, В.И. Пересыпкин¹, И.П. Семилетов²,
Е.А. Романкевич¹, А.Н. Чаркин²**

(¹Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: vetrov@ocean.ru,
²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, e-mail: igorsm@iarc.uaf.edu)

**Генезис органического вещества донных осадков
Восточно-Сибирского моря**

**А.А. Vetrov¹, V.I. Peresypkin¹, I.P. Semiletov²,
Е.А. Romankevich¹, А.N. Charkin²**

(¹Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, ²Pacific Oceanological
Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok)

**Genesis of organic matter of bottom sediments from
the East-Siberian Sea**

Основными источниками органического вещества (ОВ) в Восточно-Сибирском море являются первичная фотосинтетическая продукция (15 млн т $C_{\text{орг.}}$ /год), продукты волновой абразии и термоабразии берегов (2.2), речной сток (1.9), эоловые поступления (0.16) и подземный сток (0.1 млн т $C_{\text{орг.}}$ /год). Автохтонные поступления ОВ значительно превышают поступления с суши. Однако в донных осадках их соотношение существенно изменяется из-за различной устойчивости к разложению.

Целью исследований являлось определение содержания органического вещества в верхнем слое осадков Восточно-Сибирского моря, выявления особенностей его распределения и генезиса по органо-химическим маркерам – C/N отношению, $\delta^{13}\text{C}$ и молекулярному составу n-алканов.

Пробы донных осадков были собраны в августе-сентябре 2004 г. в совместной экспедиции ТОИ ДВО РАН и IARC, Univ. Alaska Fairbanks. Содержание $C_{\text{орг.}}$ и азота в осадках и их изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) определяли на Continuous flow isotopic ratio mass spectrometer (CF/IRMS, Finnigan). Анализ n-алканов проводили на газовом хроматографе Yanako G-180 (Япония), оснащенном пламенно-ионизационным детектором.

Концентрации $C_{\text{орг.}}$ в пробах донных осадков из Восточно-Сибирского моря лежат в пределах 0,62–2,1 % от сухого вещества осадка при среднем значении 1,2%, азота – 0,01–0,30 %, среднее 0,12%. Выход тренда $C_{\text{орг.}}-N$ на $N = 0$ при $C_{\text{орг.}} = 0$ свидетельствует о практическом отсутствии в донных осадках неорганического азота (связанный аммонийный азот). Отношение C/N составляет от 6,5 до 14,7, более 80% проб имеет $C/N > 9$, что свидетельствует о смешанном генезисе ОВ с преобладанием терригенного.

Изотопный состав верхнего слоя изученных осадков $\delta^{13}\text{C}$ меняется от -22,9 ‰ на восточном шельфе, куда проникают высокопродуктивные воды тихоокеанского происхождения до -27,4 ‰ в районах поступления ОВ термоабразионных берегов, что также свидетельствует о его смешанном гене-

зисе в целом с преобладанием терригенного источника. Тенденция изменения изотопного состава азота $\delta^{15}\text{N}$ согласуется с изменением $\delta^{13}\text{C}$ – при возрастании $\delta^{13}\text{C}$ (уменьшение сдвига) возрастает и $\delta^{15}\text{N}$ (имеет положительные значения).

Концентрации n-алканов колеблются в пределах 3,4–42,9 мкг/г воздушно-сухого осадка и являются характерными для средних значений содержаний n-алканов в осадках почти всего Арктического шельфа. В распределении n-алканов отмечено существенное преобладание фракции длинноцепочечных с максимумами C_{23} , C_{25} , C_{27} , C_{29} , C_{31} , C_{33} , C_{35} типичными для восков высших растений с небольшим участием низкомолекулярных гомологов C_{12} – C_{19} характерных для гидробионтов и планктоногенного ОВ. О преимущественно терригенном генезисе ОВ изученных осадков также свидетельствуют низкие отношения ΣC_{10} – $\text{C}_{22}/\Sigma\text{C}_{23}$ – C_{40} – 0,18–0,49 и высокие CPI (отношение суммы нечетных к сумме четных алканов) – 2,25–5,44. Высокие значения CPI указывают на начальную стадию диагенетических преобразований ОВ в осадках в окислительных условиях, что характерно для небольших глубин шельфовых морей. Судя по распределению алканов в пробах почвы и торфа с берегов моря, ОВ в донных осадках моря сложено углеводородами из этих источников.

Количественная оценка доли терригенной компоненты ОВ в донных осадках по любому из перечисленных индикаторов генезиса ОВ встречает трудности вследствие изменчивости характеристик чисто терригенного и чисто морского ОВ по районам исследования. Планктон характеризуется $\text{C}/\text{N} \sim 6\div 7$, соотношение C/N терригенных осадков в арктическом бассейне варьирует в пределах 10–20.

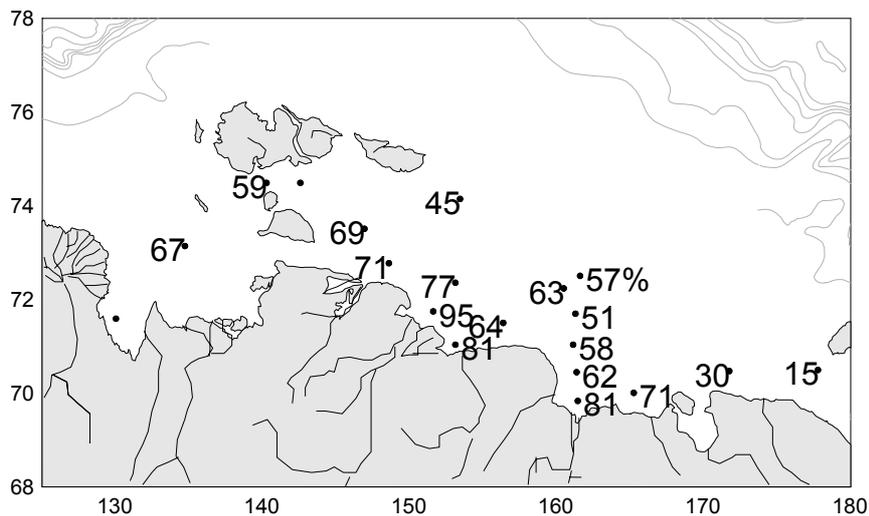
Изотопный состав терригенного ОВ в высоких широтах лежит в узком диапазоне $-27 \div -28$ ‰, определяемом фотосинтезом растений C_3 типа. Зато возникают неопределенности с $\delta^{13}\text{C}$ морского генезиса. Если в низких и средних широтах $\delta^{13}\text{C}$ морских водорослей лежит в узком диапазоне $-20 \div -22$ ‰, то в Арктике его величина варьирует от $-16,7$ до $-30,4$ ‰.

Оценка генезиса ОВ в осадках по соотношению массы длинноцепочечных алканов к короткоцепочечным позволяет приблизительно определить долю терригенных алканов в общем количестве алканов, но не всего терригенного ОВ. Зная концентрацию длинноцепочечных алканов C_{23} – C_{40} или нечетных C_{25} – C_{31} в терригенном ОВ и приняв ее за 100%, можно оценивать долю терригенного ОВ в осадках смешенного генезиса по уменьшению концентрации длинноцепочечных алканов в общем ОВ. К сожалению, содержание длинноцепочечных алканов в ОВ терригенных осадков от района к району меняется в несколько раз.

Согласование меж собой оценок доли терригенного ОВ по отдельным индикаторам генезиса все же позволяет по методу наименьших квадратов подобрать наиболее вероятные $\text{C}/\text{N}_{\text{тер}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{мор}}$ и $(\text{C}_{25} - \text{C}_{31})_{\text{тер}}$ и в результате получить более надежные оценки доли терригенного ОВ в ОВ донных осад-

ков. Отношение $C/N_{\text{тер}}$ оказалось относительно небольшим (13.1). Оцененный средний изотопный состав автохтонного углерода $\delta^{13}C_{\text{мор}} = -22\text{‰}$ укладывается в средний интервал $\delta^{13}C_{\text{мор}} = -21\text{‰} \div -23\text{‰}$ для арктического бассейна.

Доля терригенного ОВ в органическом веществе верхнего слоя донных осадков (рис.) в районах, освобождающихся летом ото льда, составляет от 15 до 95% при средней величине по акватории 62%. Наибольшие значения (>80%) встречаются в районах впадения рек Индигирки и Колымы, наименьшие – в восточной части моря, у пролива Лонга, подверженной влиянию берингоморских вод. По предварительным оценкам поток взвешенного $C_{\text{орг.}}$ в Восточно-Сибирское море с суши (2,6 млн т $C_{\text{орг.}}$ /год) составляет около 17% автохтонной (морской) продукции, тем не менее, состав донных осадков определяется преимущественно терригенными поступлениями, содержащими древнее и устойчивое ОВ.



Доля терригенного ОВ (%) в донных осадках Восточно-Сибирского моря

The set of TOC, C/N, $\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$ and n-alkanes composition of modern bottom sediments from the East-Siberian Sea was used as biomarkers to estimate a genesis of their organic matter. Joint use of these biomarkers reveals planktonogenic-terrirogenous character of organic matter in bottom sediments with predominance of terrigenous component (15–95%, average 62%).

Д.Н. Гарькуша^{1,2}, Ю.А. Федоров¹, М.И. Хромов

(¹Южный Федеральный Университет;

²Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, fizgeo@rsu.ru)

Оценка речного стока метана в моря Европейской территории России

D.N. Garkusha^{1,2}, Yu.A. Fedorov¹, M.I. Khromov

(¹Southern federal university, ²Gidrohimicheskiy institute, Rostov-on-Don)

Estimation of the methane discharge with the river outflow into the European seas of Russia

В ходе многолетних и масштабных исследований, выполненных авторами на реках, озерах, в эстуариях и морях России и сопредельных стран, получен огромный фактический материал по содержанию метана, позволивший создать базу данных «Метан в водных экосистемах». На основе базы данных, охватывающей материалы 1985–2007 гг., в том числе, материалы ранее опубликованных (Федоров и др., 1997–2005) и новых данных, полученных в экспедициях 2005–2007 гг., а также литературных источников, установлены особенности распределения метана в реках и оценена масса метана, выносимого речным стоком в моря Европейской территории России (табл.).

Уровень содержания метана в водной толще рек варьирует в диапазоне от $n \cdot 10^{-2}$ до $n \cdot 10^3$ мкл/л. Наибольшее количество значений в равнинных реках приурочено к интервалу от 10,0 до 100,0 мкл/л, в горных реках концентрация метана в целом не превышает 5,0 мкл/л (Федоров и др., 2005). Количество метана в реках обычно возрастает по направлению к устью, что обусловлено заметным снижением скорости течения и в силу этого возрастанием темпов аккумуляции тонкодисперсного терригенного и органического материала и как следствие интенсификации анаэробных процессов. На эту тенденцию накладывается влияние крупных поставщиков антропогенных органических веществ, каковыми являются города или (и) загрязненные притоки, в зоне воздействия которых четко фиксируется резкое повышение содержания метана в воде и донных осадках. Метан, содержащийся в водной толще рек, может быть как автохтонного, т.е. образованного в донных отложениях, а нередко и в воде, так и аллохтонного происхождения, – поступившего с поверхности водосбора с болотными водами, при вымывании его из почв атмосферными осадками, а также в составе бытовых и промышленных сточных вод. В зависимости от типа дренируемой территории, климата, почвенного покрова, гидрохимических и гидрологических особенностей, а также мощности антропогенного влияния уровень содержания и соотношение аллохтонного и автохтонного метана, может существенно изменяться (Федоров и др., 2005).

Анализ таблицы показывает, что в среднем уровень содержания метана в водной толще устьевых участков крупнейших рек ЕТР варьирует в диапазо-

не от 5,0 до 45,0 мкл/л, т.е. изменяется в пределах одного порядка. Минимальные значения характерны для горных рек бассейна Черного и Каспийского морей, что обусловлено доминирующим ледниковым и снеговым питанием, преобладанием в русле рек грубообломочного материала, большой скоростью течений, низкой температурой вод и относительно слабым антропогенным воздействием. Максимальные концентрации характеризуют низовья рек Дон, Северная Двина и Нева, что главным образом связано с мощным антропогенным влиянием на их экосистемы.

Речной сток метана в моря Европейской территории России

Море, река	Водный сток*, км ³ /год	Среднее содержание CH ₄ , мкл/л	Сток CH ₄ , млн м ³ /год
Белое море	229.11		
в том числе Северная Двина	109	32.1	3.50
Баренцево море	180.48		
в том числе Печора	135	7.8	1.05
Балтийское море	90.16		
в том числе Нева	76.7	28.4	2.18
Азовское море	36.92		
в том числе Дон	26.9	44.9	1.21
Кубань	14.5	15.8	0.23
Черное море	20.34	5.0	0.10
Каспийское море	275.9		
в том числе Волга	261	18.5	4.83
Терек	11.2	5.6	0.06
Речной сток в целом	<u>832.91</u>		
	634.3		13.16

* Средние величины водного стока, формирующегося в пределах ЕТР (по [Бабкин, 2004])

На основе осредненных данных по содержанию метана в устьевых участках рек, сток которых в целом составляет около 76 % суммарного водного стока с ЕТР, оценен вынос метана. Он равен 13,2 млн м³/год, что соответствует средней величине стока метана 20,7 мкл/л. Если экстраполировать это среднее значение на остальные 24% стока, получим суммарную величину выноса метана реками ЕТР 17,2 млн м³/год или 12 тыс. тон /год.

Следует отметить, что выносимый в зоны смешения речных и морских вод метан сравнительно быстро окисляется метанотрофными бактериями и выделяется в атмосферу. Для оценки влияния этих процессов на время на-

хождения речного метана в воде прилегающих к устьевым участкам акваторий морей необходимо дальнейшее изучение данного вопроса.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов НШ-4717.2006.5 (Госконтракт № 02.515.11.50.49) и РФФИ № 06-05-64504.

On the basis of database «Methane in water ecosystems» created in Southern Federal University the mass of methane being discharged by the river outflow into the European seas of Russia is estimated by the value of 12 thousand tones per year.

**О.М. Горшкова¹, А.В. Краснушкин¹, С.В. Люцарев²,
Е.М. Пращикина¹**

(¹Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, e-mail: gorshk@yandex.ru; ²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН)

**Наночастицы растворенного органического вещества вод
р. Москвы**

**O.M. Gorshkova¹, A.V. Krasnushkin¹, S.V. Lyutsarev²,
E.M. Prashikina¹**

(¹M.V. Lomonosov Moscow State University, geographical faculty,
e-mail: gorshk@yandex.ru; ²Institute of oceanology Russian Academy of Science, Moscow)

Dissolved organic matter nanoparticles of Moscow river waters

Методом мембранной ультрафильтрации проведено исследование фракции наночастиц растворенного органического вещества РОВ (200 нм – 5 нм и 10–5 нм) для поверхностных вод р. Москвы на геохимическом барьере при впадении вод р. Сетунь в р. Москву, на техногенном геохимическом барьере (сброс сточных вод) в районе г. Воскресенска и др. При подготовке проб были использованы мембранные ультрафильтры УАМ-50, УАМ-100 (Владипор) и ядерные микрофильтры (Дубна). 95–99% наночастиц РОВ вод р. Москвы имеют размеры 10–5 нм. Такие фракции РОВ отличаются наибольшей стабильностью. Показано, что в пограничных геохимическим барьерам зонах концентрации наночастиц РОВ в речной воде меняются неоднозначно. Для р. Сетунь с большей общей минерализацией количество наночастиц составляет 24,4% от РОВ. В зоне смешения вод р. Сетунь и р. Москвы при уменьшении общей минерализации наночастицы РОВ составляют 32,4 и в р. Москве 38,6 % от РОВ. В целях совершенствования методики концентрирования и оценки количества наночастиц РОВ, при изучении верхней границы размерности наночастиц для вод р. Москвы и р. Сетуни оказалось, что фракции наночастиц <1000, <200 и <100 нм мало различимы даже при определении РОВ на современном оборудовании. При использовании ядерных фильтров (Дубна) либо не происходит тонкое фракционирование, либо этой границы не существует. В зоне техногенного барьера при сбросе сточных вод в районе г. Воскресенска поведение наночастиц РОВ зависит от сезонности измерений. На устойчивость коллоидных форм наночастиц влияет температурный градиент и различный минеральный состав смешиваемых вод. В целом, наночастицы РОВ составляют 30–40% от РОВ вод р. Москвы. При смешении техногенных вод с водой р. Москвы происходит некоторое уменьшение их концентрации.

The research of DOM nanoparticles (200–5 nm, 10–5 nm) for waters of Moscow river and over points carried out. 95–99 % DOM nanoparticles for Moscow river waters have the sizes 10–5 nm.

**О.М. Горшкова¹, В.Ю. Гордеев², А.В. Краснушкин¹,
Е.А. Романкевич², Е.В. Федосеева-Бандолина³**

(¹Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, e-mail: gorshk@yandex.ru; ²Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН; ³Иркутский Государственный университет)

**Некоторые гидрохимические параметры и наночастицы
растворенного органического вещества вод оз. Байкал
и других водоемов Байкальского региона**

**O.M. Gorshkova¹, V.J. Gordeev², A.V. Krasnushkin¹,
E.A. Romankevich², E.V. Fedoseeva-Bandolina³**

(¹M.V. Lomonosov Moscow State University, geographical faculty, e-mail: gorshk@yandex.ru; ²Institute of oceanology Russian Academy of Science, Moscow; ³Irkutsk State University)

**Some hydrochemical parameters and DOM nanoparticles
for water lake Baikal and other reservoirs of the Baikal region**

Для выявления факторов и механизмов, обуславливающих формирование, поддержание и трансформацию байкальских и не байкальских фаунистических зон, для оценки поведения загрязнителей в разнообразных условиях водной среды и применения различных методов детоксикации в условиях Байкала необходимо изучение гидрохимических параметров озера Байкал, других водоемов Байкальского региона и определение растворенных форм органического вещества в этих водоемах. Многие общие гидрохимические параметры, исследованные в данной работе: общая минерализация, pH, растворенный кислород, растворенный органический углерод ($C_{орг}$), уже неоднократно определяли для вод оз. Байкал, рек Большая и Малая Котинка и их зон смешения с оз. Байкал, Озера №14 (водоем, образовавшийся в результате драговой добычи золота и антропогенном изменении ландшафта долины р. Большая Котинка) и р. Ангары. Наночастицы растворенного органического вещества (200–5 нм) методом мембранной ультрафильтрации определены впервые. Сорб для поверхностных вод оз. Байкал рядом с пирсом ББС (пос. Большие Коты) – 1,473; для вод р. Ангары (пристань, микрорайон Солнечный, г. Иркутск) – 2,983; для воды оз. №14 – 3,996 мгС/л. Количество наночастиц РОВ (5–200 нм) соответственно составляет 36,5; 42,2 и 43,0% от РОВ. Вода оз. Байкал слабоминерализованная (54,3–56 мг/л по NaCl), pH байкальской воды 8,18–8,23, $O_2 = 8,5$ мг/л. Оз. №14: соответственно, 54–55 мг/л, pH 6,60, $O_2 = 6,07$.

Воды исследованных рек так же имеют низкую минерализацию.

The first results of researches received in August, 2007 at BBS station in the Bolshie Koty (Baikal lake) are shown. The hydrochemical parameters of the lake Baikal, other reservoirs of Baikal region and definition of forms of organic substance (DOM nanoparticles) are shown too.

Л.Л. Демина, С.В. Галкин

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

Роль трофической структуры гидротермальной донной фауны в процессах биоаккумуляции тяжелых металлов

L.L. Demina, S.V. Galkin

(P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian academy of sciences, Moscow)

Role of the Hydrothermal Bottom Fauna' Trophic Structure in Bioaccumulation of the Heavy Metals

Гидротермальные поля на дне океана можно отнести к наиболее ярко выраженным геохимическим барьерным зонам, обусловленным экстремальными градиентами температуры воды, содержания восстановленных соединений (H_2S , CH_4 , H_2), тяжелых металлов и других элементов. Обитающая здесь фауна на протяжении долгой геологической истории адаптировалась к аномальным условиям жизни и, более того, демонстрирует способности к быстрому росту и производству высочайшей для пелагиали биомассы (до 10 кг/м^2), превышающей на 2–3 порядка таковую для фоновых областей. Адаптационные механизмы во многом определяются симбиотической взаимосвязью таксонов с сульфидокисляющими и метанотрофными бактериями, осуществляющими хемосинтез и продуцирующими первичную продукцию, которая служит энергетической основой гидротермальных сообществ (Jannash, Wirsén, 1979). При этом бактерии предотвращают отравление организмов сверхвысокими концентрациями металлов посредством специфических функций по детоксикации сублетальных уровней тяжелых металлов.

На различных гидротермальных полях САХ и ВТП консументы первого трофического уровня представлены организмами, зависящими от хемосинтеза, но по-разному утилизирующими его продукцию: 1) эндосимбиотрофы – вестиментиферы и двустворчатые моллюски, в трофосоме и жабрах которых функционируют внутриклеточные бактерии; 2) экзосимбиотрофы – креветки, использующие бактериальное ОВ с помощью внешних органов-максиллопедов; 3) бактериофаги – полихеты-грейзеры (альвинеллиды) и полихеты-фильтраторы (серпулиды), поедающие бактериальные маты и фильтрующие бактерии из воды..

Консументами второго трофического уровня являются плотоядные – хищники и некрофаги: ракообразные, а также некоторые виды брюхоногих моллюсков.

В пространственном распределении организмов относительно гидротермального источника существует мелкомасштабная фаунистическая зональность, связанная в первую очередь с градиентом температуры, возникающим при смешении флюидов с морской водой и предопределяющим содержание питательных веществ и химических элементов, в том числе тяжелых

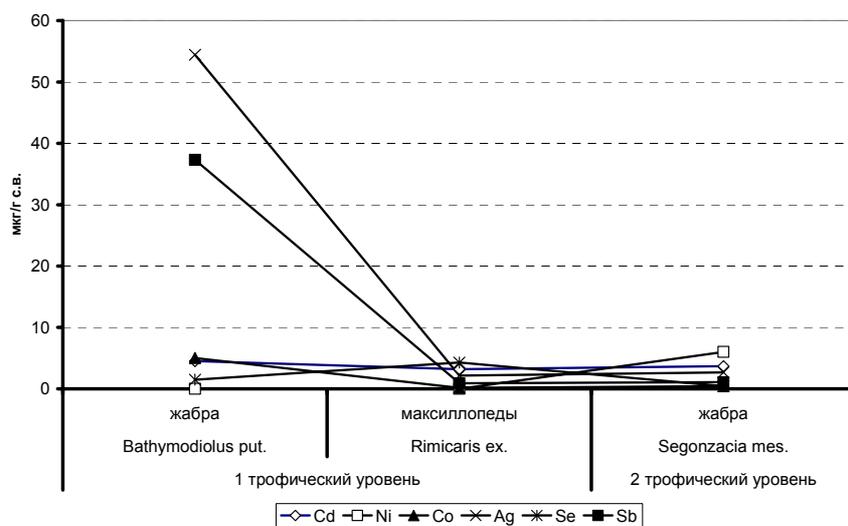
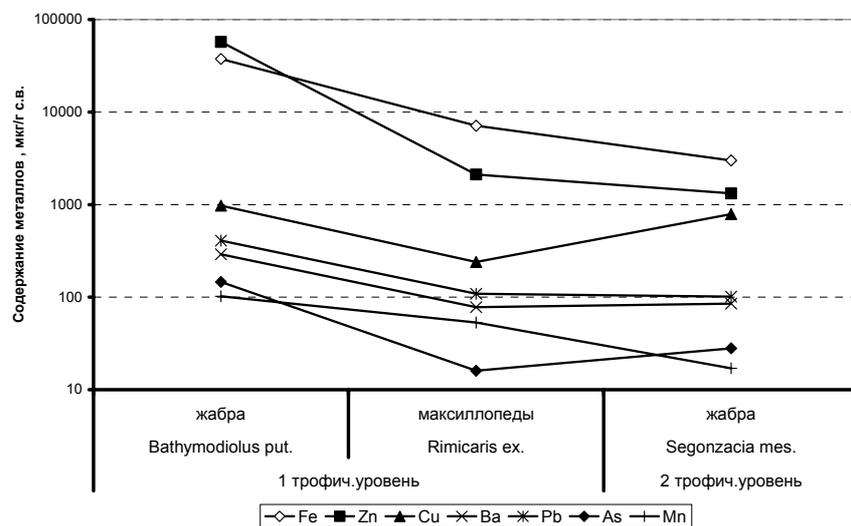


Рис. Содержание металлов в органах животных гидротермального поля Снейк-Пит в зависимости от трофического уровня таксона и его взаимосвязи с бактериями – первичными продуцентами.

металлов. Подавляющее большинство животных на разных полях приурочено к зоне непосредственного воздействия источника, где отмечается максимальная численность бактерий и наибольшая интенсивность процессов хемосинтеза. Наличие тесной функциональной взаимосвязи между животными-симбиотрофами и бактериями вызывает массообмен химическими элементами; так содержание Fe, Zn, Cu в жабрах моллюсков-симбиотрофов в 2–5 раз больше, чем в бактериях-эндосимбионтах, являющихся первичными продуцентами (Kadar et al., 2006). Организмы одного и того же первого трофического уровня, но различающиеся по способу утилизации хемосинтетической продукции, по-разному взаимодействуют с химическими компонентами среды обитания: так, на поле Снейк-Пит Срединно-Атлантического хребта (САХ), моллюски-симбиотрофы *Bathymodiolus* потребляют сероводород и сульфид-ионы из воды, обеспечивая своих бактерий-симбионтов «топливом» для хемосинтеза, в гораздо большей степени, чем экзосимбиотрофы-креветки (Desbruyeres et al., 2001). По нашим данным, жабры моллюсков-симбиотрофов *Bathymodiolus* в среднем на 1–2 порядка обогащены Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ba, Ag, As, Sb по сравнению с максиллопедами креветок *Rimicaris*, для Cd, Co, Ni и Se такой тенденции не просматривается (рис.).

Таким образом, можно наметить тенденции переноса химических элементов по пищевым цепям донных сообществ гидротермальных полей и предположить, что от трофической структуры зависит степень биоаккумуляции тяжелых металлов в различных органах и тканях таксонов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 05-04-49413.

Desbruyeres D., Biskoito M., Caprais J.-C. et al. Variations in deep-sea hydrothermal vent communities on the Mid-Atlantic Ridge near the Azores plateau // *Deep-Sea Res. I.* 2001. V. 48. P. 1325–1346.

Jannasch H.W., Wirsen G.O. Chemosynthetic Primary Production at East Pacific Sea Floor Spreading Centers // *Bioscience.* 1979. Vol. 79. P. 592–598.

Kadar E., Costa V., Santos R. et al. Tissue partitioning of micro-essential metals in the vent bivalve *Bathymodiolus azoricus* and associated organisms (endosymbiont bacteria and a parasite polychaets) from geochemically distinct vents of the Mid-Atlantic Ridge // *J. of Sea Res.* 2006. V. 56. P. 45–52.

The authors assume that bioaccumulation of the heavy metals by benthopelagic organisms at hydrothermal vent fields depends on the trophic structure of the community and the other biological factors.

Л.Л. Демина, Н.С. Оська, Н.Б. Келлер, О.М. Дара

(Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Москва; e-mail: ldemina@ocean.ru; nsoskina@mail.ru)

Особенности биоминерализации глубоководных кораллов

L.L. Demina, N.S. Oskina, N.B. Keller, O.M. Dara

(P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian academy of sciences, Moscow)

Peculiarities of the Deep-Sea Corals' Biomineralization

Склерактиниевые кораллы относятся к наиболее мощным биоминерализующим организмам [Lowenstam and Weiner, 1989].

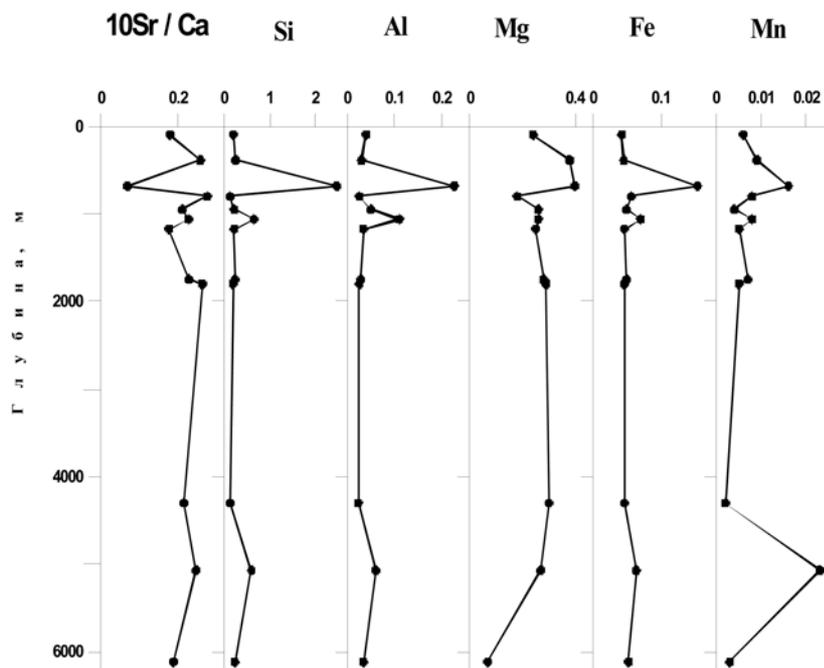
Процессы карбонатной биоминерализации являются одними их древнейших геохимических процессов, проистекающих на Земле, начиная с раннего Кембрия (400–500 млн л назад) и до наших дней. В океанских и морских экосистемах живые организмы с карбонатной функцией (кокколиты, фораминиферы, кораллы, иглокожие, моллюски, артроподы и др.) осуществляют гетерогенную аккумуляцию, в ходе которой создаются карбонатные скелеты, служащие основой биогенной карбонатной седиментации в океане, заметный вклад в которую вносят кораллы (Лисицын, 1983). Материалом для исследований послужили 16 видов одиночных и колониальных кораллов, принадлежащих к 10 родам. Двадцать пять образцов были собраны в научно-исследовательских экспедициях российских судов с 23 станций в Атлантическом и Тихом океанах с глубин от 60 до 6117 метров, то есть от шельфа до абиссали.

Минеральный состав 21 пробы кораллов различного местообитания и видовой приуроченности был исследован рентгенографическим фазовым анализом на дифрактометре Дрон-2.0 с Cu K α -излучением и графитовым монохроматором. Химический состав 13 проб анализировали двумя методами: макрокомпоненты (силикатный анализ) определяли на рентгенофлуоресцентном спектроанализаторе "VRA-30" (Карл Цейс); концентрацию Cu, Zn, Sr и Pb определяли на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-2А (пламенный вариант), Cd – на спектрометре КВАНТ – Z.ЭТА (электротермический вариант).

Основными минеральными фазами изученных образцов являются арагонит и кальцит, причем преобладающей фазой во всех образцах является арагонит, в некоторых образцах он практически чистый (99 %). В следовых количествах обнаружены кварц, амфибол и альбит, а также глинистые минералы, суммарное содержание этих минералов не превышает 14%.

Рентгенографический фазовый анализ одного из образцов показал, что центральная часть стебля сложена рентгено-аморфным веществом, представленным, по-видимому, органическими макромолекулами, переслаивающимися с карбонатными пакетами. В бежевой и белой зонах содержание арагонита одинаково – 98 и 99 %.

В образце коралла *Stephanofyllia complicata* (глуб. 680 м), поднятом с подводной возвышенности из центральной части Фиджийской котловины, обнаружено максимальное содержание кальцита (30%) при минимальном содержании арагонита (55 %). Заметим, что в этом же образце на фоне минимума отношения Sr/Ca обнаружено максимальное содержание некоторых химических элементов – Si, Al, Fe, Mn, Ti и Mg (см. рис.).



Очевидно, изменение минерального состава кораллов обуславливает изменение их способности концентрировать химические элементы.

Склерактиниевые кораллы, как известно, являются гетеротрофными (и даже хищными) организмами, поэтому химические элементы могут накапливаться в их телах в результате процессов биоассимиляции, физико-химической адсорбции и безвыборочной фильтрации при питании. При этом источником химических элементов служит главным образом морская вода, содержащая растворенные и взвешенные формы элементов, в меньшей степени – организмы более низкого трофического уровня и донные осадки. Расчет коэффициентов обогащения ($K_{об.}$) химических элементов в кораллах по отношению к океанской воде показал, что чем меньше концентрация элемента в воде, тем выше $K_{об.}$. Максимальный $K_{об.}=10^7$, определен для Fe. Ряд по возрастанию коэффициентов обогащения кораллов по отношению к

океанской воде ($K < Mg < Sr$, $Ca < Si < Cd$, $Cu < Zn$, $Ti < Al$, $Pb < Mn < Fe$) свидетельствует о селективном бионакоплении химических элементов.

Отмечается тенденция к уменьшению с глубиной содержания Ca и Mg в кораллах, при этом Sr не обнаруживают значимой корреляционной связи с глубиной. По-видимому, частичное растворение карбонатного материала на глубинах, превышающих критическую, приводит к переводу в раствор Ca и Mg, тогда как Sr не участвует в этом процессе, возможно, по причине его более глубокой структурной позиции в арагоните. Содержание некоторых других элементов (Si, K, Cu и Cd), напротив, коррелирует с возрастанием глубины (R_{xy} от 0,64 до 0,81). На больших глубинах преобладают более тонкодисперсные глинистые осадки, поэтому закономерно возрастание содержания Si и K в глубоководных кораллах, как основных элементов алюмосиликатов, а также Cu и Cd, как наиболее легко адсорбируемых элементов. Кроме того, Cd может замещать Ca в решетке кальцита [Skinner, Jahren, 2004]. Между содержанием Ca и микроэлементов (кроме марганца) не выявляются значимые корреляционные связи. Марганец показывает значимую отрицательную корреляцию с Ca ($R_{xy} = -0,79$), что подтверждает данные Кринсли (1959) об антагонизме Ca и Mn, когда последний может входить в решетку биогенных карбонатов. В окисленных донных осадках океана для марганца характерно образовывать тонкие окисные пленки на поверхности частиц, в таком случае можно было бы ожидать положительную корреляцию между Mn и Ca. Наличие значимой отрицательной корреляции между парами элементов Ca-Mn и Ca-K соответствует данным [Skinner, Jahren, 2004], и, кроме того, в случае Mn – свидетельствует о невозможности образования гидроокисной пленки на живых организмах (какими и были отобраны для анализа пробы).

The biomineralization processes studied by 16 species of the deep-sea scleractinian corals demonstrated the significant variability of the chemical composition and stability of mineral constituents ratio, aragonite being the major mineral, at different depths of the World Ocean. One sample was an exception, where the increase percentage of calcite caused the elevated content of some elements in corals skeletons.

В.И. Денисов, С.Я. Черноусов, А.Н. Кузнецов

(Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, denisovgeo@yandex.ru)

Распределение Pb, Cu и Hg в различных природных компонентах шельфа Черного моря (район мыса Утриш)

V.I. Denisov, S.Y. Chernousov, A.N. Kouznetsov

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

Distribution of Pb, Cu and Hg in Different Natural Components of the Black Sea Shelf (Utrish Cape Area)

В районе мыса Утриш были проведены комплексные экологические исследования по изучению содержания химических элементов в природных средах (воде, донных осадках, атмосферных аэрозолях и морской взвеси), а также в некоторых биологических объектах (тотальном планктоне, мидиях, биологических отложениях мидий, биссусе мидий, рапанах и макрофитах). В таблице 1 представлены концентрации металлов в исследуемых объектах. Рассчитанные коэффициенты накопления (концентрирования) изучаемых металлов по отношению к воде представлены в таблице 2.

Таблица 1

Средние концентрации химических элементов в различных природных компонентах шельфа мыса Утриш, мкг/г сухого веса (вода – мкг/дм³)

№	Объект	Кол-во проб	Pb	Cu	Hg
1	Эоловая взвесь	15	46,5	84,6	-
2	Морская вода (поверхность)	20	1	24,1	0,04
3	Морская вода (придонный слой)	20	1,84	22,6	0,03
4	Планктон тотальный	14	70	599	0,056
5	Взвесь ловушечная	12	52,3	41,8	0,056
6	Мидии (мягкие ткани)	30	4,4	17,5	0,0326
7	Мидии (створки)	22	7,9	12,5	0,0086
8	Биоотложения мидий	9	33,7	7,6	0,03
9	Биссус мидий	1	10	20	0,008
10	Рапана (мягкие ткани)	24	0,27	3,97	0,0894
11	Рапана (створки)	24	0,19	0,53	0,0053
12	Phyllophora nervosa	24	12	25	0,03
13	Cystoseira barbata	35	59	238	0,05
14	Ulva lactuca	21	33	210	-
15	Донные осадки	16	17,5	23,1	0,0962

Таблица 2

Коэффициенты концентрирования химических элементов (по отношению к воде) в различных природных компонентах шельфа мыса Утриш

№	Объект	Pb	Cu	Hg
1	Эоловая взвесь	32746	3615	–
2	Планктон тотальный	49296	421831	1600
3	Взвесь ловушечная	36831	1786	1600
4	Мидии (мягкие ткани)	3099	748	931
5	Мидии (створки)	5563	534	246
6	Биоотложения мидий	23732	343	857
7	Биссус мидий	7042	855	229
8	Рапана (мягкие ткани)	190	170	2554
9	Рапана (створки)	134	23	151
10	<i>Phyllophora nervosa</i>	8451	1068	857
11	<i>Cystoseira barbata</i>	41549	10171	1429
12	<i>Ulva lactuca</i>	23239	8974	–
13	Донные осадки	12329	987	2749
14	Морская вода осредненная	1,42	23,4	0,035

Медь и свинец определялись атомно-абсорбционным и рентгено-флюоресцентным методами, ртуть – атомно-абсорбционным.

В результате выполненных исследований можно сформулировать некоторые выводы:

1. Определены концентрации ртути, свинца и меди в различных звеньях экосистемы акваполигона Утриш. Выявлены особенности распределения содержания микроэлементов в аэрозолях, водной толще (поверхностный и придонный горизонты), планктоне, в вертикально осаждающейся морской взвеси, в бентосе (мягких тканях и створках мидий, их биоотложениях, в мягких тканях и створках рапанов), макрофитах (*Phyllophora nervosa*, *Cystoseira barbata*, *Ulva lactuca*), а также в донных осадках. Во всех рассмотренных природных компонентах шельфа Черного моря (за исключением аэрозолей, взвеси и биоотложений мидий) ряд накопления изученных элементов выглядит следующим образом: Cu > Pb > Hg. В последних трех случаях эта последовательность меняется: Pb > Cu > Hg. Коэффициенты концентрирования микроэлементов, как правило, снижаются в направлении: тотальный планктон – макрофиты – аэрозоли – взвешенный материал – донные осадки – мидия – биоотложения мидий – рапана.

2. Отношение между максимальным и минимальным содержанием для свинца (соответственно, планктон и створки рапаны) составляет 368 раз; для меди (то же самое) – 1130 раз; для ртути (донные осадки и створки рапаны) – 18 раз.

3. Максимальная концентрация ртути характерна для донных отложений, мягких тканей рапаны, планктона, морской взвеси, мидий.

4. По данным, полученным нами с помощью седиментационных ловушек, средний вертикальный поток осаждающегося вещества в шельфовой зоне Черного моря (акваполигон мыса Утриш) составляет $4,04 \text{ г}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$. С учетом имеющихся данных о содержании свинца, меди и ртути во взвеси, были рассчитаны вертикальные потоки этих элементов в составе осаждающегося материала. Они составляют в среднем для свинца $211,29 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$; для меди – $168,87$ и для ртути – $0,23 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$. Аналогичным образом, с учетом данных по биопродуктивности, рассчитаны потоки микроэлементов, аккумулируемых биотой моря: а) мидиями: $2,13 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ свинца; $6,97 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ меди и $0,011 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ ртути; б) макрофитами: $6,19 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ свинца; $17,77 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ меди и $0,011 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ ртути; в) тотальным планктоном: $95,63 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ свинца; $117,07 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ меди и $0,05 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$ ртути.

5. На основе имеющегося фактического материала и произведенных расчетов можно количественно описать циклы рассмотренных микроэлементов в экосистеме шельфа Черного моря. Содержащиеся в водной толще металлы включаются в биогеохимический круговорот веществ в процессе первичного продуцирования органического вещества в следующих количествах: свинец – $101,82 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$, медь – $134,84 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$, ртуть – $0,06 \text{ мкг}/(\text{м}^2 \times \text{сут.})$. Причем на долю макрофитов приходится 6 – 18 %, а остальную массу микроэлементов ассимилируют одноклеточные планктонные водоросли. Далее по пищевым цепям часть этих потоков проходит в форме органических соединений через консументы разных уровней (прежде всего, зоопланктон), а при отмирании живых организмов осаждается на дно. В составе взвеси 80 % меди, 48 % свинца и 27 % ртути осаждается в органической форме. Одним из немаловажных звеньев в цикле микроэлементов является их потребление во взвешенной форме моллюсками-фильтраторами, в частности, мидией. Так, из количества осаждающихся свинца, меди и ртути популяциями мидий шельфа Черного моря ассимилируется, соответственно, 1,0; 4,1 и 4,8 %.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» (проект НШ-4717.2006.5, Госконтракт № 02.515.11.50.49), гранта РФФИ (проект 06-05-64504) и программы «Университеты России» (проект ур.08.01.279 за 2005 г.).

The regularities of Pb, Cu and Hg distribution in the aerosols, water column, suspended matter, bottom sediments, total plankton, macrovegetation, mussels and rapa whelks are studied. The vertical fluxes of the elements are calculated. The role of different ecological groups of sea organisms in the bioaccumulation and biosedimentation of Pb, Cu and Hg is estimated.

**М.М. Доманов¹, А.И. Свининников², В.В. Кобылянский³,
Т.Г. Кузмина¹, Е.Г. Водяная¹**

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: domanov@ocean.ru;
²Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, e-mail: svininnikov@poi.dvo.ru; ³Федеральный Исследовательский
Центр МКБ «Электрон», Москва)

**Тяжёлые металлы в поверхностных осадках впадины
Дерюгина (Охотское море)**

**M.M. Domanov¹, A.I. Svininnikov², V.V. Kobylyansky³,
T.G. Kuzmina¹, E.G. Vodyanaya¹**

(¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow);
²Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Vladivostok; ³Federal Research Centre "MCB Electron", Moscow)

**Heavy metals in surface sediments of Derugin basin
(Okhotsk Sea)**

Рассмотрены диагенетические процессы перераспределения и концентрирования марганца, стронция, мышьяка, молибдена, урана на геохимическом барьере: кремнистые донные осадки – морская вода в слое окисленных металлоносных илов во впадине Дерюгина Охотского моря. Мощность слоя обычно находится в интервале – 5–9 см, иногда превышает 20 см.

Материал для исследования отобран дночерпателем «Океан-50» в 50 и 51 рейсах НИС «Профессор Хромов» в 2003 и 2004 г. на станциях в пределах впадины Дерюгина, шельфа и склона о. Сахалин. Для химического анализа были отобраны пробы из верхних 15–20 см отложений по горизонтам с шагом по глубине 1 см. Анализ проб донных осадков выполнен методами атомной эмиссии (Plasmaquant-110, укомплектованный системой ультразвукового распыления пробы U-5000AT и системой генерирования гидридов Hydrid-/Hg-System BSH 960) для Al, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, La, Mg, Mn, Nb, Ni, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn, Zr и масс-спектрометрией с индукционно связанной плазмой (Agilent 7500с) для V, Co, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, La, Ce, Nd, Pb, Th, U. Приведены коэффициенты корреляции, кластеры и дискриминантные функции 27 элементов.

Осадки поверхностного окисленного горизонта обогащены по сравнению с подстилающими восстановленными осадками – марганцем примерно в 20 раз, молибденом (в 10 раз), стронцием, мышьяком (примерно в 3 раза), ураном (в 2 раза) и обеднены магнием (в 1,6 раза), рубидием, цинком (в 1,2 раза), железом, церием и неодимом (в 1,1 раза).

Показано, что в диагенетическом перераспределении Mn, Sr, As, Mo, U важную роль играет растворение и миграция в зоне восстановленных осадков (за счет высокой проницаемости кремнистых илов и наличия органического вещества), и отложение в поверхностном окисленном слое на контак-

те с насыщенной кислородом морской водой. Критерий участия гидротермального материала в осадках – $Al/(Al+Mn+Fe)$ имеет величину в окисленном слое: 0,29–0,41, в восстановленных илах: 0,50–0,57.

Спектральный анализ гамма-излучения донных осадков во впадине Дерюгина измеренного *in situ* гамма-спектрометрическим зондом и в образцах лабораторной установкой показал, что основной вклад в суммарное гамма поле вносят природные изотопы уранового ряда, дочерние элементы радия.

Diagenetic processes of redistribution and concentrating of manganese, strontium, arsenic, molybdenum, uranium on a chemical barrier: siliceous bottom deposits – seawater in a layer oxidated metalliferous sediments in Derugin Basin of the Okhotsk Sea were studied.

**О.В. Дударев¹, А.Н. Чаркин¹, И.П. Семилетов²,
Е.Б. Карabanov^{3,4}, S. Armstrong⁴, Д.А. Космач¹,
Э.А. Спивак¹, И.В. Уткин¹**

(¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия, dudarev@poi.dvo.ru; ²Международный арктический исследовательский центр, Университет Аляски, Фербанкс, США;

³Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия;

⁴Университет Южной Каролины, Колумбия, США)

Осадконакопление в устьевой области реки Лены

**O.V. Dudarev¹, A.N. Charkin¹, I.P. Semiletov²,
E.B. Karabanov^{3,4}, S. Armstrong⁴, D.A. Kosmach¹,
E.A. Spivak¹, I.V. Utkin¹**

(¹V.I. Ilyichev's Pacific Oceanological Institute of FEB RAS, Vladivostok, Russia, dudarev@poi.dvo.ru; ²International Arctic Research Center, University of Alaska, Fairbanks, USA; ³A.P. Vinogradov Geochemistry Institute of SB RAS, Irkutsk, Russia;

⁴University of South Carolina, Columbia, USA)

Sediment accumulation within the Lena River mouth region

Устьевая область (УО) реки Лены включает обширную разветвленную дельту (третью в Мире после Миссисипи и Меконга) и ее подводное продолжение (авандельту) в море Лаптевых. Основные результаты многолетних исследований заключаются в следующем.

(1). Аккумуляция значительной части речного аллювия происходит в пределах 900 км равнинного участка нижнего течения Лены – объемы разгрузки взвеси ВМ здесь достигают одного порядка. В вершину дельты поступают воды с содержанием ВМ около 10 мг/л. Изменения значений ВМ контролируются направленностью русловых процессов. Рост значений относительно фонового содержания в несколько раз происходит над перекатами, где доминирует эрозия их гребней. Дисперсные частицы транзитом выносятся из устьев протоков в море, и только их незначительный объем участвует в дельтовом осадконакоплении.

(2). Возможными источниками органического вещества (ОВ) взвеси вод устьевой области, установленными по величине изотопного сигнала $\delta^{13}\text{C}$ являются: пресноводный планктон ($\delta^{13}\text{C} = -30,45\text{‰}$); биомасса наземной растительности ($\delta^{13}\text{C} = -28,24\text{‰}$ – $-26,06\text{‰}$); смешанные источники – планктон+биомасса наземной растительности ($\delta^{13}\text{C} = -29,04\text{‰}$), почвы+уголь+торф ($\delta^{13}\text{C} = -25,88\text{‰}$ – $-24,63\text{‰}$); эоловый материал ($\delta^{13}\text{C} = -26,73\text{‰}$).

(3). Гранулометрический состав дельтовых осадков охватывает весь размерный диапазон – от грубообломочных псефитов до илов.

(4) Крупные протоки активной части дельты играют значительно меньшую роль в транспорте воды и взвеси в море, чем как это считалось ранее. Инструментальными измерениями (зонды ADCP и CTD) для Быковской

протоки показано, что устья протоки достигает всего 15% от объемов воды и взвеси, поступивших в начало протоки. Очевидно, что оставшиеся 85% перераспределяются в более низкорядковые водотоки дельты.

(5). Приливные и нагонные воды не проникают в дельту, что подтверждено результатами инструментальных наблюдений. Поэтому изотопный сигнал С планктона дельты не отражает сигнал морского планктона.

(6). За счет продуктов термоабразии в стоковых водах над аванделтой происходит увеличение содержания ВМ до одного порядка. Максимальные значения зарегистрированы у быстроразрушающегося острова Муостах (594 мг/л). В придонном горизонте прослеживалась четкая корреляция содержания ВМ с характером стратификации вод. Диапазон значений варьировал от 50 мг/л в умеренно перемешанных водах внутренней части авандельты до 122 мг/л у ее подножья в придонном нефелоиде.

(7). Осадки внутренней части авандельты (баровый участок Лены) представлены различными сочетаниями песчаных фракций с более тонкими. В дистальном направлении от фронта дельты миктиты песчаные замещаются сортированными мелкозернистыми песками, песками алевритовыми, алевритами крупно- и мелкозернистыми. У подножья авандельты формируются алевриты пелитовые, а более дисперсные пелиты залегают в тальвегах глубоких стоковых ложбин.

(8). Выявлен устойчивый тренд увеличения содержания $C_{орг}$ к подножью авандельты от 0,1–2% в баровых осадках до 5,7% в дисперсных и лах. Генезис ОВ донных осадков УО обусловлен вкладом наземных высших растений ($\delta^{13}C$ легче -26‰). Наиболее тяжелый изотопный сигнал $\delta^{13}C$ (-24÷ -23‰) возможно отражает отношение ОВ к низкотемпературным условиям, при которых скорость диагенетических преобразований в осадках термоабразионно-аккумулятивной равнины усиливается микробиальной активностью. Быстрая минерализация ОВ донных осадков подтверждается: (а) значительными темпами поступления терригенного материала (обрушение только одного блока многолетнемерзлых отложений побережья о. Муостах одновременно поставляет к урезу воды около 240 м³ осадочного материала), (б) высоким содержанием $C_{орг}$ в береговом комплексе отложений (от 4,5–9% С в дисперсных отложениях до 50% в торфяных прослоях), (в) низкими содержаниями в осадках $C = 1\pm 0,1\%$ и $N < 0,1\%$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 05-05-64213; 06-05-96064); Президиума ДВО РАН (проекты 05-III-Г-07-149; 06-14-В-07-303); ФЦП “Мировой океан”, NSF USA (проекты OPP-0230455, OPP-0342837), NOAA Cooperative Agreement NA 17RJ1224 with the University Alaska.

It is established that the accumulation of the sizable part from the riverine alluvium takes place within the 900-km plain area of the Lena River lower flow.

The supply of both water and the suspended matter from mouths of largest branches within the active deltaic areas has the subject value only, because the main volume is distributed into delta channels of lower orders. For example, from the mouth of the Bykhov Arm, the portions in 15 % from total water and suspended matter discharges are supplied into the sea, considering from the outlet of this arm.

**О.В. Дударев¹, А.Н. Чаркин¹, И.П. Семилетов²,
П.Я. Тищенко¹, М.С. Обрезкова¹, И.В. Уткин¹**

(¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия, dudarev@poi.dvo.ru; ²Международный арктический исследовательский центр, Университет Аляски, Фэрбанкс, США)

**Масштабы изменчивости состава взвеси в системе
«река Амур – Охотское и Японское моря»**

**O.V. Dudarev¹, A.N. Charkin¹, I.P. Semiletov²,
P.Y. Tizhenko¹, M.S. Obrezkova¹, I.V. Utkin¹**

(¹V.I. Ilyichev's Pacific Oceanological Institute of FEB RAS, Vladivostok, Russia, dudarev@poi.dvo.ru; ²International Arctic Research Center, University of Alaska, Fairbanks, USA)

**Heterogeneity scales of the particulate matter composition
in the «Amur River – Okhotsk and Japan seas» system**

После десятилетнего перерыва в 2005 г. ТОИ ДВО РАН продолжил исследования в системе «река Амур – Охотское и Японское моря». Впервые за всю историю исследований эстуария Амура, кроме его морских частей в район единовременных наблюдений был включен 500 км участок нижнего течения реки перед устьем. В рамках изучения особенностей трансформации состава водного и твердого стока Амура в ходе его миграции в приемные бассейны стока, изучались различные биогеохимические параметры водных масс речного, переходного и морского генезиса, в том числе распределение взвеси (ВМ, мг/л), взвешенного органического углерода ($C_{\text{орг}}$, %) и его изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}\%$) (см. табл.).

Район наблюдений	Июнь 2005 г.			Июнь 2006 г.		
	ВМ	$C_{\text{орг}}$	$\delta^{13}\text{C}$	ВМ	$C_{\text{орг}}$	$\delta^{13}\text{C}$
Нижнее течение	14.2	0.78	-29.49±	6.4	0.47	-29.90±
	±30.1	±1.36	-28.71	±31.3	±1.03	-28.70
Амурский лиман	7.4	0.91	-28.84±	11.9	0.22	-27.55±
	±33.8	±1.28	-27.44	±71.3	±0.52	-26.29
Охотское море	5.2	1.29	-27.44±	9.1	1.00	-26.21±
	±7.5	±3.11	-25.75	±27.5	±2.22	-23.58
Японское море	1.7	0.91	-26.61±	8.7	1.14	-24.54±
	±17.0	±1.03	-24.87	±31.1	±1.16	-24.19

Масштабы межгодовой изменчивости величин ВМ, $C_{\text{орг}}$ и $\delta^{13}\text{C}\%$ можно представить из следующих осредненных данных для периода весенне-летнего половодья (начало июня 2005 и 2006 гг.). В нижнем течении Амура различия в ВМ между 2005 и 2006 гг. отсутствовали при значениях близких

20 мг/л; содержание $C_{\text{орг}}$ отличалось в 1,6 раза; изотопное различие $\delta^{13}\text{C}$ составило -0,56‰.

Как видно, содержание взвеси между фазами кульминации весенне-летнего половодья (2005 г.) и завершения его спада (2006 г.) изменяется слабо. Наступление летней межени отразилось только в уменьшении значений $\delta^{13}\text{C}$ (от -28,88 до -29,44‰) и в увеличении содержания $C_{\text{орг}}$ в 1,6 раза (от 0,75 до 1,21%).

В области смешения речных-морских вод (эстуарий, включающий акватории Амурского лимана, вершины Татарского пролива Японского моря и восточной части Сахалинского залива Охотского моря) переход к летней межени выразился: в 3-х кратном росте содержания ВМ (от 8,7 до 22,0 мг/л в 2005 и 2006 гг., соответственно); в уменьшении значений $C_{\text{орг}}$ в 1,7 раза (от 1,70 до 1,01‰); в утяжелении изотопного состава С от -26,96 до -25,32‰.

Обратная картина поведения изученных параметров (снижение значений ВМ на фоне увеличения содержания $C_{\text{орг}}$ и уменьшение величин $\delta^{13}\text{C}$) наблюдалась в 2005 г.

Изотопный сигнал С взвеси нижнего течения ($\delta^{13}\text{C} = -29,9 \div -28,7\text{‰}$) отражал смешанный терригенный источник органического вещества, представленный пресноводным планктоном (преимущественно диатомовые водоросли рода *Aulacoseira*) и биомассой высших наземных растений.

Более сложное распределение $\delta^{13}\text{C}$ наблюдалось в эстуарных водах, где в 2006 годом по сравнению с предыдущим, отмечено повсеместное утяжеление изотопного состава (см. табл.). Причины такого эффекта состоят в усилении роли автохтонного С взвеси на фоне невысокого водного стока Амура и в ослаблении по данной причине, влияния терригенного источника С.

Значения $\delta^{13}\text{C}$ в Амурском лимане соответствовали общепринятым для углерода наземного органического вещества. Уже на выходах из лимана состав $\delta^{13}\text{C}$ утяжелялся за счет вклада морского планктогенного источника органического углерода. С шельфовыми охотоморскими водами в придонном горизонте к лиману поступает морской планктон (неритический вид *Thalassiosira gravida Cleve* и тихопелагический *Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve*). Из Японского моря привносится морской неритический вид *Odontella aurita (Lyngbyae) Agardh*, а солоноватоводный вид *Cyclotella striata (Kützing) Grunow* развивался на границе лимана с Японским морем. Распределение изотопных величин С укладывается в рамки существующих представлений об особенностях взаимодействия амурских, охотоморских и япономорских водных масс.

Таким образом, даже в течение только одного гидрологического периода реки (весенне-летнее половодье) в эстуарных водах прослеживается изменчивость величин параметров ВМ, $C_{\text{орг}}$ и $\delta^{13}\text{C}$. В водах нижнего течения Амура вариации значений ВМ, $C_{\text{орг}}$ и $\delta^{13}\text{C}$ менее выражены. Очевидно, что изотопный состав С взвеси является одним из критериев, позволяющим идентифицировать генезис водных масс в системе «река-море».

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН (06-I-П17-072, 06-III-A-07-252, 07-III-Д-07-074), РФФИ-ДВО РАН «Дальний Восток», проекта «Комплексные исследования природной среды бассейна реки Амур», ФЦП «Мировой океан».

Scales of the value variabilities for particulate matter concentration, C_{org} and $\delta^{13}\text{C}$ are elucidated within estuarine and riverine waters. The carbon isotopic composition has been demonstrated to be used as a basic guideline in the identification of the water column genesis within the "river - sea" system.

А.В. Егоров, А.Г. Розанов, А.В. Вершинин

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

Использование многоцелевой автономной океанологической станции (Лендер ИО РАН) для исследования химических потоков через поверхность морского дна

A.V. Egorov, A.G. Rozanov, A.V. Vershinin

(P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: avegorov@ocean.ru)

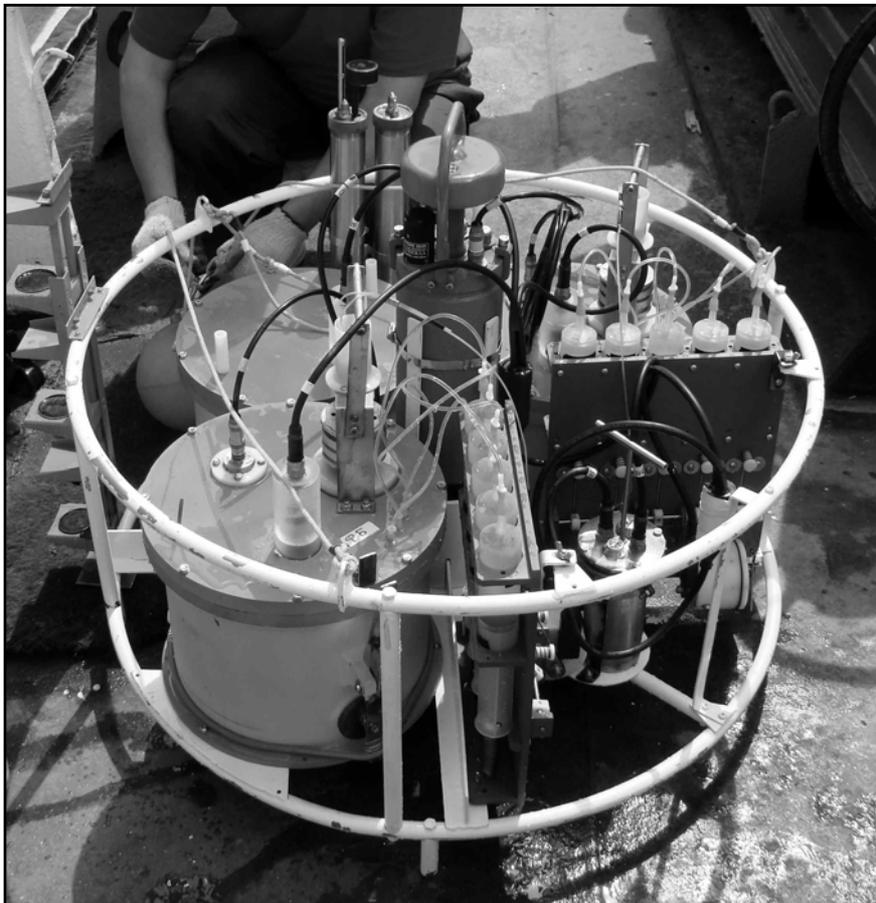
Use of multi-purpose autonomic oceanography station for research of chemical flows through a sea bottom

Лендер – многоцелевая автономная донная океанологическая станция для исследования процессов химического обмена через поверхность раздела вода-дно. Основным элементом лендера является бокс заглубленный, своими краями в грунт, и отсекающий стенками объем воды с частью дна от окружающей воды. Обменные потоки элементов через дно рассчитываются по изменению их концентрации в объеме бокса. Обязательным элементом является организация перемешивания воды в боксе.

Простейшие лендеры не имеют автоматики, устанавливаются на дно водлазом, который и отбирает пробы воды из бокса для химических анализов. Современные лендеры – сложные самовсплывающие технические устройства, работающие в автономном режиме до нескольких суток на глубинах до 6000 метров. Они имеют размеры до нескольких метров, весят более тонны и буквально напичканы автоматикой и всевозможными устройствами для измерения параметров внешней среды. Стоимость их достигает многих сотен тысяч долларов.

Лендер ИО РАН первый российский автономный лендер – начальный этап на пути создания современных отечественных автономных многофункциональных донных станций. Лендер ИО РАН самый миниатюрный из известных автономных лендеров, что дает возможность проводить исследования в акваториях недоступных крупным судам необходимых для обслуживания известных иностранных лендеров. Он состоит из минимально необходимых элементов для обеспечения его работоспособности и нескольких оригинальных компонентов. К первым относятся несущая рама рабочий бокс, снабженный устройством для перемешивания воды, фотометрических датчиков кислорода с блоком питания и накопления данных, блок автоматического отбора проб воды, герметичный корпус для блока питания станции и главного управляющего контроллера, электрические кабели и герметичные разъемы. Ко вторым, относятся дополнительный фоновый бокс и касеты с гидрохиноновыми таблетками и вспомогательный гидрохиноновый бокс для пересчета результатов в закрытой системе бокса на открытую.

При разработке лендера ИО РАН использовался опыт создания одного из лучших в мире лендеров лендера Гетеборгского университета. Испытания российского лендера, проведенные в 2003–2005 годах в Финском заливе в рамках международной программы INTAS (№ 01-0735), показали работоспособность, как отдельных элементов, так и всего лендера ИО РАН в целом. В мае 2005 года при параллельной постановке лендера ИО РАН и шведского лендера Гетеборгского университета были получены практически одинаковые результаты по величинам потоков кислорода и марганца через поверхность раздела вода-дно. Дальнейшие разработки касались усовершенствования надежности конструкции и упрощения процедуры работы с лендером. Испытание новых модификаций проводилось в Черном (2006–2007 гг.) и Балтийском (2007) морях.



На рисунке представлен общий вид последней модификации станции, испытание которой проводилось в июне 2007 года в Балтийском море при глубинах 70–100 метров, и в июле 2007 года в Черном море при глубинах 12 метров. Испытания прошли успешно. Были получены новые данные о величинах диффузионных потоков кислорода, марганца, кремния, фосфора, и железа. Получены так же данные по величине направлению и изменчивости скорости придонных течений, а так же данные по температурному режиму придонных вод.

Величины потока кислорода направленного из воды в осадок для Балтийского моря (Гданьский залив) оказались невысокими, порядка 9–10 мМ/м² сут. Эти значения можно считать типичными для Балтики. В то же время полученные величины диффузионных потоков других компонентов несколько ниже, чем в других районах Балтики.

Наиболее интересные результаты получены для осадков Черного моря. Эти осадки представлены черными органогенными илами, отлагающимися тонким слоем на небольшой глубине в районе Голубой бухты. Осадки местами покрыты тонкой белесой пленкой бактериальных матов. Для этих осадков характерно выделение пузырьков метана, которые достигают поверхности воды. Было сделано две постановки станции с рабочим интервалом времени 20 и 40 часов. Наиболее ярким проявлением интенсивных биогеохимических процессов происходящих в исследуемых осадках было полное исчерпание кислорода в рабочем боксе всего за 16 часов. Рассчитанное значение потока кислорода в осадок составило более 100 мМ/м²сут, что на порядок превышает типичные значения, как для Балтийского, так и для Черного морей. Потоки других компонентов (Mn²⁺, PO₄³⁻, SiO₄⁴⁻ и Fe) также на порядок, (а для фосфора на два порядка) выше, чем для осадков Балтики.

Столь высокие потоки, трудно измерить каким либо другим способом. Поэтому использование созданной в ИО РАН автономной станции открывает широкие возможности при изучении интенсивных биогеохимических процессов, в которых тонкий поверхностный слой является зоной самых интенсивных процессов.

The multi-purpose autonomic oceanography station for research of chemical flows through a sea bottom is developed in P.P. Shirshov Institute of Oceanology. This station has been named the "IO RAS Lander". The station was tested in Baltic and Black seas during 2005–2007 years. For the Black sea an extremely high oxygen flux from water to bottom was received.

С.П. Захарков, А.А. Босин, Т.Н. Гордейчук

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

Связь современной продуктивности с концентрацией органического вещества и хлорина в поверхностных осадках Охотского моря

S.P. Zakharkov, A.A. Bosin, T.N. Gordeichuk

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

The relationship modern production with concentration organic matter and chlorine in surface sediments in the Sea of Okhotsk

В работе рассматриваются данные о распределении современной первичной продукции (ПП) фитопланктона и показателей палео-продуктивности в поверхностных осадках Охотского моря. В качестве показателей палео-продуктивности нами использовалась концентрация в осадках продуктов распада хлорофилла – хлорина (ХЛ) и органического вещества (ОВ). Показатели изменения первичной продуктивности важны для понимания и реконструкции климата в прошлом

Ранее нами для различных районов Охотского моря было показано, что концентрация органического вещества в поверхностных осадках пропорциональна величинам первичной продукции этих районов [1]. В современном океане продуктивность планктона можно оценить как радиоуглеродным методом, так и через концентрацию хлорофилла в морской воде. Хлорофилл не сохраняется в осадках, в отличие от значительно более долговечного хлорина (совокупности продуктов трансформации хлорофилла а – в основном фитинов и форбидов), поэтому для реконструкции изменений первичной палеопродукции с недавних пор применяется хлориновый метод [2, 3, 4]. Кроме того, он представляется более точным для определения палеопродукции по сравнению с методами, использующими традиционные показатели, поскольку, например, аморфный кремнезем создается только диатомеями, а хлорин – результат жизнедеятельности всего фитопланктона, органический же углерод может быть частично наземного происхождения.

Первичная продукция в западной части Охотского моря определялась нами в 1999 и 2000 гг. [5]. Для остальной акватории Охотского моря нами использовались данные, полученные Ю.И. Сорокиным [6]. Для расчета годовой ПП по продукционным характеристикам, определённым в различные сезоны, использовалась методика, применённая в этой же работе [6] (рис. 1).

Концентрация хлорина определялась по методике, разработанной нами ранее [4]. ОВ определялось по общепринятым методам. Пробы для определения хлорина и ОВ в поверхностных осадках отбирались “Multicorer” (рис. 2А, 2Б).

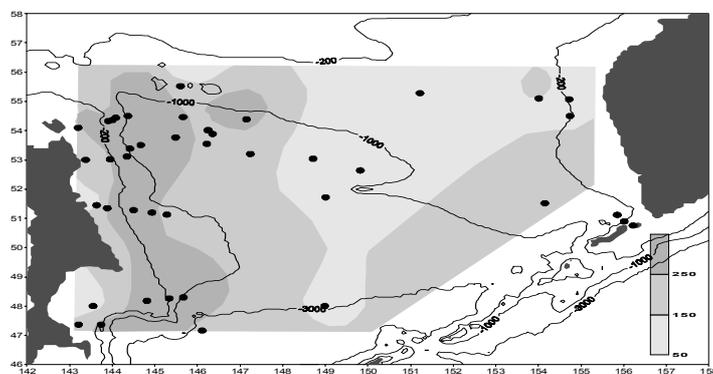


Рис. 1. Распределение годовой ПП в Охотском море $гС/м^2/год$

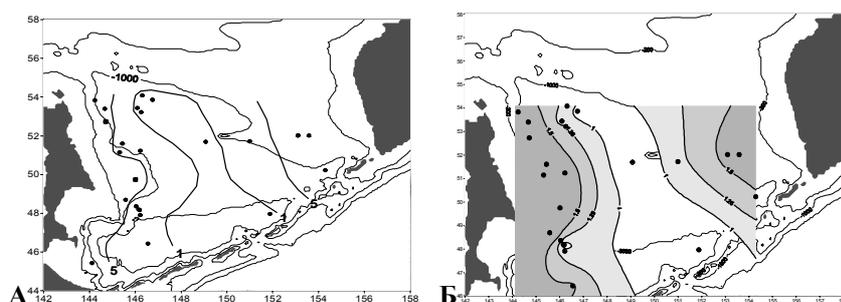


Рис. 2. Пространственное распределение: А - ХЛ ($мг/г$ сухого осадка) и Б – ОВ (%) в поверхностных осадках.

Кроме того, нами рассматривалось распределение ОВ в поверхностных осадках, взятое из работы П.Л. Безрукова [7].

Пространственное распределение вышеуказанных параметров (годовая ПП, концентрация ХЛ и ОВ в поверхностных осадках) было похоже для изучаемого района Охотского моря.

Наибольшее значение годовой первичной продукции и ОВ по [7] в поверхностных осадках отмечалось на шельфе и начале свала глубин у восточной части острова Сахалин и Западной Камчатки. Уменьшение продукционных характеристик происходило как в направлении к берегам, так и к центральной части Охотского моря. Минимальные значения этих параметров наблюдались в центральной части Охотского моря. Распределение концентраций ХЛ и ОВ, изученных нами, имело несколько другую картину. В связи с тем, что пробы ХЛ и ОВ не отбирались на мелководных участках, таких, как шельф и начало свала глубин, на рис. 2А и 2Б не прослеживается уменьшения концентрации в направлении берегов Восточного Сахалина и

Западной Камчатки. В направлении к центральной части Охотского моря наряду с уменьшением этих параметров происходит уменьшение отношения ХЛ/ОВ, связанного с особенностями фотосинтеза в прибрежной и морской частях Охотского моря.

1. *Zakharkov C.P., Biebow N., Selina M., Gorbarenko S.A.* Modern primary production, biomass and phytoplankton species composition the Okhotsk Sea in water; organic carbon transformation into sediment KOMEX-2000. April 17–20.2000. Moscow, Russia. P.84.

2. *Harris P.G., Zhao M., Rosell-Mele A. et al.* Chlorin accumulation rate as a proxy for Quaternary marine primary productivity // *Nature*. 1996. Vol. 383. P. 63–65.

3. *Higginson M.J., Maxwell J.R., Altabet M.A.* Nitrogen isotope and chlorin paleoproductivity records from the Northern South China Sea: remote vs. local forcing of millennial- and orbital-scale variability // *Marine Geology*. 2003. № 201. P. 223–250.

4. *Захарков С.П., Босин А.А., Горбаренко С.А.* Содержание хлорина в морских осадках как индикатор палеопродуктивности // *Вестник ДВО*. 2007. С. 52–58.

5. *Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Гордейчук Т.Н., Ванин Н.С.* Первичная продукция западной части Охотского моря в весенний период // *Продуктивность и функционирование морских систем*". Наука, 2008 (в печати).

6. *Сорокин Ю.И.* Первичная продукция в Охотском море // *Комплексные исследования экосистемы Охотского моря*. М.: Изд-во ВНИРО. С. 103–110.

7. *Безруков П.Л.* Донные отложения Охотского моря // *Тр. Института океанологии*. 1960. Т. 32. С. 76.

The paper presents distribution the modern annual primary production and the of several paleoproductivity proxies (organic carbon and chlorin) in surface sediments in the Sea of Okhotsk. It was shown decrease these parameters in the direction of central part of Okhotsk Sea similarly to changes primary production.

В.В. Зернова, М.М. Доманов

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

**Арктобореальный фитопланктон в надшельфовой зоне
Камчатки и Сахалина**

V.V. Zernova, M.M. Domanov

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

**Arcto-boreal phytoplankton community in overshelf zones
of Kamchatka and Sakhalin**

Область максимальной концентрации аморфного кремнезёма в современных осадках Охотского моря находится вдали от берегов и наблюдается в центральной части моря. В тоже время зоны максимальной продукции диатомового фитопланктона располагаются в прибрежных районах. В докладе представлены данные о видовом и количественном составе летнего фитопланктона в восточной и западной прибрежной части Охотского моря, диатомовый океанический комплекс которого является основным источником аморфного кремнезёма в осадках.

Материалы получены в 51-м рейсе научно-исследовательского судна (НИС) «Профессор Хромов» в июне 2004 г. на шельфе к югу от Камчатки и у Сахалина на периферии перманентно развивающегося в это время апвеллинга.

В период исследования фитопланктон был представлен диатомеями: рода *Chaetoceros* (*Ch. atlanticus*, *Ch. concavicornis*, *Ch. curviretus*, *Ch. furcellatus*) и их спорами; *Cylindrotheca closterium*, *Neodenticula seminae*, *Licmophora* sp. *Nitzsca* sp. *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix longissima*, *Thalassiothrix frauenfeldianum*; динофлагеллатами – *Ceratium arcticum*, *Goniaulax minima*, *Pronoctiluca pelagica*, *Prorocentrum balticum*, *Protoperidinium depressum*, *Oxytoxum turbo*, *O. sceptrum* и др. Среди простейших наиболее массовыми формами были: *Strombidium*, *Micronectra rubra*, тинтиниды, а также фораминиферы (глобитерины) и науплиусы копепод.

Сравнительный анализ показал, что общая численность фитопланктона в надшельфовой зоне на поверхности у Сахалина в 10 раз, а биомасса в 85 раз выше, чем в надшельфовой зоне у Камчатки. На глубине 100 м средняя численность фитопланктона у Сахалина была в 3 раза ниже, чем у Камчатки, а биомасса – в 2 раза ниже. На глубине 50 м численность и биомасса были практически одинаковы в обоих районах. В отличие от полигона у Камчатки, в районе Сахалина, где развивалось более молодое сообщество фитопланктона, оседания клеток диатомей не отмечено. Разносезонное состояние фитоцена Охотского моря в районе Камчатки и Сахалина подтверждается анализом соотношения основных групп фитоцена. В районе Камчатки фитоцен находился в более поздней летней стадии развития. Доминирующим был род *Thalassiosira*, род *Chaetoceros* заканчивал свое развитие и находился в стадии активного спорообразования, а большую часть его попу-

ляции представлены спорами. Доля диатомей в общей биомассе поверхностного слоя была 49%.

В районе Сахалина в это время фитоценоз был в более ранней стадии развития. Доминировал в поверхностном слое род *Chaetoceros*, в слое 50 м – *Thalassiosira* spp. Доля диатомей в общей биомассе в поверхностном слое была 99%, доля динофлагеллат минимальна (1%).

В прибрежных водах Камчатки океанические виды были представлены *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiothrix frauenfeldianum*, *Coscinodiscus* sp., *Neodenticula seminae*, *Fragilariopsis oceanica*. Неретический комплекс представлен диатомеями: рода *Chaetoceros* и его спорами, *Thalassiosira* spp. *Thalassiosira nordenskiöldii*. В западной части Охотского моря на шельфе Сахалина океанический комплекс был представлен *Probocia alata*, *Neodenticula seminae*, *Thalassiothrix longissima*. Доминирующими неретическими видами были – *Ch. atlanticus*, *Ch. socialis*, *Ch. convolutes*, *Ch. concavicornis*, *Thalassiosira rotula*.

У Камчатки и у Сахалина в период наблюдения доминирования неретического или океанического комплекса не наблюдалось (как по биомассе, так и по численности). Мы встретились со смешанным типом сообществ, развивающихся в эвтрофных прибрежных водах. Явное доминирование тех или иных видов отмечалось только на отдельных горизонтах. Так доминирование неретических видов, в частности *Chaetoceros* и его спор отмечалось на горизонте 50 м в зоне наибольших градиентов плотности. Такое «доминирование» обусловлено опусканием отмирающих клеток и спор.

Сопоставление данных А.П. Жузе, о видовом составе диатомовых створок в осадках с видовым составом фитопланктона в поверхностном слое показало, что из неретических видов, указанных А.П. Жузе, только род *Chaetoceros* и *Thalassiosira* spp. вносят вклад в образование аморфного кремнезёма в осадке в данных районах в летний период, тогда как океанический комплекс представлен более широким спектром видов диатомей, которые растворяются и не достигают дна.

Complex study of the arcto-boreal phytoplankton community in Kamchatka region and near East Sakhalin region in summer 2004 year were performed. The species composition of phytoplankton communities and species composition in bottom sediment were compared.

**Л.А. Кодина, В.Г. Токарев, Г.С. Коробейник,
Л.Н. Власова, М.П. Богачева**

(Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
Москва, kodina@geokhi.ru)

**Образование газовых углеводородов C₂₊ в раннем диагене-
зе органического вещества в водной толще Карского моря**

L.A. Kodina, V.G. Tokarev, G.S. Korobeinik,

L.N. Vlasova, M.P. Bogacheva

(V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and analytical Chemistry, Moscow)

**Origin of gaseous hydrocarbons C₂₊ in the Kara Sea
as a consequence of early diagenetic alteration of organic
matter in the water body**

Сведения по геохимии УВ газов в морях Арктики крайне ограничены и посвящены в основном метану [1]. В осадках Карского и Берингова морей отмечалось присутствие УВ C₂₊ газов [1–3]. В данной работе основной акцент сделан на недостаточно изученных вопросах происхождения и источников газовых УВ C₂₊ в морской акватории арктического региона.

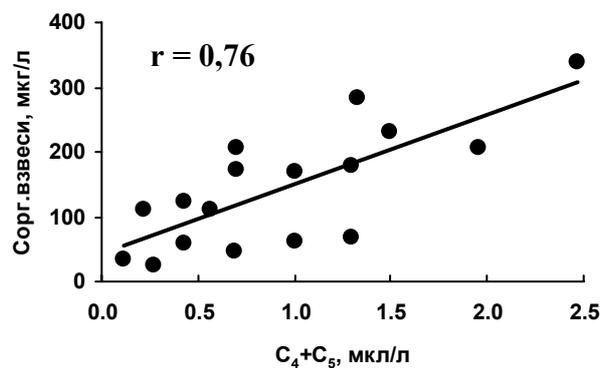
Работа выполнена на основе данных по распределению углеводородных газов C₂–C₅ (УВ C₂₊) по вертикальным разрезам водной толщи, выполненным в период 1997–2002 гг. на борту нис “Академик Борис Петров“ вдоль протяженных меридиональных профилей Обь–Карское море и Енисей–Карское море (от 69° до 78° с.ш.), в сочетании с обширной информацией изотопно-геохимического исследования элементов цикла углерода и гидрохимическими параметрами водной толщи опубликованными в статье [4].

В пресных водах эстуариев обеих рек преобладает метан (максимальные концентрации до 8 мкл/л), в морских – сумма газов C₂–C₅. В составе газов C₂₊ около 80% приходится на УВ C₄ +C₅ и 20% – на C₂–C₃. Содержание олефинов в пресных водах не превышает нескольких процентов от суммы C₂₊, в морской воде – достигает 6–15%.

Поведение высших углеводородов в поле солёности принципиально отличается от метана. В пресной воде эстуариев суммарная концентрация УВ C₂₊ сопоставима с содержанием метана или превышает его (1,3–3,6 мкл/л). В депозитре седиментации отмечается резкий спад концентрации всех газов. В открытом море к северу от эстуарной зоны концентрация УВ C₂₊, в отличие от метана, вновь быстро возрастает до уровня 3–4 мкл/л. (Обский профиль) и 5–6 мкл/л. (Енисейский профиль), превосходя в несколько (до 10) раз концентрацию метана. Особенно заметно проявляется повышение концентрации суммы газов C₂₊ в области пикноклина и придонной воде. Как и поверхность раздела вода–дно, область пикноклина выделяется своими гидрохимическими характеристиками и повышенным уровнем биохимической

активности. Измерения, выполненные на борту судна, показали, что интенсивность дыхания бактериального сообщества (по поглощению кислорода) в пикноклине примерно вдвое выше, чем в поверхностной воде [5]. Скопление биомассы фитопланктона на градиенте плотности инициирует развитие гетеротрофной, прежде всего бактериальной активности, которая приводит к деструкции и минерализации ОВ. В результате в пикноклине отмечается повышенная концентрация биогенных элементов, понижается содержание кислорода и одновременно в Обском эстуарии возрастает концентрация метана (до 1–1,5 мкл/л), по сравнению с фоновыми концентрациями (0,3–0,7 мкл/л) в поверхностной морской воде.

Относительно высокая концентрации газов C_{2+} в воде является следствием их перманентного новообразования, сопряженного с процессами биогеохимической деструкции ОВ (взвеси) в водной массе. Фрагменты биомолекул составляют структурную основу для последующего образования газовых молекул. Доказательством генетической связи УВ C_{2+} и ОВ водной массы служит обнаруженная нами положительная корреляционная связь между концентрацией УВ C_4-C_5 и взвешенного $C_{орг.}$ в воде, проявляющаяся по всему меридиональному разрезу независимо от солености воды и концентрации взвешенного материала (рис.).



Корреляционная связь между содержанием УВ C_4-C_5 и взвешенного $C_{орг.}$ в воде (меридиональный разрез р. Енисей-Карское море)

В соответствии с отмеченной закономерностью, концентрационные пики УВ C_2-C_5 проявляются по профилю синхронно пикам концентрации терригенного ОВ в составе взвеси – в эстуарии и морской биопродукции – в открытом море. Особенно показателен динамичный процесс новообразования УВ C_4-C_5 в северной части акватории, за пределами депоцентра седиментации речной взвеси, где влияние речного стока практически отсутствует и

в составе ОВ взвеси более 70% составляет автохтонная биопродукция на основе морского фитопланктона. Свежее, пабильное ОВ взвеси с высоким содержанием $S_{орг.}$ (до 25%) служит хорошим субстратом для развития активности организмов гетеротрофной цепи и образования УВ на основе фрагментов биомолекул. В ранних опытах Ханга и Вилан с культурами бактерий *in vitro* была показана эффективность терпеноидов в качестве источника C5-структур – предшественников высших УВ газов [6].

УВ C2 и C3, а также деструктивный метан образуются из низкомолекулярных, неспецифичных фрагментов ОВ, прежде всего – терригенного ОВ, включая продукты окислительного диагенеза ароматических структур лигнина в условиях суши.

1. *Большаков А.М., Егоров А.В.* Океанология. 1995. Т. 35. № 3. С. 399–404.
2. *Яшин Д.С., Данюшевская А.И.* Проблемы нефтегазоносности Мирового океана // Сб научных трудов Комиссии по проблемам Мирового океана АН СССР / Отв. ред. А.А. Геодекян, И.С. Грамберг, Ю.М. Пушаровский. М.: Наука, 1989. С. 206–213.
3. *Kvenvolden K.A., Redden G.D.* Geochim. Cosmochim. // Acta. 1980. V. 44. P. 1145–1150.
4. *Галимов Э.М., Кодина Л.А., Степанец О.В., Коробейник Г.С.* Геохимия. 2006. № 11. С. 1139–1191.
5. *Meon B., Köhler H.* Rep. Polar and Marine Res. 2002. V. 419. P. 121–126.
6. *Hunt J.M., Miller J.M., Whelan J.K.* Nature. 1980. V. 288. P. 577–578.

Concentration of the hydrocarbion gases C2+ is unaffected by the water mass salinity as opposed to methane. Positive correlation was observed between concentrations of the gases and organic suspension in the sea water. This can be considered as an evidence of genetic relationship between the both, with marine phytoplankton being the most effective precursor of the higher homologues C4–C5 in sea water. Terrestrial organic matter of the riverine run-off might take part in formation of C2–C3 gases.

Н.М. Кокрятская, О.Н. Воронцова

(Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск,
e-mail: nkokr@yandex.ru)

**Восстановленная сера и органический углерод
в донных осадках устья Северной Двины**

N.M. Kokryatskaya, O.N. Vorontsova

(Institute of ecological problems in the North Ural Branch, Russian Academy of Science,
Arkhangelsk)

**Reduced sulfur and organic carbon in the sediments
of the North Dvina estuary**

Настоящие исследования направлены на изучение особенностей геохимического поведения серы и углерода в условиях приливного устья реки. Выполнены определения количественного содержания различных форм серы и углерода в верхнем слое (до 10 см) донных осадков левого берега устья Северной Двины. Пробы для выполнения работы были отобраны в конце летней межени 2005 года у левого берега основного русла реки и далее по Никольскому рукаву (более 30% суммарного стока реки в ее дельте) вплоть до Двинского залива Белого моря. Общая протяженность участка обследования около 80 км. Отобранные пробы были представлены, главным образом, илистыми песками с достаточно весомой примесью алеврита и влажностью от 20 до 40% (здесь и далее в расчете на сухой осадок).

Общее количество серы в исследованных донных отложениях изменялось в интервале от 0,014 до 0,552%, при этом не менее 80% ее количества приходилось на долю ее восстановленной формы. Общая восстановленная сера осадков ($\sum S_{H_2S}$) представляет собой сумму серы сульфидов, растворимых в разбавленной соляной кислоте (S^{2-}); элементной серы (S^0), серы пирита ($S_{\text{пир}}$) и серы, связанной с органическими веществами ($S_{\text{орг}}$). В распределении $\sum S_{H_2S}$ вдоль изучаемого участка реки можно отметить две области ее относительно повышенного содержания (рис. 1а). В первом случае это зона вблизи выпуска биологически очищенных сточных вод Архангельского ЦБК. Содержание всех форм восстановленной серы увеличивается здесь в 2–4 раза по сравнению с рядом расположенными станциями. Необходимо отметить, что в данных условиях восстановленная сера, кроме диагенетического, может иметь и техногенный генезис. Так сульфидная (кислоторастворимая) и элементная сера образуются в технологическом цикле производства сульфатной целлюлозы, а органическая поступает в водоем с волокнами активного ила, использующегося для очистки стоков. Кроме того, представляется возможным поступление органической серы в составе сульфатного лигнина и других высокомолекулярных соединений, образовавшихся в процессе производства сульфатной целлюлозы и очистки стоков. В отличие от трех вышеперечисленных форм, пирит не является компонен-

том, специфичным для сточных вод предприятий ЦБП. Скорее всего, возрастание количества пиритной серы вблизи выпуска сточных вод является отражением интенсификации самого процесса сульфатредукции как под влиянием локального увеличения концентрации сульфатов, так и вследствие поступления со стоками лабильных органических веществ (рис. 1б).

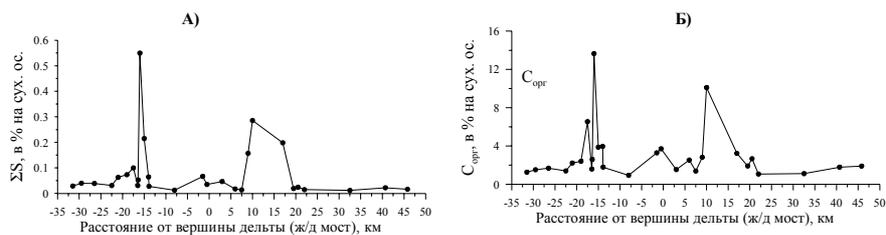


Рис. 1. Распределение восстановленной серы и органического углерода вдоль левого берега Северной Двины

Вторая область повышенного содержания $\Sigma S_{\text{H}_2\text{S}}$ расположена в Никольском рукаве дельты реки. Интенсификация сульфатредукции при этом обусловлена, скорее всего, естественными причинами – периодическим поступлением сульфатов с морскими водами во время приливов и повышенным количеством органики (рис. 1б).

Поскольку интенсивность процесса сульфатредукции, как и в целом, изменение осадков в диагенезе определяется качеством органического вещества, был выполнен комплекс работ по выделению в его составе фракции гуминовых веществ. Гуминовые вещества (ГВ) извлекали из осадков 0,5н раствором щелочи, затем осаждали концентрированной серной кислотой гуминовые кислоты (ГК), а фульвокислоты (ФК) оставались в растворе. Таким образом, из осадка извлекались несорбированные и слабо сорбированные ГВ, а их количество оценивалось по содержанию органического углерода (бихроматноспектрофотометрическим методом), что давало возможность напрямую соотносить содержание ГВ с общим содержанием в осадках $C_{\text{орг}}$. (рис. 2).

Содержание гуминовых веществ в осадках устья реки преимущественно изменялось в интервале от 0,22 до 0,70% (медиана 0,34%). В общем содержании $C_{\text{орг}}$ доля ГВ оставалась на уровне 20%, несколько увеличиваясь в самом верхнем (0–1 см) слое осадков в дельте реки – 40–50% от $C_{\text{орг}}$. Основной вклад в формирование уровня концентраций гуминовых веществ вносят фульвовые кислоты – в среднем 70,0% от ГВ.

Распределение ГВ в целом повторяет распределение $C_{\text{орг}}$: коэффициент парной корреляции между ними равен 0,81 ($n=25$). В районе выпуска стоков АЦБК отмечается локальный максимум содержания ГВ (рис. 2а), простран-

ственно совпадающий с расположением максимума содержаний органических веществ, однако в целом с ним не согласованный – коэффициент корреляции между ними на этом участке был хотя и значимым, но невысоким ($r = 0,63$, $n = 15$). Близкий уровень содержания как ГВ в целом, так и ГК и ФК выше, вблизи и ниже по течению реки от сброса стоков АЦБК позволяет говорить об их преимущественно природном происхождении. Некоторое превышение содержания ФК над ГК на этом участке можно объяснить легкостью биodeградации щелочного лигнина, содержащегося в стоках комбината, до уровня фульвовых кислот. Возможная конденсация низкомолекулярных органических веществ также может привести к образованию аналогов фульвовых кислот.

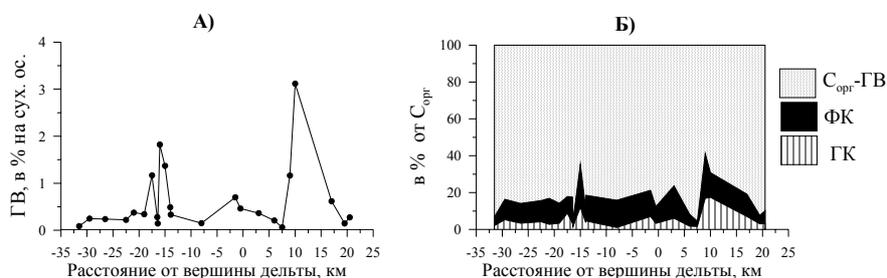


Рис. 2. Распределение гуминовых веществ и их вклад в состав $C_{орг}$ в донных осадках левого берега устья Северной Двины

Максимальные концентрации гуминовых веществ – 3,12% отмечены в дельте реки, причем уровень содержания ГК был не только сопоставим с уровнем содержаний ФК, но даже превышал его – соотношение ФК/ГК составляло 0,77 (при среднем значении для всей выборки 3,0). Скорее всего, именно здесь начинается коагуляция тонкой речной органики на геохимическом барьере река–море под воздействием электролита морской воды, проникающей в дельту во время приливов. Сопласуются с этим предположением полученные нами данные по распределению в этих осадках реакционноспособного железа, образующего полидисперсные системы и комплексы с гуминовыми веществами.

The investigation of the distribution of the reduced sulfur compounds and humic substances in the sediments of the Northern Dvina estuary was carried out. In delta of the river the zone of their specific behaviour caused by coagulation of a river fine suspension on a river-sea geochemical barrier is allocated.

К.Н. Кособокова

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

Зоопланктон в седиментационных ловушках – метод изучения популяционной динамики планктонных популяций

K.N. Kosobokova

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

Zooplankton swimmers in the sediment traps – a tool to investigate the population dynamics of the plankton populations

Присутствие планктонных животных в седиментационных ловушках, предназначенных для сбора оседающих частиц и оценки вертикальных потоков вещества в толще воды – хорошо известное явление. В случаях, когда содержимое ловушек не фиксируется немедленно, живые планктеры могут оказывать существенное воздействие на содержимое ловушек. С одной стороны, они могут выесть часть содержимого, с другой, обогащать его, выделяя фекальные пеллеты. Оба процесса нарушают состав естественной взвеси и, тем самым, оказывают нежелательный, с точки зрения седиментологов, эффект. С точки зрения биологов, однако, изучение состава зоопланктона в долгосрочных ловушках в арктических районах дает много интересной информации, которую трудно получить другими способами. Сезонные сборы зоопланктона в таких районах затруднены, поэтому пробы седиментационных ловушек становятся средством получения данных о сезонной динамике зоопланктона и особенностях экологии отдельных видов. В настоящей работе анализируется состав зоопланктона из долгосрочных седиментационных ловушек, установленных в Карском море с сентября 2002 по август 2003 г. и с октября 2003 по май 2004 г. Рассмотрены данные о сезонных изменениях видового состава зоопланктона и возрастной состав популяций массовых видов. Для 4-х видов, размножающихся зимой, установлена продолжительность периода размножения. По количеству яиц в яйцевых мешках (*Drepanopus bungei*) или количеству ооцитов в яичниках (*Pseudocalanus major*, *P. minutus*) определена плодовитость самок. Полученные данные используются для описания хода сезонных процессов в пелагиали Карского моря.

К.Н. Кособокова

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

**Вклад зоопланктона в процессы биоседimentации
в мезопелагиали Арктического бассейна**

K.N. Kosobokova

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

**Contribution of zooplankton to biosedimentation processes
in the mesopelagic zone of the Arctic Ocean**

Характерной особенностью планктонных сообществ Арктического бассейна в летний период является бедность видового состава зоопланктона и выраженное преобладание 3–4 видов в эпипелагиали, наряду с высоким разнообразием видов и отсутствием ярко выраженного доминирования каких-либо компонентов в мезопелагиали. Виды, доминирующие летом в приповерхностных слоях (преимущественно р. *Calanus*) приспособлены к существованию в условиях резких сезонных изменений пищевых ресурсов и использованию краткосрочных всплесков развития фитопланктона. Как правило, период отсутствия фитопланктона они проводят за пределами эпипелагиали в неактивном состоянии. По этой причине основной вклад эпипелагических сообществ в биоседиментационные процессы в пелагиали приходится на весенне-летний период. Сообщества мезопелагиали существуют за счет органики, поступающей из эпипелагиали, и вторичной продукции, создаваемой в самой мезопелагиали. По материалам, собранным с 1993 по 2007 г. в 6-ти экспедициях э/с «Полярштерн» было проведено изучение трофической структуры мезопелагических сообществ Арктического бассейна и оценка их вклада в биоседиментационные процессы. Результаты исследований показали, что эти сообщества состоят из всеядных, хищных и детритоядных животных, нуждающихся в пище круглый год. В лабораторных условиях, максимально приближенных к естественным, на борту судна были исследованы особенности пищевого поведения отдельных мезопелагических животных и адаптации, позволяющие им эффективно использовать доступные пищевые ресурсы. Проведены оценки скорости продукции фекальных пеллет наиболее массовыми мезопелагическими видами копепод, а также измерены скорости погружения пеллет. На основании полученных данных проведена оценка вертикальных потоков пеллетного материала в мезопелагиали Арктического бассейна и сравнение их с потоками пеллетного материала из поверхностных слоев океана в летний период.

Е.А. Кудрявцева

(Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Калининград, kudryavtzeva@rambler.ru)

**Пространственная неоднородность первичной продукции
и бактериальной деструкции органического вещества в
Гданьском бассейне Балтийского моря**

Е.А. Kudryavtzeva

(Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad)

**Spatial inhomogeneity of primary production and bacterial
destruction of organic matter in the Gdansk basin
of the Baltic Sea**

В процессе фотосинтеза происходит биомеханическая дифференциация растворенного вещества, связанная с возникновением твердой фазы за счет растворенных форм элементов: образуются новые компоненты в виде твердых соединений. Это первый класс биомеханической дифференциации вещества в океане [1].

В течение 2003–2007 гг. в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря радиоуглеродным методом были проведены сезонные определения первичной продукции фитопланктона и бактериальной деструкции органического вещества. В результате получены средние за пять лет величины и схемы пространственного распределения интенсивности этих процессов, а также величины их соотношения (рис. 1–3).

Первичная продукция северной части Гданьского бассейна составляет $203 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$, бактериальная деструкция в фотическом слое равна $253 \text{ г С} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ [3]. Причиной продукционно-деструкционного дисбаланса органического вещества может быть адвекция аллохтонной органики. Наиболее вероятный источник – гиперэвтрофный Куршский залив, откуда в Балтийское море ежегодно поступает 230 тыс. т органического вещества [2].

Самые высокие значения первичной продукции фитопланктона характерны для северного побережья Самбийского полуострова, особенно у основания Куршской косы. Это, вероятно, обусловлено влиянием апвеллинга, который возникает при северном направлении ветра у середины Куршской косы. Максимум повторяемости этих ветров приходится на весенний и летний периоды. Другим стимулирующим продукцию фактором может быть поступление бытовых и промышленных стоков с побережья.

Практически все органическое вещество подвергается бактериальной деструкции уже в фотическом слое, повышенные значения которой получены в северной части акватории и у побережья Куршской косы. Видимо, на этот район оказывают влияние воды Куршского залива, распространению которых вдоль побережья способствуют северные и западные ветра и формирование к осени и зиме прибрежного поверхностного антициклонального кру-

говорота. Анализ соотношения величин продукции и деструкции указывает на источник органического вещества, расположенный у северного побережья Самбийского полуострова.

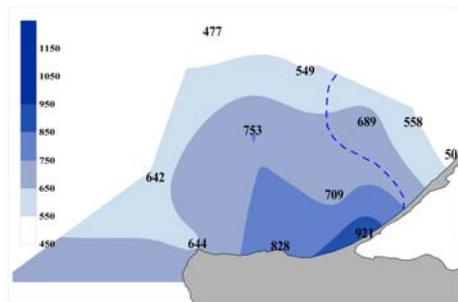


Рис. 1. Первичная продукция фитопланктона, $\text{мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ (пунктиром показан район апвеллинга)

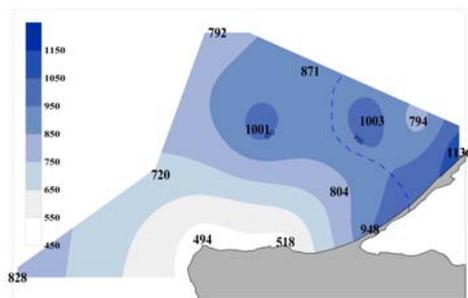


Рис. 2. Бактериальная деструкция органического вещества в фотическом слое, $\text{мг С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ (пунктиром показан район апвеллинга)

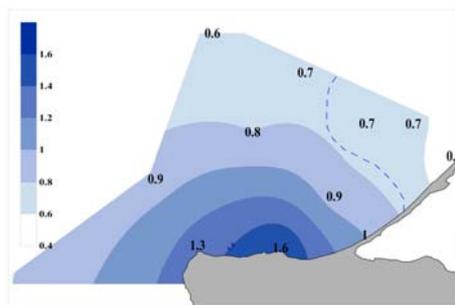


Рис. 3. Отношение первичной продукции фитопланктона к бактериальной деструкции органического вещества в фотическом слое

1. *Лисицин А.П.* Биодифференциация вещества в океане и осадочный процесс // Биодифференциация осадочного вещества в морях и океанах. Изд-во Ростовского ун-та. С. 3–65.

2. *Jokšas K., Galkus A., Stakėnienė R.* The Only Lithuanian Seaport and its Environment. 2003. P. 314.

3. *Kudryavtzeva E.A., Kudryavtzev V.M.* Primary production of phytoplankton and bacterial destruction of organic matter in Russian sector of the south-eastern Baltic. Estuarine ecosystems: structure, function and management. Abstracts. Kaliningrad, 2007. P. 68–69.

The primary production of phytoplankton and bacterial destruction of organic matter were measured with the radiocarbon method in the south-eastern Baltic Sea in 2003–2007. In spring, summer and autumn the production-destruction processes are maintained at fairly high level, but remain low at the beginning of March. The offshore water of the northern coast of the Sambian peninsula is the most productive. High intensity of destruction in photic layer is near the Curonian spit and in the northern part of researching area.

А.В. Куршева, Д.А. Коновалов

(ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: a.kursheva@mail.ru)

Геохимическая интерпретация данных спектрофлуориметрического изучения ароматических углеводородов в донных отложениях арктических акваторий

A.V. Kursheva, D.A. Kononov

(VNIIOkeangeologiya, St. Petersburg, e-mail: a.kursheva@mail.ru)

Geochemical Data Interpretation of Spectral Fluorescence Analysis of Aromatic Hydrocarbons in Bottom Sediments of Arctic Water Areas

Информация о содержании и распределении углеводородов, в том числе ароматических (АУВ), в компонентах геологической среды акваторий позволяет решать задачи прогноза нефтегазоносности недр и одновременно создает основу для последующего геоэкологического контроля при разведочных и добычных работах. Применение для этих целей флуоресцентной спектрометрии (наборный экспрессный метод на базе анализатора «Флюорат-02-Панорама») показало высокую информативность и достоверность аналитических данных, которые были заверены последующими камеральными битуминологическими исследованиями.

Вместе с тем, полученный к настоящему времени обширный фактический материал (более 500 донных станций) позволяет расширить область применения спектрофлуориметрического метода и перейти от количественной оценки содержания в донных отложениях АУВ к определению их композиционного состава и, как следствие, выявлению генетических и литофациальных параметров осадконакопления.

Материалом послужили пробы донных осадков, отобранных в ходе научно-исследовательских рейсов, осуществленных ФГУП «ВНИИОкеангеология» в 2000–2005 гг. в западном секторе Арктического региона (Печорское, Баренцево, Карское моря).

При изучении спектров флуоресценции основной характеристикой образца является длина волны максимума флуоресценции и/или возбуждения и их интенсивность. Характерная полоса возбуждения флуоресценции в диапазоне длин волн $240 \div 310$ нм, связана с ароматическими структурами бензольного и нафталинового ряда. Три- и тетра-ароматические углеводороды характеризуются спектральными полосами в диапазоне $310 \div 360$ нм, полиядерные (пента- и более) арены – в диапазоне $360 \div 460$ нм. Для смолистых компонентов характерно возбуждение флуоресценции в диапазоне 490 нм и в более длинноволновой области.

Результаты обработки базы данных спектрофлуоресцентного исследования липидной фракции ОВ донных отложения западно-арктического шель-

фа позволили выявить специфические параметры, характеризующие различные лито-фациальные группы осадков.

Так для песчаных разностей характерно преобладание низкомолекулярных би- и триароматических соединений, поверхностно сорбированных минеральными частицами из поровых вод. Это согласуется с низкой сорбционной емкостью грубозернистых осадков и отсутствием в их составе прочных органо-минеральных комплексов, содержащих продукты деструкции исходного ОВ.

В пелитовых отложениях преобладают тетра- и пента-ароматические структуры, типичные компоненты липидной фракции ОВ постседиментационной и раннедиагенетической стадий преобразования. При этом, изменение спектральной характеристики осадков в стратиграфическом разрезе полностью отражает процессы диагенетической трансформации ОВ, включая ароматизацию и новообразование ряда соединений, например перилена.

Присутствие в осадках глубоко преобразованного органического материала, содержащего широкий набор высокомолекулярных ароматических соединений, формирует совершенно особый тип спектра, интерфейс которого принципиально отличается от такового для современных морских осадков.

Влияние эндогенных процессов (сипинговая миграция УВ) также приводит к существенному искажению фонового спектра за счет образования интенсивной полосы в коротковолновой области.

Полученные результаты, заверенные данными хромато-масс-спектрометрического анализа, позволяют считать разработанную методику исследований удовлетворяющей требованиям многоцелевой геохимической съемки.

Processing of the database of aromatic hydrocarbons (AHC) spectral fluorescent analysis (over 500 bottom stations) allowed determining high informational value of the method in use not only for geo-ecological works, but also for receiving the information on genetic parameters of an organic substance. The basic types of spectral characteristics of bottom sediments for various lithology and facial differences groups of deposits have been established. Concurrent analysis of AHC type content at molecular level (GC-MS) allowed verifying the reliability of fluorescent analysis data that makes possible to consider the research techniques developed as complying with the requirements of multi-purpose geochemical surveys.

А.Ю. Леин

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

**Резервуар метана и скорость метанотрофии
в водной толще и осадках арктических морей**

A.Yu. Lein

(Institute of Oceanology, RAS, Moscow)

**Reservoir of the methane and the methanotrophic rate
in the arctic seas water column and sediments**

Природный цикл метана в морях и океанах является биогеохимическим циклом, теснейшим образом связанным с геохимической деятельностью микроорганизмов.

Биогеохимический цикл метана в самом общем виде сводится к взаимодействию двух основных процессов – микробного метаногенеза (МГ) и микробного метаноокисления (МО). Процесс микробного МГ происходит преимущественно в анаэробных условиях, но возможен также внутри взвешенных частиц и в кишечниках зоопланктона в аэробных слоях водной толщи и в отдельных восстановительных эконишах в аэробных осадках. Метан, образующийся при участии микроорганизмов при диагенезе осадков и отчасти в водной толще, относится к биохимическим или диагенетическим газам. В моря и океаны поступает также миграционный термогенный (или каталитический) метан из осадочных толщ, образующийся при преобразовании органического вещества (ОВ), и миграционный эндогенный (или абиогенный) метан, синтезированный из неорганических соединений в условиях высоких температур и давления.

Все три перечисленные главные генетические типы метана различаются по изотопному составу углерода и водорода и по составу сопутствующих углеродсодержащих соединений. Именно изотопно-легкий состав углерода метана подтвердил предположение геохимиков о микробиологической природе метана в морских и океанических осадках.

В 80-х годах прошлого века были впервые разработаны и успешно апробированы сначала на озерах Марийской АССР в 1972 г., а затем в морях и океанах радиоизотопные методы определения скорости микробиологических процессов МГ и МО. В их основу положены краткосрочные эксперименты в условиях, близких к *in situ*, с добавлением меченых соединений углерода ($^{14}\text{CO}_2$ – МГ и $^{14}\text{CH}_4$ – МО) в пробы воды и осадков.

В настоящей работе делается попытка обобщения первых экспериментальных данных по скорости биогеохимических процессов метаногенеза и метаноокисления (метанотрофии) в водной толще и осадках четырех арктических морей (Баренцева, Белого, Карского и Чукотского) и тесно связанных с ними окраинных морей Тихого (Берингово море) и Атлантического (Норвежское море) океанов.

Начало изучению процессов цикла метана в арктических морях, с использованием радиоизотопных методов, т.е. на количественном уровне, было положено в сентябре 1993 г. в экспедиции в Карское море под руководством академиков М.Е. Виноградова и А.П. Лисицына. В этой экспедиции приняли участие также сотрудники отдела микробной биогеохимии ИНМИ РАН, возглавляемого академиком М.И.Ивановым. Совместные исследования биологов и геохимиков ИО РАН и микробиологов ИНМИ РАН в арктических морях продолжались в течение 1993–2006 гг.

В морских экосистемах цикл метана может быть рассмотрен в виде простейшей блоковой модели, состоящей из резервуара метана и его потоков. Резервуар метана рассчитывается на основании измерений концентрации метана и величины объема резервуара, а величины потоков метана из осадков в водную толщу и в атмосферу, или из водной толщи в осадки и в атмосферу, могут быть получены при экспериментальных радиоизотопных исследованиях скорости МГ и МО.

В отличие от аэробного процесса метаноокисления микробное образование метана (метаногенез) происходит в строго анаэробных условиях. Это второй ключевой процесс в биогеохимическом цикле метана. Воды переносимых морей богаты кислородом от поверхности до дна, поэтому в водной толще метаногенез, по-видимому, происходит только в процессе жизнедеятельности зоопланктона (в кишечнике) и бактерий, заселяющих частицы взвеси, т.е. в анаэробных нишах внутри аэробной экосистемы.

Обобщение данных по концентрации метана в водной толще арктических морей позволило оценить запасы растворенного метана в Баренцевом, Белом, Карском и Чукотском морях. Самый большой резервуар растворенного метана ($36,8 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$ или $1643 \cdot 10^6$ моля CH_4) находится в Баренцевом море, а самый маленький ($0,65 \cdot 10^6 \text{ м}^3 \text{ CH}_4$ или $29 \cdot 10^6$ моля CH_4) определен в Белом море. Всего же только в этих 4-х морях по самым минимальным оценкам без учета заливов и эстуариев в водной толще содержится $58,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ или $2612 \cdot 10^6 \text{ М}$ растворенного метана.

В работе суммированы результаты первых экспериментальных определений (более 200 проб) скорости микробного процесса окисления растворенного метана в водной толще арктических морей. Для достоверного определения величин очень медленной скорости метаногенеза в аэробной водной толще необходимо увеличить чувствительность радиоизотопного метода.

Определены величины общей численности бактериопланктона и выделены метанотрофные микроорганизмы, ответственные за окисление метана в водной толще. Количество бактериопланктона в водной толще колеблется в широких пределах от $1,8\text{--}12,5$ тыс. кл·мл⁻¹ до 422 тыс. кл·мл⁻¹. Минимальная численность бактериопланктона обнаружена в открытых районах морей, особенно в Карском море. Численность бактериопланктона увеличивается в прибрежных водах, водах заливов и эстуариев.

Биогеохимическая деятельность метанотрофных микроорганизмов тесно связана с концентрацией растворенного метана. При этом температура, соленость и другие физико-химические свойства экосистемы играют второстепенную роль.

Концентрация CH_4 и скорость метаноокисления в водной толще заметно увеличиваются при приближении к берегу, особенно в водах заливов и эстуариев рек. В водной толще ряда станций открытых районов Карского, Белого и Баренцева морей обнаружены подповерхностные максимумы («подвешенные слои») концентрации метана, связанные с процессами метаболизма зоо- и бактериопланктона. В Чукотском море подповерхностные максимумы концентрации метана в водной толще отсутствуют на шести станциях из семи, что объясняется малой численностью зоопланктона.

Основным источником метана в водной толще арктических морей в подавляющем большинстве случаев является метан, поступающий из донных отложений, что доказывается более высокими (на 2–3 порядка величин) концентрациями метана в осадках по сравнению с водной толщей. Скорость метаноокисления в водной толще также в большинстве случаев увеличивается с глубиной.

Барьерная зона «вода-осадок» является своеобразным живым (микробным) фильтром, сокращающим величину потока CH_4 в водную толщу.

На примере Баренцева моря показано, что ледяной покров Арктики является еще одним биогеохимическим барьером, на котором происходят более интенсивные процессы микробного метаноокисления, чем в водной толще.

Отложения зоны литорали и прибрежных мелководий, с высокой скоростью метаногенеза и низкими скоростями процесса метанотрофии в мало-мощной водной толще, могут быть источниками значительных количеств метана (до $13,4$ молей $\text{CH}_4 \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$), поступающего в атмосферу.

Водная толща современного океана за исключением водной толщи анаэробных бассейнов является гигантским реактором, в котором происходит аэробное микробное окисление метана любого генезиса, поступающего из донных отложений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ. Проект 06-05-64078.

This work represents study of the biogeochemical processes of the methane cycle in the Arctic seas, which based on a single scientific approach and a wide range of geochemical and microbiological methods, including radioisotope and isotope analyses.

Г.А. Леонова, В.А. Бобров

(Институт геологии и минералогии СО РАН, e-mail: leonova@uiggm.nsc.ru)

Методические особенности исследования микроэлементного состава планктона

G.A. Leonova, V.A. Bobrov

(Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, e-mail: leonova@uiggm.nsc.ru)

Methodical features of trace elements research of plankton

Планктон является чрезвычайно специфическим объектом геохимического опробования. Для того, чтобы получить достаточную для химического анализа массу планктонного образца (20–50 г в сыром весе) отбор планктона проводят в течение длительного времени (от 1 до 4 часов) в поверхностном слое воды (0–10 м) планктонными сетями (диаметр входного отверстия 37 см, фильтрующий конус из сита с размером ячеек 0,086 мм). Для конкретного участка водоема и сезона, характеризующего определенным комплексом видов планктонных организмов, отобранная проба может считаться усредненной с геохимической точки зрения, в ней нивелируются «аномальные выбросы» в сторону максимумов и минимумов уровней концентраций отдельных химических элементов. Это положение подтверждают данные З.А. Виноградовой [1] и С.В. Бруевича [2], согласно которым средний химический состав морского планктона в отношении как макро-, так и микроэлементов *довольно постоянен*. Этим планктонные пробы существенно отличаются от образцов горных пород, в которых распределение концентраций химических элементов может быть чрезвычайно неравномерным, что и обуславливает необходимость отбора большого количества геологических проб и приемов статистики по большим выборкам аналитических определений. В отношении планктонных образцов может быть применен прием статистической обработки по малым выборкам [3].

Методика отлова является определяющей в получении «чистого» (одно-видового) планктонного образца. Реальное получение такой монотонной пробы возможно в крайне редких случаях, например, при массовом доминировании какого-либо одного вида планктонных организмов, например водоросли *Melosira baicalensis* в оз. Байкал, галофильного мезопланктона *Artemia salina* в соляных озерах и др. Именно трудоемкость сбора «чистого» монотонного планктона является как в настоящее время, так и в прошлом, по справедливому замечанию А.П. Виноградова [4], главной причиной малой изученности его химического элементного состава. По этой причине в большинстве случаев исследуется элементный химический состав *тотального (смешанного) планктона* или *сестона*, состоящего из частиц литогенного (минеральная взвесь), биогенного (живой планктон и органический детрит) и хемогенного происхождения. При анализе проб сестона и планктона особо информативной характеристикой является зольность (содержа-

ние зо́лы в сухом веществе пробы, выраженное в процентах). Чем выше зольность анализируемой пробы, тем соответственно выше в ней литогенная (терригенная) компонента. Более-менее «чистые» планктонные пробы, как правило, характеризуются значительно меньшей величиной зольности (в среднем 10–25 %) по сравнению с пробами сестона (30–50 % и выше). Материал по пресноводному и морскому планктону, собранный авторами, наглядно иллюстрирует это утверждение (табл. 1).

Таблица 1. Средняя (\bar{X}) зольность сухого вещества зоопланктона и сестона, погрешности определения средних ($x_{0,05}$), количество проб (n)

Водоем (доминирующие виды)	n	Пределы колебания зольности	$\bar{X} \pm x_{0,05}$
Пресноводный планктон			
Иркутское вод-ще (<i>Cyclops kolensis</i> , <i>Bosmina longirostris</i>)	14	7–18	11,1 ± 1,03
Братское вод-ще (<i>Daphnia galeata</i> , <i>Mesocyclops leuckarti</i>)	22	14–29	21,8 ± 0,78
Новосибирское вод-ще (<i>Daphnia longispina</i> , <i>Daphnia cucullata</i>)	11	9–33	20,2 ± 3,1
Морской планктон			
Белое море (<i>Oithona similis</i> , <i>Parafavella denticulate</i>)	6	20–29	24,2 ± 1,5
Морской сестон			
Белое море (сестон)	6	36,7–57	46,7 ± 3,2

Получены линейные зависимости между S_c (y) и зольностью планктонных проб (x) из водоемов с различной соленостью вод (рис. 1):

- 1) для пресноводных водоемов Сибири $y = 0,0342x + 0,072$, при $8 < x < 35$;
- 2) для Белого моря $y = 0,0357x + 0,6108$, при $20 < x < 55$;
- 3) для соляных озер Алтая $y = 0,0155x + 0,8819$, при $28 < x < 54$.

Близость коэффициентов регрессии 0,0342 и 0,0357 позволяет предположить единый характер зависимости зольности планктона от концентрации S_c («индикатор» присутствия терригенной примеси в планктонной пробе) как в пресноводных, так и морских водоемах.

Преобразуя выражение линий регрессии, можно представить эту зависимость как:

$$C_{\text{зол}} = 28,5 C_{S_c} + C_0,$$

где $C_{\text{зол}}$ в %, C_{S_c} – в мг/кг;

Для пресноводного планктона $C_0 \approx 0$ %, т.е. зольность «абсолютно чистого» образца (свободного от терригенного материала) близко к нулю.

Для морского планктона $C_0 \approx 17$ %, т.е. в чистом от терригенного материала планктоне зольность 17 % соответствует зольности сухого остатка морской воды.

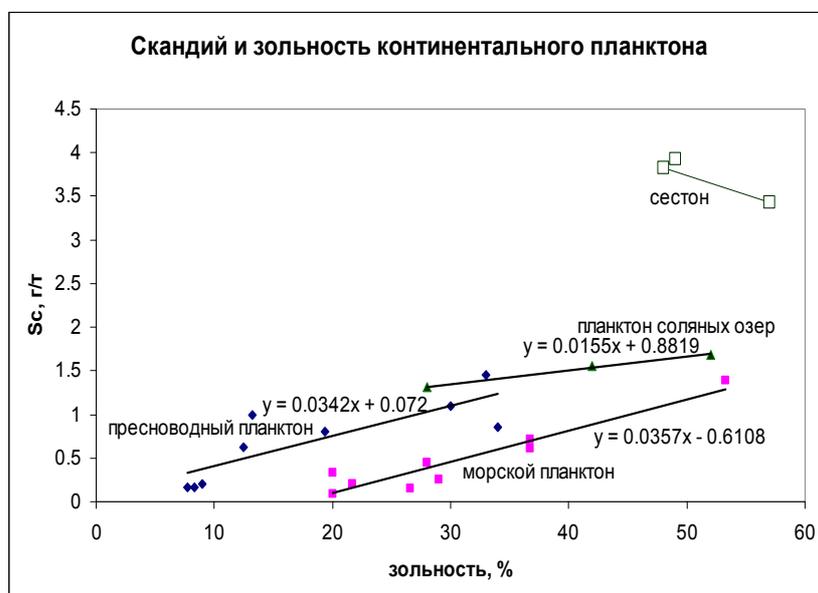


Рис. Соотношение зольности и Sc в планктоне водоемов с различной соленостью воды.

1. *Виноградова З.А.* Роль морского планктона в миграции химических элементов // Гидробиологический журнал, 1965. Т. 1. № 4. С. 12–18.
2. *Бруевич С.В.* Проблемы химии моря. М.: Наука, 1978. 335 с.
3. *Михальчук А.А., Язиков Е.Г., Ершов В.В.* Статистический анализ эколого-геохимической информации. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 235 с.
4. *Виноградов А.П.* Химический элементарный состав организмов и периодическая система Д.И. Менделеева // Тр. Биогеохимической лаб. М.; Л., 1935. Т. 3. С. 5–30.

Methodical features of geochemical approbation of plankton as specific natural object are discussed. Dependence planktonic sample ash value from concentration of scandium, as element-indicator of presence at test of terrigenous (lithogenic) admixture is shown.

Г.А. Леонова, В.А. Бобров, А.А. Богуш

(Институт геологии и минералогии СО РАН, e-mail: leonova@uiggm.nsc.ru)

**Особенности биологического накопления микроэлементов
континентальным, эстуарным и морским планктоном**

G.A. Leonova, V.A. Bobrov, A.A. Bogush

(Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, , e-mail: leonova@uiggm.nsc.ru)

**Features of biological accumulation of trace elements
by continental, estuarial and sea plankton**

Доступность химических элементов для планктона в значительной мере определяется абсолютными концентрациями и формами их нахождения в водном растворе [1]. С учетом этих факторов рассчитаны химические формы нахождения элементов в поверхностных водах пресноводных водоемов Сибири [2], эстуария реки Онега, а также коэффициенты биологического накопления (K_b) как отношение концентрации элемента (i) в сырой массе планктона к его концентрации в воде. K_b характеризует физиологическую потребность живого планктона в химических элементах:

$$K_b = C_{i(\text{планктон})} / C_{i(\text{вода})}$$

Пресноводный планктон. В группу «пресноводный» объединен планктон трех водохранилищ Сибири (Новосибирское, Иркутское, Братское) и двух озер (Кирек, Очки). На диаграмме логарифмов значений K_b (рис. 1) можно выделить следующие группы элементов:



Рис. 1. Коэффициенты биологического накопления (K_b) химических элементов в пресноводном планктоне водоемов Сибири.

1) относительно слабо накапливающиеся в пресноводном планктоне водоемов Сибири ($\lg K_b < 2$), – Na, Mg, As, В, Мо, Ве, Sc, Hg, U.

2) в значительной степени накапливающиеся в пресноводном планктоне ($\lg K_b = 2-4$), – Al, Rb, Ca, Sr, Li, Ba, K, Si, Br, Pb, Mn, Zn, Fe, Cu, Co, Ni, V, Sn, Ag, Cd, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Rb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb,

3. Элементы, сильно накапливающиеся в планктоне ($\lg K_b > 4$), – P.

Эстуарный планктон. В группу «эстуарный» объединен планктон, отобранный в эстуарной зоне р. Онеги в Онежском заливе Белого моря. Выделены следующие группы элементов по значениям K_b (рис. 2):

1. Элементы с $\lg K_b < 2$ – Na, K, Rb, Ca, Mg, I, Hg, Se, Th.

2. Элементы с $\lg K_b = 2-4$ – Ti, Ba, Sr, Br, Cs, As, Pb, Cd, Mn, Zn, Fe, Cr, Co, Ni, V, Sn, Sb, Y, Nb, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Lu, Hf.

3. Элементы с $\lg K_b > 4$ – P, Al, As, Cu, Sc, Zr, Ga.



Рис. 2. Коэффициенты биологического накопления (K_b) химических элементов в планктоне эстуария р. Онега.

Морской планктон. В группу «морской» объединен планктон открытой части Белого моря и трех глубоководных заливов (Кандалакшский, Двинский и Онежский). Выделены следующие группы элементов по значениям K_b :

1. Элементы с $\lg K_b < 2$, – Na, K, Rb, Li, Cs, Ca, Mg, Sr, Br, Mo, Cd, Hg.

2. Элементы с $\lg K_b 2-4$ – Ba, I, As, Se, Sb, Pb, Mn, Zn, Fe, Cr, Co, Ni, V, Y, Nb, Y, Lu, Hf.

3. Элементы с $\lg K_b > 4$ – P, Al, Ti, Co, Sn, Sc, Zr, Ga, La, Ce, Nd, Sm, Tb, Yb, Th.

Полученные данные позволяют заключить, что при повышении солёности воды возрастает способность планктона концентрировать группу элементов-гидролизатов не только за счет их механического поглощения в составе терригенной взвеси (в случае пресноводного планктона), но и за счет насыщения растворимыми формами (в случае эстуарного и морского планктона), что не противоречит известным данным для океанического



Рис. 3. Коэффициенты биологического накопления (K_b) химических элементов в планктоне Белого моря.

планктона [3]. Наиболее интенсивно планктон поглощает группу подвижных в водной среде «летучих» элементов, относительно слабо накапливаются щелочные и щелочноземельные элементы (главные катионы солевого состава поверхностных вод), несмотря на то, что концентрации их в водном растворе довольно высокие.

1. Биогеохимия океана. М.: Наука, 1983. 368 с.

2. Леонова Г.А., Богуш А.А., Бобров В.А. и др. Химические формы тяжелых металлов в воде Новосибирского водохранилища: оценка их биодоступности и потенциальной экологической опасности для планктона // Химия в интересах устойчивого развития, 2006. Т. 14. № 5. С. 453–465.

3. Лисицын А.П., Гурвич Е.Г., Лукашин В.Н. и др. Геохимия элементов-гидролизатов. М.: Наука, 1980. 238 с.

Features of chemical elements accumulation in plankton of reservoirs with various water salinity (from fresh up to sea) are shown. With increase of water salinity ability of elements accumulation by plankton is increased.

Е.А. Летягина, В.Ю. Лаврушин

(Геологический институт РАН, e-mail: fsnork@bk.ru, v_lavrushin@ginras.ru)

Литолого-геохимические свойства осадка и газовый состав поровых вод полигона Кабо Верде

E.A. Letyagina, V.Yu. Lavrushin

(Geological institute Russian Academy of Sciences, Moscow)

General Litologic and Geochemical Characters of the Sediments and Gas structure poral waters on Cabo Verde

В докладе рассматриваются литолого-геохимические особенности и газовый состав поровых вод верхней зоны осадочного покрова полигона Кабо Верде. Полигон расположен в районе островов Зеленого мыса, и представляет собой уступ, отделяющий подножье Зеленомысского поднятия от структур океанической котловины.

В 23 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» (2005 г.) на полигоне Кабо Верде грунтовыми трубками были подняты осадки на шести станциях. Мощность поднятых осадков от 4 до 5 метров. Глубина осадочного покрова в данном районе изменяется в пределах 4400–5000 метров.

Возраст осадков в низах изучаемых колонок по результатам исследования наннопланктона и планктонных фораминифер близок к интервалу 0,6–0,4 млн лет (данные Л.А. Головиной и М.Е. Былинской).

Поверхностная часть осадочного покрова на полигоне представлена как практически бескарбонатными, глинистыми осадками, так и кокколитофораминиферовыми илами, с содержанием CaCO_3 до 85%. Карбонатная составляющая продуцируется жизнедеятельностью океана и представлена раковинами кокколитов и фораминифер.

Влажность осадков изменяется от 47 до 79%. Прослеживается взаимосвязь распределения влажности образцов и содержания в них карбонатной части по всем разрезам.

По всей мощности поднятых осадков широко распространены включения глинистых окатышей, а также инородных илов (вышележащих по слою), что указывает на высокую активность склоновых процессов.

Определение величин Eh и pH показало, что доминируют окислительные – слабо-восстановительные обстановки литогенеза (Eh изменяется от -195 до + 253 мВ). Свободный сероводород в осадке отсутствует. На начальных стадиях литогенеза доминируют нейтральные значения pH – от 6,5 до 8,0.

Исследование химического состава растворенных в поровых водах газов показало, что газы полигона Кабо Верде можно отнести к газам слабо-окислительных обстановок литогенеза, протекающего в кислородной среде. Концентрации кислорода варьируют от 2,2 до 27,5% об. (среднее 15,2% об).

Азот в поровых газах встречается в концентрациях от 69 до 97% об. В раннем литогенезе азот практически инертен, и его концентрация возрастает только за счет снижения концентрации кислорода.

В пробах газа иногда обнаруживается водород в концентрациях до 1,3%. Вероятно, его выделение происходит при термической дегазации осадка в результате разрушения неустойчивых органических соединений или при гидролизе воды с участием соединений железа.

Концентрация углекислоты в поровых газах варьирует от 0,0067 до 0,69% (среднее 0,12%). В целом осадки полигона отличаются низкими концентрациями углекислоты, что, как и замеры Eh, указывает на малую активность микробиальных процессов.

Содержание метана изменяется от 0,00028 до 0,0052% (среднее 0,00096%), что характерно для пелагических илов срединной части Атлантического океана, но более чем на порядок ниже, чем в осадках западной части Зеленомысского поднятия (впадина Страхова и канал Нева).

В целом, проведенное исследование химического состава газов иловых вод показало, что исследуемые осадки формируются в условиях малого поступления органического материала, что, характерно для глубоководных районов центральной Атлантики. Процессы раннего литогенеза протекают здесь в кислород содержащей среде. Восстановительные процессы (сульфат-редукции и метаногенерации) не выражены, также отсутствуют какие-либо признаки повышенной циркуляции углеводородных газов и существования залежей газогидратов.

По данным рентгенофлюоресцентного анализа химического состава донных осадков наблюдается четкая обратная корреляция содержаний CaO и SiO₂. Также наблюдается прямая корреляция концентраций породообразующих соединений SiO₂, Fe₂O₃ и TiO₂ и элементов Ba, Rb, Zr. С CaO напрямую коррелирует Sr. Корреляция с остальными элементами (MnO, Cu, Ni, Co, Y и др.) не является четкой, и их содержание лучше отражает изменения условий осадконакопления, не связанные с изменениями биопродуктивности океана.

Интересными в данных осадках являются ярко-зеленые уплотненные прослои. В них отмечается высокое содержание Cu, а также Zn, Ni и Fe₂O₃. Такое сочетание элементов указывает на вулканическое происхождение данных прослоев.

Работа сделана при финансовой поддержке РФФИ, грант № 05-05-65125

The results of lithologic and geochemic studying of the upper part sedimentary cover and studying of gas structure poral waters on Cabo Verde are the background of this research. Condition of sedimentation and will be discussed.

И.В. Мошарова^{1,2}, В.В. Ильинский¹

(¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет; ²Институт Глобального Климата и Экологии Росгидромета и РАН, г. Москва, ivmpost@mail.ru)

**Об обнаружении в Байдарацкой губе Карского моря
ПХБ-толерантных и ПХБ-трансформирующих
гетеротрофных бактерий**

I.V. Mosharova^{1,2}, V.V. Il'inskiy¹

(¹Biological Faculty, Moscow State University; ²Institute of Global Climate and Ecology, State Committee for Hydrometeorology and Academy of Sciences, Moscow)

**Isolation of the PCB-tolerant and PCB-transforming
heterotrophic bacteria in the Baydarazkay bay of the Kara Sea**

Система биогеохимических циклов в биосфере определяется циклом органического углерода и сопряженными с ними циклами углекислоты и кислорода. Океаническая ветвь биогеохимического цикла углерода является важной системой процессов, обеспечивающей существование жизни во всех ее проявлениях, так как Мировой океан находится в конечном звене крупномасштабных потоков разных веществ и их превращений.

Гетеротрофные бактерии играют ведущую роль в круговороте органического вещества. Они осуществляют процессы его реминерализации, благодаря чему биогенные соединения вновь становятся доступными для первичных продуцентов.

В настоящее время моря Арктического бассейна остаются наиболее чистыми районами Мирового океана [1]. Однако обнаружение в отдельных арктических экосистемах токсичных загрязняющих веществ, в частности высокомолекулярных органических соединений – полихлорированных бифенилов (ПХБ), вызывает беспокойство по поводу их состояния. Самые высокие концентрации этих соединений обнаружены в Баренцевом и Белом морях [2]. Карское море по уровню загрязнения ПХБ занимает среднее положение среди морей Российской Арктики. Присутствие ПХБ в нем отмечается, начиная с 1991 г., а максимальные концентрации этих соединений составили 6 нг/л. В 1994 г. максимальные концентрации хлорированных углеводородов были отмечены в районе Обской и Байдарацкой губ – среднее содержание ПХБ составило 1,15 нг/л, а максимальное – 11 нг/л. В 1997 г. заметные концентрации ПХБ в Карском море снова были отмечены в районе Байдарацкой губы – 1,59 нг/л [2].

Известно, что большинство химических трансформаций загрязняющих веществ в Мировом океане осуществляют гетеротрофные бактерии, поскольку ферментативные системы, ответственные за протекание этих реакций, имеются только у этой группы организмов. Бактерии, обладающие различными механизмами изменения генома, под влиянием изменяющихся ус-

ловий окружающей среды могут в результате спонтанных мутаций приобрести способность к катаболизму новых органических соединений в случае их поступления в экосистему. Как следствие, некоторая часть гетеротрофного микробиоценоза получает преимущество в новых условиях существования, при этом, соответственно, изменяется ранее сложившаяся его структура. Аэробная микробная деградация ПХБ была многократно описана в связи с обнаружением способности к биодеградации этого токсиканта у различных почвенных бактерий. Однако до 1978 г. в литературе практически не было сообщений о метаболизме ПХБ морскими гетеротрофными бактериями. Впервые в нашей стране довольно широкое распространение ПХБ-трансформирующих бактерий было обнаружено А.В. Цыбань с сотрудниками в марте 1978 г., на продольном осевом разрезе через Балтийское море, выполненном в условиях гидрологической зимы [3]. В настоящее время в литературе имеется немало сведений о трансформации ПХБ в океане и о распространении в морской среде ПХБ-трансформирующих микроорганизмов. В эстуариях и морях выявлено семь родов ПХБ-трансформирующих бактерий: *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Acromonas*, *Micrococcus*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Streptomyces*. Двадцать культур ПХБ-трансформирующих бактерий, изолированных из реки Гудзон, были отнесены к родам *Acetobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* [4].

В нашей стране исследования качественного и количественного состава гетеротрофного бактериоценоза Карского моря периодически проводились и ранее [5, 6], однако до настоящего времени не предпринимались попытки выделения бактерий этой физиологической группы.

В июле 2007 г. в акватории Байдарацкой губы нами впервые были выявлены интенсивно развивающиеся в присутствии ПХБ бактерии (*Arochlor* 1232), а в отдельных случаях выявлены микроорганизмы, использующие ПХБ как единственный источник углерода и энергии.

ПХБ-толерантные бактерии (микроорганизмы разлагающие ПХБ в условиях соокисления) выявлены на 11 станциях из 17 обследованных. Их численность варьировала от 10 до 1000 кл/мл, а в среднем по разрезу составила 64 кл/мл.

ПХБ-трансформирующие бактерии (организмы, развивающиеся только в присутствии ПХБ в качестве единственного источника углерода и энергии) выявлены на 10 станциях из 17 обследованных. Численность их была невысокой и в среднем составляла 10 кл/мл.

Наибольшая средняя численность ПХБ-толерантных (55,3 кл/мл) и ПХБ-трансформирующих бактерий (5,9 кл/мл) была характерна для горизонта 0,5 м. На придонном горизонте численность бактерий этих двух групп была значительно ниже – 19,7 кл/мл и 3,5 кл/мл, соответственно. В дальнейшем нами будут проведены определения видового и генетического состава этих микроорганизмов.

В сложившихся условиях антропогенного воздействия на морские экосистемы, изучение структуры и активности гетеротрофных бактериоценозов становится особенно актуальным, так как любые значимые перестройки структурных и функциональных характеристик морских биоценозов сопровождаются изменениями их биогеохимической функции и отражают более общее явление – изменение циркуляции вещества и энергии в морской экосистеме в целом.

1. *Цыбань А.В., Володкович Ю.Л. и др.* Современное состояние и изменчивость шельфовых экосистем Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей в условиях антропогенного воздействия // *Фундаментальные исследования океанов и морей*. М.: Наука, 2006. Кн. 2. С. 383–411.

2. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В. и др.* Экологическая ситуация в Арктических морях // *Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей*. М.: Наука, 2000. С. 15–38.

3. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 528 с.

4. *Furukawa K.* Molecular genetics and evolutionary relationship of PCB-degrading bacteria // *Biodegradation*. 1994. (5). P. 289–300.

5. *Теплинская Н.Г.* Процессы бактериальной продукции и деструкции органического вещества в северных морях / Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты, 1990. 98 с.

6. *Ильинский В.В., Семенов М.Н.* Углекислородокисляющие бактерии Центральной Арктики, Карского и Белого морей: распространение и роль в процессах естественного очищения от нефтяного загрязнения // *Проблемы экологии и физиологии микроорганизмов*. Сб. трудов. М.: Диалог-МГУ, 2000. С. 62.

The polychlorinated biphenyls (PCBs) have emerged as important pollutants because of their ubiquitous character and their toxicity. Degradation of PCBs provide an excellent example of microbial adaptation to a xenobiotic chemical. As a result of our investigation in the Kara Sea we isolated PCB-tolerant and PCB-transforming heterotrophic bacteria. The quantitative level of development of bacteria these groups were low – 10–100 cell/ml.

**Б.Б. Намсараев¹, С.П. Бурюхаев¹, З.Б. Намсараев²,
Д.Д. Бархутова¹, О.П. Дагурова¹, В.М. Горленко²,
А.В. Татаринov³**

(¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, e-mail: bair_n@mail.ru; ²Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, г. Москва, e-mail: zorigto@gmail.com; ³Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ)

**Геохимическая активность микробного сообщества
в гидротермах западной окраины Тихого океана
и Байкальской рифтовой зоны**

**B.B. Namsaraev¹, S.P. Buryukhaev¹, Z.B. Namsaraev²,
D.D. Barkhutova¹, O.P. Dagurova¹, V.M. Gorlenko²,
A.V. Tatarinov³**

(¹Institute of General and experimental Biology, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude; ²Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences, Moscow; ³Geological Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude)

**Geochemical activity microbial community in hydrotherms
of Western Pacific and Baikal rift zone**

В морских мелководных гидротермах залива Пленти (Новая Зеландия), бухты Матупи Харбор (острова Новая Британия) и бухты Кратерной (остров Янкича, Курильские острова) и наземных гидротермах Байкальской рифтовой зоны, расположенных в Северной Монголии, Восточных Саянах и Прибайкалье, функционируют микробные сообщества, участвующие в трансформации вулканогенных веществ и круговороте химических элементов. Высокие температуры (до 25–95°C) и поступления вулканогенных углекислоты, метана, сульфидов и других веществ благоприятствуют геохимической деятельности микроорганизмов в районах выходов термальных вод в этих рифтовых зонах океана и суши. В морских гидротермах поступают воды более минерализованные (до 32–35 г/л) с низкими значениями pH (5,8–7,5). В наземных гидротермах низко минерализованные воды (0,3–1,7 г/л) имеют более щелочные значения pH (8–10).

В районе выходов морских гидротерм распространены серно-пурпурные, серно-диатомовые, серные и циано-бактериальные маты, в наземных гидротермах – циано-бактериальные, пурпурные и серные маты.

В мелководных морских и наземных гидротермах оксигенные и аноксигенные фототрофы используют вулканогенные углекислоту и сероводород для синтеза органического вещества. Скорость оксигенного фотосинтеза в морских гидротермах составляет 0,15–3,7 г С/м² сут, аноксигенного фотосинтеза – 0,03–1,77 г С/м² сут. В наземных гидротермах скорость оксигенного фотосинтеза была равна 0,002–3,65 г С/м² сут, тогда как скорость аноксигенного фотосинтеза была значительно выше и достигает 5,48 г С/м² сут.

В серных матах в продукции органического вещества участвуют хемолитотрофные прокариоты, использующие восстановленные соединения, в том числе и сероводород. Скорость бактериального хемосинтеза равна 0,013–0,56 г С/м² сут. Максимальная скорость этого процесса выявлена в серно-диатомовых матах морских гидротерм, минимальная (0,013 г С/м² сут) – в серных матах озера Байкал.

Значительное количество органического вещества синтезируется в ходе темновой фиксации углекислоты. Скорость данного процесса составляет в морских матах 0,06–29,7 г С/м² сут, в наземных матах – 0,01–12,1 г С/м² сут.

Изотопный состав органического вещества микробных матов мелководных морских гидротерм ($\delta^{13}\text{C} = -21,9 - -22,1\text{‰}$) показывает, что продуценты в основном используют биогенную углекислоту – продукт деструкции фитопланктона и макрофитов.

Изотопный состав микробных матов наземных гидротерм равен ($\delta^{13}\text{C} = -5,93 - -12 \text{‰}$). В процессе продукции органического вещества фототрофы этих матов используют в основном вулканогенную и атмосферную углекислоту. Хемоорганотрофы микробных матов озера Байкал используют легкий углерод биогенного метана, о чем свидетельствуют значения $\delta^{13}\text{C}$ органического вещества матов (-44,2 – -49,5 ‰).

На терминальных этапах деструкции органического вещества в микробных матах морских и наземных гидротерм большая часть органического вещества (0,001–3,4 г С/м² сут) используется для восстановления сульфатов. На образование биогенного метана микробные сообщества используют только 0,0001–0,05 г С/м² сут. Иная картина наблюдается в микробных матах озера Байкал. В серных матах этого озера большая часть органического вещества (до 1,03 г С/м² сут) используется на биогенное образование метана, тогда как в процессе сульфатредукции бактерии используют до 0,015 г С/м² сут.

Термофильные микробные сообщества наземных гидротерм Байкальской рифтовой зоны участвуют в образовании биогенных минералов. Активное участие прокариот в образовании травертинов в термальном источнике Гарга (Северное Прибайкалье) наблюдается в зонах развития микробного мата с превышением продукции над деструкцией и постоянного доступа воды источника. В горячих ручьях этого источника микробные сообщества химически трансформируют сульфатные воды в гидрокарбонатные. В процессе окислительного фотосинтеза в зонах интенсивного развития цианобактерий увеличивается значение рН и формируется щелочной биогеохимический барьер, на котором происходит осаждение карбоната кальция. В образцах керн травертина и микробного мата гидротермы Гарга обнаружены современные микрофоссилии, количество которых с глубиной уменьшается.

В гидротермальных системах наземных источников показано участие микробных сообществ в концентрации многих рудных компонентов (кларковский и нижекларковский содержания) до уровня промышленных.

Полученные результаты показывают, что в местах проявления современного вулканизма при высоких температурах, широком диапазоне рН и минерализации формируются специфические микробные сообщества. Для этих сообществ характерны высокая активность оксигенных и аноксигенных фотобактерий, значительный вклад хемолитотрофов в продукцию органического вещества, участие фото- и органотрофов в биогенном образовании минералов и их концентрации. Во всех типах микробных матов биогеохимические процессы сопряжены с интенсивными циклами углерода и серы.

Работа выполнена на средства программ Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы», «Молекулярная и клеточная биология», РФФИ №05-04-97215 р_байкал_a, Президиума СО РАН № 24 и 58, Минобрразования и науки РФ НОЦ Байкал, стипендий Фонда поддержки отечественной науки, Belgian Science Policy fellowship и БГУ «Научные школы».

In marine shallow-water hydrotherms of Plenty bay (New Zealand), Matupi harbor (New Britain Island) and Kraternaya bight (Yankich island, Kuril islands), and in subaerial hydrotherms of Baikal rift zone (Russia) microbial communities participating in transformation of volcanogenic fluids were studied. Environmental conditions favor the development of microbial mats: oxygenic mats build by cyanobacteria ("cyanobacterial mats"), mats build by purple and green anoxygenic phototrophic bacteria ("purple and green mats") and build by colorless sulfur bacteria.

А.С. Нерода, В.Ф.Мишуков

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

**Влияние атмосферного явления "KOSA" на химический
состав атмосферы г. Владивостока**

A.S.Neroda, V.F.Mishukov

(V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok)

**Effect of KOSA atmospheric phenomena on chemical
composition of air over Vladivostok**

Одним из наиболее интенсивных и постоянно действующих источников поступления различных веществ является атмосфера. В северо-западной части Тихоокеанского региона западные ветры играют большую роль в переносе частиц атмосферной аэрозоля на большие расстояния. В Приморье желтая пыль наблюдается не только с приходом весны, но и зимой, поскольку сильным западным ветром, дующим с азиатского материка, переносятся в изобилии частицы пыли. Этот перенос называют явлением "KOSA". В ней соединения не только природного происхождения. Точно также с пылью могут переноситься загрязняющие вещества, образующиеся в результате стремительной индустриализации в прибрежных районах Японии, Китая, на Корейском полуострове и Дальневосточных районах России.

Экспериментальные исследования

Отбор атмосферного аэрозоля проводится единообразно на японских установках по методике, апробированной в международной программе SEAREX [1].

Влияние местных источников (автомобильный транспорт, городские котельные и заводы) на образцы было минимизировано, расположением места отбора проб в пригородной части города Владивостока на здании ТОИ ДВО РАН на высоте 35 м от уровня моря.

Анализ аэрозоля на фильтрах включает определение макроэлементов (Na, Ca, Mg, Al, и др.), микроэлементов (Fe, Cu, Ni, Pb, Cd, Hg, Co и др.) методами атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Для идентификации и расчета вкладов источников элементов в состав аэрозолей был применен целетрансформирующий факторный анализ ЦТФА (Target Transformation Factor Analysis (TTFA)), процедура которого описана в литературе [2, 3]. Этот метод не требует априорного знания о количестве и характере источников и позволяет определить долю каждого источника в содержание того или иного элемента в каждом образце аэрозоля.

Обсуждение экспериментальных результатов

Изменение в концентрациях элементов, в атмосфере города Владивостока в период "KOSA" показаны на рис. 1 и 2. Сравнение данных показывает, что максимальные концентрации природных элементов, таких, как Na, Fe,

Mg отмечены с 9 по 16 марта, совпадающие с началом пылевой бури (9 марта), зафиксированной в пустыне Гоби.

На рисунке также можно заметить, что концентрации этих элементов испытывают подобные колебания, что говорит о возможном влиянии одного источника природного происхождения. Диапазон скоростей ветра в течение всей недели составлял 3–7 м/с, а направление ветров преимущественно было от северо-северо-запада до юго-юго-запада.

Выводы

1. Показано, что наибольший вклад в химический состав атмосферы города Владивостока был сделан естественными источниками, такими, как почва, Земная кора и глина, причем для всей совокупности данных за 2004 год вклад природных источников составляет: Na – 54%, Fe – 43%; Mg – 59%; Mn – 47%, Cu – 31%; Zn – 1,96%, Co – 41,8%, Ni – 32%, Pb – 36,0%,

2. Отмечено влияние летучей золы угля на состав атмосферных примесей, которая образуется при сжигании угля на котельной ДВО РАН и в частном секторе.

3. Не выявлено влияние океана на состав атмосферных аэрозолей, вследствие преимущественно малых скоростей ветра (от 2 до 6 м/с) в период проведения измерений.

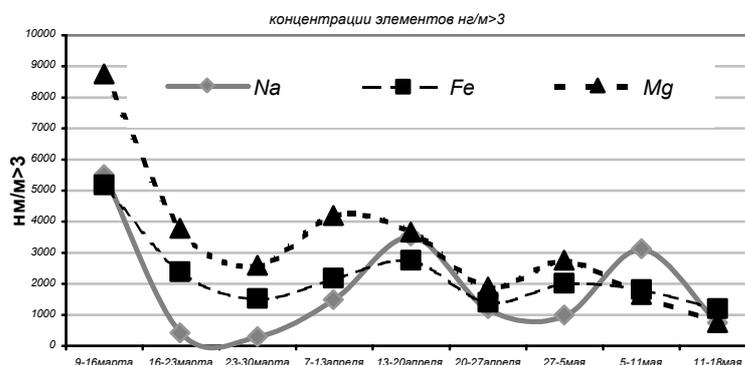


Рис. Изменение в концентрациях некоторых природных элементов, в атмосфере города Владивостока в период "KOSA"
 При северных и северо-западных ветрах, наблюдаются низкие концентрации природных элементов, что говорит о минимальном влиянии "KOSA".

1. Uematsu M., Duce R.A., Prospero J.M., Chen L., Merrill J.T., McDonald R.L. Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean // Journal of Geophysical Research. 1983. Vol. 88. P. 5343–5352.

2. *Harman H.H.* Modern Factor Analysis. Chicago: University Chicago Press, 1976. 354 c.
3. *Heidam N.Z.* On the origin of the Arctic aerosol: a statistical approach // Atmospheric Environment. 1981. Vol. 15. N 8. P. 1421–1427.
4. Taiwan Air Quality Model. <http://www.cwb.gov.tw>

We observed that natural sources such as: soil, earth crust and clay are main importance on chemical composition of air aerosols over Vladivostok: Na – 54%, Fe – 43%, Mg – 59%, Mn – 47%, Cu – 31%, Zn – 20%, Co – 42%. Ni – 32%, Pb – 36%. Fly coal ash is main anthropogenic source of these elements.

С.В. Пахомова¹, Е.В. Якушев²

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: pahomova_sveta@yahoo.com;

²Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
e-mail: e_yakushev@yahoo.com.)

**О возможном механизме формирования верхнего минимума
и нижнего максимума фосфатов на сероводородной границе
Чёрного моря**

S.V. Pakhomova¹, E.V. Yakushev²

(¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow; ²Southern
Branch of Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Gelendzhik)

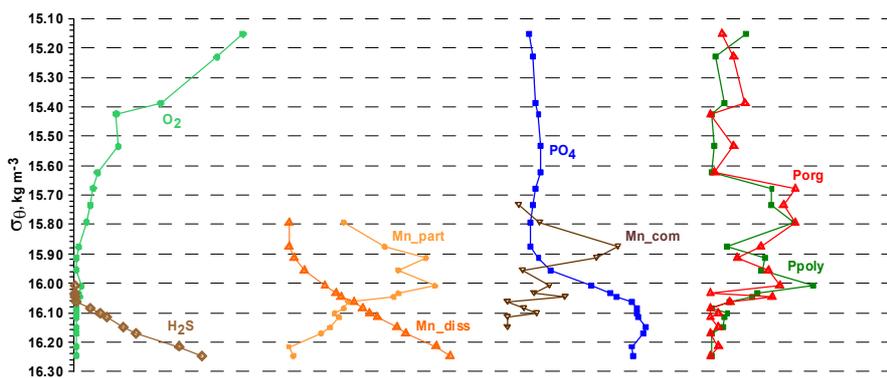
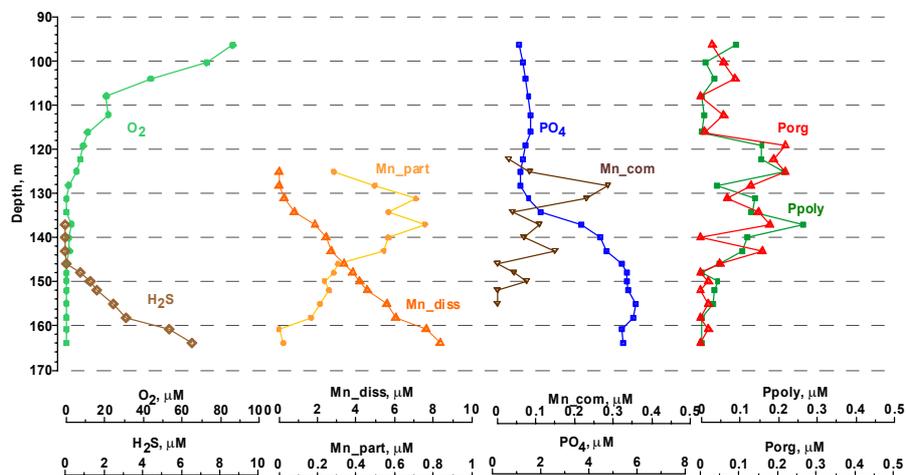
**On the possible mechanism of formation of the shallow
minimum and deep maximum of phosphate at the sulfide
boundary of the Black Sea**

Переходный слой между кислородными и сероводородными водами (редокс слой) Чёрного моря – отличается четко выраженной структурой в распределении химических параметров и стабильностью.

Вертикальное распределение фосфатов в Чёрном море (рис. 1) характеризуется наличием хорошо выраженного минимума около 5–10 м выше границы H₂S и максимумом непосредственно под границей H₂S (т.н. “phosphate dipole” [6]). Причины формирования такой структуры не ясны. Предполагается, что это может быть связано с (1) хемосинтезом [7] и/или (2) соосаждением фосфатов с гидроксидами металлов [6]. Оба этих предположения не могут объяснить наблюдаемую картину, так как (1) хемосинтез достигает максимальных величин не над, а под границей сероводорода, (2) при соосаждении с гидроксидами Fe фосфаты потребляются в соотношении 4/1 [2], что недостаточно, имея в виду наномолярные изменения содержания окисленного железа. Потенциальная роль гидроксидов Mn в данном процессе чрезвычайно мала (соотношение Mn/P составляет около 1500/1) [5].

Не так давно было обнаружено, что в субокисильных водах Черного моря происходит образование растворенного Mn(III) при росте Mn(II)-окисляющих бактерий [4]. В субокисильной зоне юго-восточного Чёрного моря Mn(III) был непосредственно измерен [8] и обнаружен максимум в 4 мкМ на глубине появления сероводорода. В этом же районе месяцем ранее мы измерили увеличение содержания Mn-содержащих растворенных комплексов (до 3 мкМ) на той же глубине. Известно, что Mn(III) легко образует комплексы с растворенным органическим веществом и пирофосфатами [4]. Mn(III)-пирофосфатные комплексы характеризуются отношением Mn/P = 0,25 для Mn(HP₂O₇)₂³⁻ или Mn/P = 0,17 для Mn(H₂P₂O₇)₃³⁻ [9].

По нашему мнению, формирование Mn(III) комплексов с пирофосфатами может объяснить наблюдаемую структуру распределения фосфатов. Верхний минимум фосфатов расположен на той же глубине, где исчезает



R/V "Akvanavt", st #2618, Lat: 44°517 Lon: 37°836, 19.09.2006

Рис. 1. Вертикальное распределение кислорода (O_2), сероводорода (H_2S), взвешенного Mn(IV) (Mn_{part}), растворенного Mn(II) (Mn_{diss}), фосфатов (PO_4), Mn-содержащих растворенных комплексов (Mn_{com}), полифосфатов (Ppoly), органического фосфора (Porg) в поле глубины (сверху) и плотности (снизу).

Mn(II) за счет окисления кислородом, а нижний максимум фосфатов расположен чуть ниже сероводородного интрефейса, где должно происходить восстановление Mn(III) сероводородом. По данным наших наблюдений, выполненных осенью 2006 года в районе Геленджика (рис. 1), между верхним минимумом и нижним максимумом фосфатов действительно обнаруживается

ся максимум полифосфатов (измеренных в соответствии с [3]), положение которого по глубине соответствует максимуму Mn-содержащих растворенных комплексов.

1. Пахомова С.В. Автореф. дисс. к. г.-м.н. М., 2005. 24 с.
2. Савенко А.В. Геохимия, 1995. № 9. С. 383–389.
3. Grashoff K., Kremling K., Ehrhard M. Methods of Seawater Analysis. Weinheim, WILEY-VCH, 1999. P. 600.
4. Kostka J.E., Luther III G.W., Nealson K.H. Geochim. Cosmochim. Acta 1995. V. 59. P. 885–894.
5. Savenko A.V., Baturin G.N. Geochemistry. 1996. N 5. P. 472–474.
6. Shaffer G. Letters to Nature // Nature. 1986. V. 321. P. 515–517.
7. Sorokin Yu.I. The Black Sea. Ecology and Oceanography. Leiden: Backhuys Publishers, 2002. P. 875.
8. Trouwborst R.E., Clement B.G., Tebo B.M. et al. Science. 2006. V. 313. P. 1955–1957.
9. Webb S.M., Dick G.J., Bargar J.R. and Tebo B.M. / I. Fridovich (Editor). PNAS. 2005. Vol. 102. N 15. P. 5558–5563.

Possible formation of the complexes of Mn(III) with pyrophosphate can explain the typical for the water column redox-interfaces structure of phosphate distribution with a minimum above the redoxcline and a maximum below.

**В.И. Петрова, Т.А. Короткова, И.В. Литвиненко,
Т.В. Степанова, Г.А. Черкашев**

(ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: petrovavi@mail.ru)

**Органическое вещество донных отложений
гидротермального поля Ашадзе-1 (13° с.ш., САХ)**

**V.I. Petrova, T.A. Korotkova, I.V. Litvinenko, T.V. Stepanova,
G.A. Cherkashev**

(VNIIOkeangeologiya, St.Petersburg, e-mail: petrovavi@mail.ru)

**Organic matter of the bottom sediments from hydrothermal
field Ashadze-1 (13° N, Mid-Atlantic Ridge)**

Формирование органо-геохимического фона донных отложений Мирового океана контролируется широкой совокупностью биотических и абиотических факторов, определяемых фациальной спецификой осадконакопления. Для осадков пелагической мегафашии, находящихся вне зоны интенсивного терригенного влияния, состав и распределение рассеянного органического вещества (РОВ) определяется преимущественно процессами *in situ*, что способствует выявлению геохимических аномалий и определению их природы. Так, аномалии в распределении и молекулярном составе углеводов (УВ) могут служить признаками эндогенных процессов, например, миграции глубинных флюидов или гидротермальной активности.

По материалам, отобраным в рейсе НИС «Профессор Логачев» (2003 г.), проведено сравнительное изучение РОВ фоновых пелагических донных осадков и осадков в пределах активного гидротермального поля «Ашадзе-1» (13° с.ш. САХ).

Аналитическая процедура включала определение элементного ($C_{\text{орг.}}$, $C_{\text{карб.}}$, $N_{\text{орг.}}$) состава осадков, группового и молекулярного состава растворимых компонентов ОВ, в том числе и углеводородных маркеров, методами препаративной, жидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии.

Карбонатные ($C_{\text{карб.}} = 5-9\%$) отложения, отобранные вне гидротермального поля, характеризуются параметрами, типичными для биогенных осадков пелагических областей: $C_{\text{орг.}} = 0,3-0,7$, низкой битуминозностью ($\beta = 0,2-0,6$), отсутствием гуминовых кислот, умеренной ароматичностью ($Me-Nf/Ar = 1,7-7$) и высокой полимеризованностью ($ООВ = 99,4\%$). Содержание алифатических УВ не превышает фоновых значений ($0,2-0,4$ мкг/г осадка), а в их составе резко преобладают высокомолекулярные соединения нечетного строения ($C_{17-19}/C_{27-31} < 0,1$; $ОЕР_{27-31} = 2-4$). Значения гопановых коэффициентов зрелости ОВ ($T_s/T_m = 0,75$, $22S/22R+22S = 0,55$) и отсутствие в составе терпеноидов гопенов и $\beta\beta$ -биогепанов свидетельствуют о высоком, постдиагенетическом уровне его преобразования.

Полиароматические УВ, содержание которых не превышает фона для абиссальных районов ($\Sigma ПАУ < 15$ нг/г), представлены преимущественно фе-

нантреном (м.м. 178) и его метилгомологами, индекс преобразованности которых соответствует высокой степени зрелости ОВ ($MPI\ 1 = 0,7-0,8$). Полиарены пирогенного генезиса представлены флуорантенем и пиреном, однако их содержание ($\Sigma 202 = 0,12-1,30$ нг/г) и соотношение изомеров ($F1/202 = 0,75$) дает основание считать их компонентами континентальных аэрозолей. Высокомолекулярные гомологи (м.м. >252) в составе ПАУ не идентифицированы.

В пределах гидротермального поля состав РОВ донных осадков кардинально меняется. Снижается уровень его полимеризованности ($ООВ = 92\%$), на порядок возрастает содержание битуминозных компонентов ($\beta = 3,4-4,0$). В групповом составе углеводородов заметно возрастает доля алифатических структур ($Me-Nf/Ar = 10,7$), содержание которых более чем на порядок выше фоновых значений (16,4 мкг/г), при этом представлены они исключительно низкомолекулярными соединениями ($C_n < 25$), преимущественно изопреноидами. Доминирующим соединением является фитан (Ph), содержание которого составляет более 20% от сумм n-алканов, что может быть обусловлено интенсивным поступлением в осадки нативного, по-видимому, бактериального ОВ. В составе цикланов наряду с $\alpha\beta$ -геогопанами и моретанами присутствуют $\beta\beta$ -биоопаны, а значения гопановых коэффициентов зрелости снижается до величин характерных для незрелого ОВ стадии раннего диагенеза ($T_s/T_m = 0,12$, $22S/22R + 22S = 0,35$). В составе ПАУ также доминируют фенантреновые структуры, однако значительно менее преобразованные ($MPI1 = 0,34$).

Полученные результаты позволяют говорить о преимущественно биогенном происхождении ОВ осадков гидротермального поля Ашадзе-1. Биогенное вещество при этом, очевидно, имеет связь с гидротермальными процессами. Признаков абиогенного синтеза УВ в данном районе не зафиксировано.

Investigations of bottom sediments from hydrothermal field Ashadze-1 (13° N, Mid-Atlantic Ridge) were carried out. The molecular composition of hydrocarbon indicates microbial genesis of organic matter and low degree maturity of it. Dilutions are not recognizable by *de novo* products.

В.И. Петрова, Г.И. Батова, И.В. Литвиненко

(ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: petrovavi@mail.ru)

Органическое вещество донных отложений глубоководной части СЛО

V.I. Petrova, G.I. Batova, I.V. Litvinenko

(VNIIOkeangeologiya, St. Petersburg, e-mail: petrovavi@mail.ru)

Organic matter of the deep bottom sediments in the Arctic Ocean

Глубоководная часть СЛО, как конечный бассейн седиментации, содержит в своих отложениях стратифицированную последовательность вариаций потоков осадочного вещества, обусловленных, в частности, позднеледниковыми климатическими изменениями. С другой стороны, СЛО является ключевым регионом для понимания путей формирования глобальной климатической системы и возможных ее изменений в ближайшем будущем. Наряду с этим, изучение процессов осадконакопления в зоне континентального склона является ключом к пониманию формирования нефтематеринских толщ.

Необходимым звеном исследований в данном направлении является изучение рассеянного органического вещества (РОВ) пород рыхлого чехла и его компонентов, маркирующих потоки морского, определяемого биопродуктивностью, и терригенного осадочного материала и, как следствие, отражающих смену условий осадконакопления.

По материалам донного опробования, осуществленного в ходе высокоширотных экспедиций НЭС «Академик Федоров» (2000, 2005 гг.), проведено сравнительное изучение РОВ кайнозойских отложений евразийского и амеразийского секторов СЛО, позволившее оценить вклад различных источников (речной сток, турбидитные потоки, океанские вдольсклоновые течения, субаквальный размыв и переотложение коренных пород) в формирование современного осадочного чехла.

Объектом исследования послужили 8 осадочных колонок (до 6 м), отобранных на двух меридиональных разрезах от континентального склона вдоль осевой части поднятия Менделеева до 82° с. ш. (**профиль 1**) и вдоль западного борга хребта Ломоносова до 89°58' с.ш. (**профиль 2**).

Аналитическая процедура включала определение элементного ($C_{орг.}$, $C_{карб.}$, $N_{орг.}$) состава осадков, группового и молекулярного состава растворимых компонентов ОВ, в том числе и углеводородных маркеров, методами препаративной, газовой, жидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии.

В результате проведенных исследований выявлена ведущая роль терригенного материала в формировании рыхлого осадочного чехла глубоководной части арктического бассейна в целом, включая зону Северного полюса

и отсутствие таковой для донных отложений поднятия Менделеева, особенно северной его части.

Так, на **профиле 1**, бескарбонатные тонкозернистые разности ($C_{\text{карб.}} < 0,05\%$) южной части разреза резко сменяются в северном направлении осадками, содержащими значительные примеси песчаного и гравелитового, в том числе обломочного карбонатного, материала ($C_{\text{карб.}}$ до 4 %). Параллельно до следовых величин убывает содержание $C_{\text{орг.}}$ (от 0,56% до 0,10–0,01%). Во всем стратиграфическом разрезе отложений северной части поднятия Менделеева ОБ композиционно однотипно. Для него характерно низкое содержание растворимых компонентов (<5%), отсутствие гуминовых кислот, аномально высокие битуминозность ($\beta=5-10\%$) и содержание углеводов (до 30 мг/г $C_{\text{орг.}}$). В составе алифатических углеводов доминируют четные ($\text{OEP}<1$), короткоцепочечные ($n\text{-C}_{14, 16}$) соединения линейного строения ($\text{Кизо} = 0,4$). Гопановые и стерановые коэффициенты свидетельствуют о **катагенетическом** уровне зрелости ОБ (для гопанов: $T_s/T_m = 0,73$, $22S/22R+22S = 0,60$; для стеранов: $20S/20R+20S = 0,48$). В составе полиароматических углеводов (ПАУ) доминируют фенантрен и C_1 -алкилфенантрены. Маркеры терригенного ОБ не зафиксированы.

В осадочных отложениях **профиля 2** сероцветные пелитовые осадки, обогащенные органическим веществом и сформированные в восстановительных условиях ($C_{\text{карб.}} < 0,05\%$, $C_{\text{орг.}} > 1\%$, БитАхл до 500 мкг/г) прослеживаются в северном направлении до срединной части хребта Ломоносова, отражая значительный масштаб поступления в этот район терригенного осадочного материала. На это указывает и состав алкановых углеводов, в котором во всем стратиграфическом разрезе преобладают маркеры гумусового слабо преобразованного ОБ ($C_{17-19}/C_{27-31} = 0,1-0,3$; $\text{OEP}_{29-31} > 4$). Низкое значение гопановых коэффициентов зрелости ($T_s/T_m = 0,33$, $22S/22R + 22S = 0,43$) и доминирование биогенных гопенов и $\beta\beta$ -гопанов соответствуют стадии раннего диагенеза. В составе полиаренов значительную роль играют перилен и алкилхризены, маркирующие терригенное ОБ.

В осадках центральной части котловины Амундсена, в географической точке Северного полюса, в осадочном разрезе чередуются бескарбонатные и слабокарбонатные ($C_{\text{карб.}}$ до 0,20%) прослой с фоновым для глубоководной части СЛО содержанием $C_{\text{орг.}}$ (< 0,40 %). Бимодальное распределение n -алканов (C_{17-19}/C_{27-31} до 0,5) указывает на смешанный гумусово-гидробионтный генезис ОБ с преобладанием слабо преобразованной терригенной составляющей ($\text{OEP}_{29-31} = 3,6-6,8$). Это свидетельствует об устойчивой и интенсивной поставке в позднем кайназое в глубоководную часть арктического бассейна шельфового осадочного материала. Гопановые показатели зрелости ОБ достигают значений характерных для постдиагенетической стадии преобразования ($T_s/T_m = 0,48$, $22S/22R+22S=0,55$), в составе ПАУ резко снижается доля перилена, что соответствует окислительным условиям осад-

конакопления. Отложений достигших катагенетической стадии зрелости в данном районе не обнаружено.

Таким образом, сравнительный анализ выявил принципиальное различие геохимических параметров четвертичных отложений восточно-арктической континентальной окраины и поднятия Менделеева, ОВ которых не типично для современных донных отложений.

Принимая во внимание многообразие факторов, определяющих композиционный состав ОВ осадочных отложений и, соответственно, статистический характер значений геохимических параметров, можно говорить лишь о преобладании тех или иных компонентов. Комплекс полученных данных позволяет заключить, что в формировании плейстоцен-голоценовых отложений осевой части поднятия Менделеева значительную роль играют древние осадочные породы, содержащие генетически однородное и глубоко преобразованное ОВ, достигшее уровня мезокатагенеза.

On the base of geomorphologic, lithology and facial characteristic of the area the main factors which control OM entry to the sediments of East-Arctic deep-sea part of Arctic Ocean in Cenozoic were investigated. Complex analysis of organic matter (OM) in the samples picked out during the "Akademik Fedorov" Arctic cruises (2000, 2005) indicated a difference of the Lomonosov Ridge and Mendeleev Rise sediments cover. Thus, as distinct from other Eastern-Arctic sediments, OM of this area is remarkable for high level of transformation and absence of terrigenous components it has been demonstrated on the basis of complex organic-geochemical investigations (C_{carb} , C_{org} , N_{org} content, composition and distribution of hydrocarbon markers, pyrolysis temperature). Detailed comparative analysis of geochemical parameters of the Mendeleev Rise deposits has allowed to establish that they are the most closely related to the sedimentary rocks of Siberian Platform of the upper-Paleozoic and lower-Mesozoic periods.

**Н.В. Пименов¹, М.О. Честнова², Т.С. Прусакова¹,
Е.Е. Захарова¹, В.В. Сивков²**

(¹Институт микробиологии им. С.Н.Виноградского РАН, e-mail: npimenov@mail.ru,

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: sivkov@balnet.ru)

**Микробиологические и биогеохимические процессы в
районе покмарка в Гданьской впадине Балтийского моря
N.V. Pimenov¹, M.O. Chestnova², T.S. Prusakova¹,
E.E. Zacharova¹, V.V. Sivkov²**

(¹Winogradsky Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences, Moscow,

²P.P.Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

**Microbial and biogeochemical processes at the pockmark area
in the Gdansk Deep of the Baltic Sea**

В начале семидесятых годов прошлого столетия сотрудниками ИО РАН им. П.П. Ширшова впервые были обнаружены аномалии в распределении углеводородных газов в придонных водах Балтийского моря [1]. Геофизические и геологические исследования, проведенные в серии экспедиций, показали, что повышенное содержание метана в воде у морского дна обусловлено разгрузкой газосодержащих флюидов, которая происходит вблизи специфических форм донного микрорельефа – кратеров-покмарков. Позднее метановые кратеры с характерными газонасыщенными осадками и повышенным содержанием метана в придонной воде были выявлены в различных районах Балтийского моря в пределах Гданьской, Арконской, Борнхольмской и Готландской впадин [2].

В 87 рейсе НИС «Профессор Штокман» (июль 2007 г.) проведены комплексные микробиологические и биогеохимические исследования метанового кратера, расположенного в российском секторе Гданьской впадины. Измерение содержания метана в придонных горизонтах водной толщи свидетельствуют об устойчивом потоке CH_4 из осадочной толщи в наддонную воду. По мере приближения ко дну содержание метана в пробах воды увеличивалось почти на порядок и достигало наибольших величин непосредственно у контакта «вода-дно» (до 18 мкл/л). Наряду с метановыми аномалиями, в 10-метровом слое воды над кратером обнаружены повышенные значения численности микроорганизмов, а также интенсивности темновой фиксации углекислоты (до 12 мкгС/(л сут) и окисления метана (до 44 мкл CH_4 /(л сут). Повышение интенсивности CO_2 -ассимиляции может быть следствием не только активности метаноокисляющих микроорганизмов, но и тионовых бактерий, окисляющих восстановленные соединения серы, поступающие в наддонную воду из сильно восстановленных газонасыщенных донных осадков. Об активности микробного сообщества в придонной воде свидетельствует также облегченный изотопный состав углерода органического вещества взвеси ($\delta^{13}\text{C}$ -26,36‰-26,97).

В осадках «газового полигона» по сравнению с фоновыми станциями содержание метана резко нарастало от поверхности до 40–60 мл/дм³ на горизонте 20–30 см. Радиоизотопным методом зафиксированы высокие скорости бактериальной сульфатредукции (СР) с максимумом (72 мкмольS/дм³ сут) в подповерхностных горизонтах (15–20 см). На этих же горизонтах обнаружены и наиболее высокие (до 80 мкмоль/дм³ сут) интенсивности анаэробного окисления метана (АОМ). Четко совпадающие профили скоростей АОМ и СР в стехиометрии близкой к 1:1 подтверждают гипотезу тесной взаимосвязи этих двух процессов, проводимых консорциумом метанотрофных архей и сульфатредуцирующих бактерий. Ниже 30 см наблюдалось уменьшение концентрации сульфатов до величины 20–40 мг/л, и интенсивность СР и АОМ снижалась. В опробованных осадках, в том числе и в наиболее глубоких горизонтах, где содержание сульфатов и скорость СР снижались, нам не удалось выявить заметных процессов микробного образования метана. Скорость метаногенеза не превышала 1 мкл/(дм³ сут). Поэтому не вызывает сомнения, что высокое содержание метана в поверхностных осадках кратера, определяется поступлением СН₄ из более глубоких горизонтов осадочной толщи. Величина изотопного состав углерода метана в поверхностных осадках кратера варьировала от -53,0 до -56,5 ‰, что не исключает присутствия в составе газа как биогенного (основная часть), так и термokatалитического метана.

1. Геодекиян А.А., Троцюк В.Я., Авилов В.И. и др. Углеводородные газы в водах Балтийского моря // *Океанология*. 1979. Т. 19 (4). С. 638–643.

2. Геохимия вод и донных осадков Балтийского моря в районах развития газовых кратеров и геоакустических аномалий / Отв. ред. А.А. Геодекиян, Е.А. Романкевич, В.Я. Троцюк. М.: ИО РАН, 1997. 150 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 07-04-00160-а, 07-04-100051-к и гранта МКБ Президиума РАН.

The pockmark area characterized by increasing in methane concentration in the near bottom water and surface sediments, high number of microorganisms and intensity of microbial methane oxidation (MO) and sulfate reduction (SR) were found. Results of the measurement of anaerobic MO and SR rate in the surface sediments are in agreement with a stoichiometry of 1:1 between AOM and SR.

Methane from crater sediments is of mixed origin (with prevalence of biogenic methane), as indicated by $\delta^{13}\text{C}$ values of -53,0 to -56,5 ‰.

**И.И. Пипко¹, И.П. Семилетов¹, С.П. Пугач¹, И.А. Репина²,
А.Н. Салюк¹**

¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, irina@poi.dvo.ru, igorsm@poi.dvo.ru, pugach@poi.dvo.ru, san@poi.dvo.ru;

²Институт Физики Атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, repina@ifaran.ru)

**Потоки CO₂ в системе океан-атмосфера на шельфе
Восточно-Сибирского моря**

**I.I. Pipko¹, I.P. Semiletov¹, S.P. Pugach¹, I.I. Repina²,
A.N. Salyuk¹**

(¹V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, ²A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics Russian Academy of Sciences, Moscow)

**CO₂ fluxes in the ocean-atmosphere system
on the East-Siberian Sea shelf**

В отличие от систематического исследования карбонатной системы океанических вод в низких и средних широтах, изучение морей Северного Ледовитого океана до недавнего времени носило эпизодический характер, как по районам исследований, так и по количеству измерений и набору определяемых параметров. Сейчас арктический регион, где в наибольшей степени проявляются глобальные изменения климата, вызывает все возрастающий интерес. Исследования параметров карбонатной системы прибрежно-шельфовой зоны Восточно-Сибирского моря (ВСМ), выполненные нами в сентябре 2003–2005 гг., показали, что характерной особенностью распределения парциального давления двуокиси углерода в прибрежных поверхностных водах ВСМ в осенний сезон является снижение величин $p\text{CO}_2$ с запада на восток со значительными пространственными флуктуациями, связанными с влиянием речных вод и деструкцией эрозионного органического вещества. Прибрежно-шельфовая часть ВСМ может быть разделена на две биогеохимические провинции: западная часть моря являлась источником CO₂ в атмосферу, а восточная – стоком. Это обусловлено тем, что западная часть Восточно-Сибирского моря находилась под влиянием рек бассейна ВСМ и вод юго-восточной части моря Лаптевых, распресненных, мутных и обогащенных биоактивным органическим материалом, поступающим в воду в результате термоабразионных процессов. В восточной части доминировали холодные трансформированные воды Чукотского моря, соленые, прозрачные и высокопродуктивные, что привело к значительному снижению $p\text{CO}_2$. Смена направления потока (от эвазии к инвазии) происходила в зоне наибольших градиентов гидрологических и гидрохимических параметров, характеризующих смешивающиеся воды. Межгодовая динамика параметров карбонатной системы вод ВСМ определялась интенсивностью распространения на морской акватории вод различного генезиса, обусловлен-

ной изменчивостью атмосферной циркуляции, а также величиной речного стока и динамикой термоэрозийных процессов.

Помимо слабой изученности элементов карбонатной системы в морях Восточной Арктики, до настоящего времени нет единого мнения о предпочтительности использования того или иного метода расчета потоков CO_2 в системе океан-атмосфера, в частности, для полярных районов. На примере юго-западной части ВСМ, где нами впервые для изучаемого региона были синхронно измерены и рассчитаны потоки CO_2 в системе океан-атмосфера, было выполнено сравнение расчетных значений потоков, полученных с использованием различных алгоритмов, с величинами потоков, измеренных микрометеорологическим методом, и обоснован оптимальный, на наш взгляд, способ расчета величин потоков CO_2 в системе океан-атмосфера для изучаемого региона. Показано, что для расчета потоков CO_2 в системе океан-атмосфера на шельфе ВСМ в осенний сезон предпочтительным является применение кубической параметризации Ваннинкова с использованием среднечасовой (или среднесуточной) скорости ветра.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РАН (проект ДВО РАН по Программе 16 и проект ДВО РАН № 06-III-A-07-261), Российского Фонда Фундаментальных Исследований, ФЦП "Мировой океан", а также Cooperative Institute for Arctic Research through NOAA Cooperative Agreement NA17RJ1224.

Our investigations of CO_2 system in September 2003–2005 show that the partitioning of water masses in the East Siberian Sea (ESS) is reflected in direction of CO_2 flux between ocean and atmosphere. Western part of ESS strongly influenced by coastal erosion and river discharge is a source of CO_2 into atmosphere. In contrast, eastern part of ESS where high-productive the Chukchi Sea waters have dominated is a CO_2 sink. Position of boundary between these areas varies significantly from year to year and is determined by hydrometeorological conditions, volume of river discharge and dynamics of thermoerosion processes.

Т.Г. Потёмкина, А.Н. Сутурин

(Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, e-mail: tat_pot@lin.irk.ru)

Особенности ландшафтных обстановок береговой зоны озера Байкал

T.G. Potemkina, A.N. Sutturin

(Limnological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk)

Characteristics of landscape environments of Lake Baikal coastal zone

Байкал – пресноводное рифтовое озеро. Его узкая и длинная впадина создана активной сбросовой тектоникой. Озеро имеет большие глубины, скалистые берега преимущественно абразионного типа, отличается врезанностью в древний кристаллический субстрат, представленный в основном древними метаморфическими и кристаллическими толщами, вовлеченными в новейший тектонический процесс – поднятие, растрескивание, рифтообразование. Водоем имеет речное питание и регулярный сток, его уровень подвержен периодическим не очень значительным колебаниям, воды слабо минерализованные, высокопрозрачные, богатые кислородом, имеют разнообразную флору и фауну.

Береговая зона Байкала, составляющая 6% от площади зеркала озера, является его наиболее динамичной частью. Здесь активны процессы взаимодействия волновой энергии и разнообразных горных пород, солнечной инсоляции и газообмена между водной массой и атмосферой. Активность всех процессов объясняет богатство и разнообразие ландшафтов и биоценозов береговой зоны. Развитие ландшафтов зависит от сочетаний природных комплексов, под влиянием которых происходят водные биогеохимические процессы, определяющие продуктивность субаквальных биогеоценозов (рис.).

Биота активно воздействует на горные породы. Особо следует отметить биогеохимическое разложение горных пород. Бактерии, цианобактерии, водоросли, подводные лишайники оказывают на горные породы сильнейшее химическое воздействие растворами целого комплекса минеральных и органических кислот. Разлагая с их помощью те или иные минералы, организмы избирательно извлекают и используют такие важнейшие питательные элементы, как кальций, кремний, калий, натрий, фосфор, микроэлементы. Водные организмы концентрируют элементы, необходимые для построения своих скелетов или покровов, например, кальциевые организмы (моллюски, астрокоды, амфиподы) и кремниевые (диатомовые водоросли, губки). До настоящего времени господствовало мнение, что гидробионты накапливают химические элементы, поглощая их из воды. Однако, последние исследования позволили изменить взгляд на этот вопрос. Многие виды гидробионтов, особенно те, которые предпочитают жить под водой на грубообломочном материале, на поверхностях выхода коренных пород, на скальных уступах

(бактериобентос, бентосные водоросли, лишайники, губки), извлекают элементы в большей степени непосредственно из этих горных пород. Сравнительный анализ среднего содержания химических элементов в горных породах, донных отложениях, воде, некоторых видах гидробионтов и взвеси Байкала показал, что в целом концентрация элементов в биоте меньше, чем в донных отложениях и горных породах, но больше, чем во взвеси и воде озера.

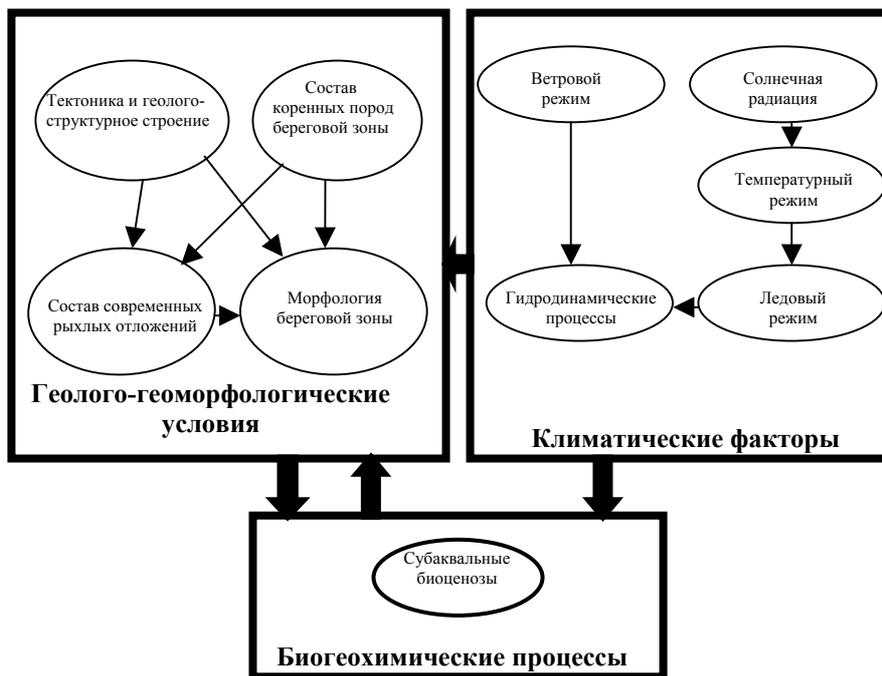


Рис. Природные комплексы, влияющие на развитие ландшафтов береговой зоны Байкала.

Следует отметить, что на Байкале видовое многообразие и фитомасса водорослей выше у западного борта, представленного преимущественно древним кристаллическим субстратом. Тектонические структуры создают условия для формирования пересеченного рельефа и сообществ обрастателей. При этом важнейшим фактором, контролирующим распределение гидробионтов, является вещественный состав, форма залегания и степень выветрелости коренных пород, обнажающихся на берегу и подводном склоне. Контрасты подводного рельефа вызывают большое разнообразие ландшафтных обстановок и донных группировок; напротив, равнинный рельеф характеризуется плохо выраженной ландшафтной и экологической дифференциацией.

Сопоставление численности, фитомассы, видового состава гидробионтов на западном и восточном склонах озера убеждает в том, что для их жизни предпочтительнее западный борт Байкальской впадины, несмотря на жесткие гидродинамические условия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 06-05-64062).

The rift origin of Lake Baikal and active aquatic biogeochemical processes promote the development of the unique biodiversity of its habitants on the background of weak mineralization of waters.

А.В. Савенко

(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
e-mail: Alla_Savenko@rambler.ru)

**Оценка степени насыщения вод устьевой области Волги
по карбонату кальция**

A.V. Savenko

(Moscow M.V. Lomonosov State University)

**Estimation of water saturation degree on the calcium carbonate
in the Volga mouth area**

В зоне смешения речных и морских вод происходит резкое смещение карбонатного равновесия, обусловленное ростом минерализации и снижением кислотности среды. Наиболее ярко это проявляется в устьевых областях рек аридной зоны, где в период интенсивного фотосинтеза неоднократно наблюдалось присутствие во взвеси значительных количеств хемогенного кальцита, достигавшее в ряде случаев 10–20% [1–4]. Подтверждением возможности хемогенного образования CaCO_3 в устьях южных рек служат расчеты [5], показывающие более чем десятикратное пересыщение вод ионами Ca^{2+} , HCO_3^- и CO_3^{2-} в интервале солёности от 2 до 5‰, однако непосредственных оценок степени насыщения вод устьевых областей по карбонату кальция до сих пор не проводилось.

В настоящем сообщении представлены результаты натуральных экспериментов по определению степени насыщения вод устьевой области Волги по карбонату кальция в августе 2004 г. Расположение станций отбора проб показано на рис. 1.

На каждой станции в отобранной из поверхностного горизонта пробе воды сразу измерялась величина pH в герметично закрытом сосуде, после чего часть пробы отливалась в емкость с предварительно внесенной туда навеской кальцита и в течение нескольких часов при интенсивном перемешивании приходила в состояние насыщения относительно твердой фазы. Затем раствор отфильтровывался через плотный бумажный фильтр, и в фильтрате сразу же измерялась величина pH, а также щелочность и концентрация кальция одновременно с отфильтрованной пробой воды в естественном состоянии. Результаты определений приведены в таблице.

Поскольку для исследуемых растворов различия общих коэффициентов активности ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} в естественных условиях и в равновесии с CaCO_3 незначительны, для определения степени насыщения (Ω_{CaCO_3}) было использовано приближенное уравнение:

$$\Omega_{\text{CaCO}_3} = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}$$

где в числителе и знаменателе находятся концентрации ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} до и после уравнивания растворов с CaCO_3 .

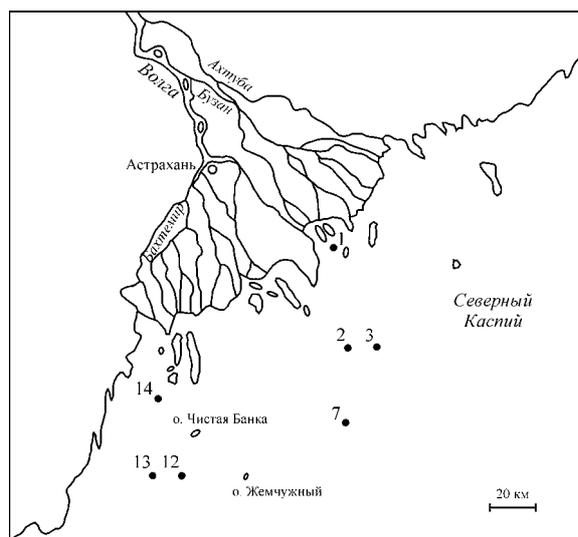


Рис. 1. Расположение станций отбора проб

Расчет степени насыщения вод устьевой области Волги по карбонату кальция

№№ стан-ций	Глубина, м	T, °C	Cl, мг/л	pH		Alk, мг-экв/л		Ca, мг-экв/л		Степень насыщения по CaCO_3
				естеств.	насыщ.	естеств.	насыщ.	естеств.	насыщ.	
1	1.5	27.0	26.2	8.11	7.98	2.43	2.22	2.52	2.33	1.59
1a	0.6	27.0	26.2	8.12	7.96	2.43	2.21	2.52	2.05	1.93
2	3.5	28.0	384	8.79	8.22	2.68	2.35	3.63	3.24	4.35
3	5.0	28.2	1204	8.84	8.20	2.96	2.58	6.07	5.75	4.76
7	5.8	27.6	2516	8.61	8.10	3.31	2.44	9.98	9.20	4.50
12	4.0	26.3	1447	8.62	8.13	2.96	2.22	6.62	6.21	4.15
13	4.3	26.2	864	8.74	8.15	2.74	2.38	5.06	4.65	4.49
14	6.0	24.3	27.5	7.89	8.10	2.41	1.92	2.48	2.04	0.95
14a	1.0	24.3	27.5	7.95	8.12	2.41	1.56	2.50	1.75	1.51

Расчеты показали (рис. 2), что при выходе на устьевое взморье степень насыщения вод резко возрастала, изменяясь от 1–2 при содержании хлоридов 20–30 мг/л до 4,5 при содержании хлоридов ~400 мг/л. При дальнейшем увеличении доли морской водной массы степень насыщения вод по карбонату кальция оставалась практически неизменной, находясь в интервале от 4,2 до 4,8. При таком перенасыщении действительно может происходить оса-

ждение хомогенного карбоната кальция, особенно в местах локального повышения рН при фотосинтезе.

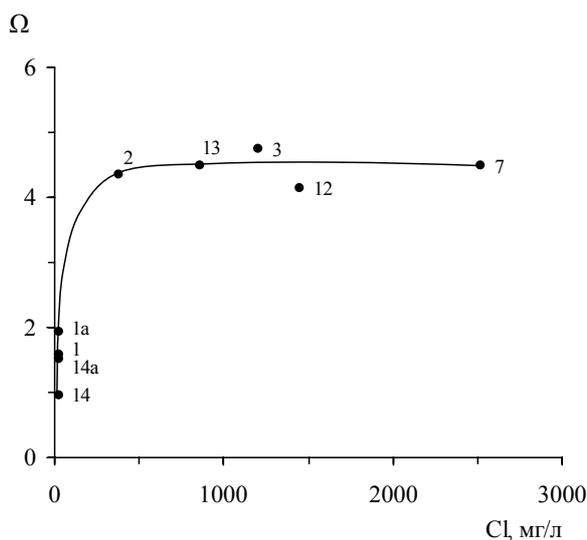


Рис. 2. Изменение степени насыщения вод устьевой области Волги по карбонату кальция с ростом содержания хлоридов. Подписи к точкам – номера станций

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 05–05–66810).

1. Хрусталеv Ю.П. Закономерности современного осадконакопления в Северном Каспии. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1978. 208 с.

2. Хрусталеv Ю.П. Особенности седиментогенеза в области влияния речного стока // Лавинная седиментация в океане. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1982. С. 59–71.

3. Хрусталеv Ю.П., Клунникова Л.З., Мирзоян И.Я. Количественное распределение и основные типы взвеси Азовского моря // Лавинная седиментация в океане. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1982. С. 95–118.

4. Хрусталеv Ю.П. Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны. Л.: Наука, 1989. 261 с.

5. Алекин О.А., Моричева Н.П. К вопросу о стабильности карбонатной системы в природных водах // Докл. АН СССР. 1957. Т. 117. № 6. С. 1030–1033.

Estimation of water saturation degree on the calcium carbonate in the Volga mouth area was carried out. It was shown that the water saturation degree varied from 1–2 at 20–30 mg Cl/l to 4.5 at 400 mg Cl/l and more. This supersaturation is sufficient to chemogenic calcium carbonate formation.

А.В. Савенко, Д.Д. Бадюков

(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
e-mail: Alla_Savenko@rambler.ru)

**Трансформация стока биогенных элементов и кальция
в зоне смешения вод р. Черной и Севастопольского залива**

A.V. Savenko, D.D. Badyukov

(Moscow M.V. Lomonosov State University)

**Transformation of biogenic elements and calcium runoff
in the Chernaya River and Sevastopol Bay mixing zone**

Проблема изучения химической трансформации речного стока в устьевых областях рек в настоящее время особенно актуальна в связи с усилением загрязненности речных вод, что ведет к непропорциональному росту опасности ухудшения экологического состояния водной среды в зоне смешения речных и морских вод. Трансформация химического состава материкового стока при взаимодействии с морской водой сопровождается изменением фазового состояния и форм нахождения растворенных и взвешенных компонентов. Наиболее чувствительными к антропогенному загрязнению являются компоненты, для которых характерно дополнительное поступление в раствор в результате десорбции с речных взвесей или других внутриводоемных процессов. Наименее потенциально опасными загрязнителями являются компоненты, которые в зоне смешения речных и морских вод интенсивно удаляются из раствора в результате химических или биологических процессов.

Интенсивность и направленность протекания внутриводоемных процессов в устьевых областях рек характеризуется сильной пространственно-временной изменчивостью. В связи с этим для оценок степени трансформации стока растворенных компонентов в зоне смешения речных и морских вод необходимо установить связь изменения их концентраций с наиболее значимыми факторами, контролирующими их распределение в каждом конкретном водном объекте.

Цель настоящей работы состояла в изучении распределения растворенных форм биогенных элементов в зоне смешения вод р. Черной и Севастопольского залива, а также растворенного кальция, для которого по данным [1] была установлена существенная десорбция с терригенных взвесей в устьях малых водотоков Прикавказской зоны Черного моря.

Гидролого-гидрохимическая съемка устьевой области р. Черной была проведена с 31 января по 2 февраля 2004 г. в период зимней межени и охватывала нижнее течение реки и акваторию Севастопольского залива. Работы выполнялись в поверхностном слое воды на 21 станции. Сразу же после отбора пробы воды фильтровались через плотный бумажный фильтр и консервировались добавлением небольшого количества хлороформа.

Анализ полученных данных показал, что для растворенного минерального фосфора даже в зимний период, по-видимому, характерно биологическое потребление, обеспечивающее резкое снижение его концентраций на начальных стадиях смешения с морской водой, которое достигало 0,0045 мг/л (65%) при содержании хлоридов ~0,5 г/л (рис. 1). Распределение растворенного кремния, напротив, было близко к консервативному и описывалось линейным уравнением связи с содержанием хлоридов:

$$[\text{Si}, \text{мг/л}] = 2,43 - 2,35 \times 10^{-4} [\text{Cl}, \text{мг/л}], \quad r = 0,999.$$

В целом содержание биогенных элементов в исследуемом районе было довольно низким: максимальные концентрации растворенного минерального фосфора и кремния в речных водах не превышали, соответственно, 0,007 и 2,5 мг/л.

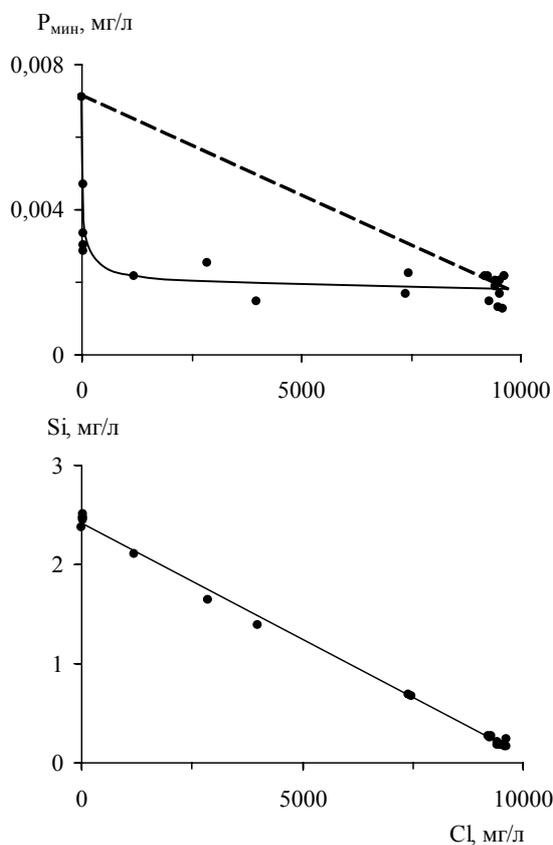


Рис. 1. Зависимости концентраций растворенного минерального фосфора и кремния от содержания хлоридов. Здесь и на рис. 2 пунктиром обозначены расчетные линии консервативного смешения

Для кальция наблюдалось небольшое, но четко выраженное превышение концентраций относительно расчетных значений по уравнению консервативного смешения (рис. 2), достигавшее 20 мг/л (15%) при содержании хлоридов ~2,5 г/л. Аналогичная форма зависимости между концентрациями кальция и хлоридов была установлена для устьев малых водотоков Прикавказской зоны Черного моря [1]. Наиболее вероятной причиной дополнительного поступления кальция в растворенное состояние является десорбция с речных взвесей в результате резкого изменения состава их поглощенного комплекса при взаимодействии с морской водой. Десорбция кальция с терригенных взвесей характерна и для устьевых областей рек мира в целом: согласно оценкам [2], количество кальция, десорбирующегося с речных взвесей при их проникновении в морскую среду составляет 67 млн т/год, или 13% от поступления растворенного кальция с материковым стоком.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 05-05-66810).

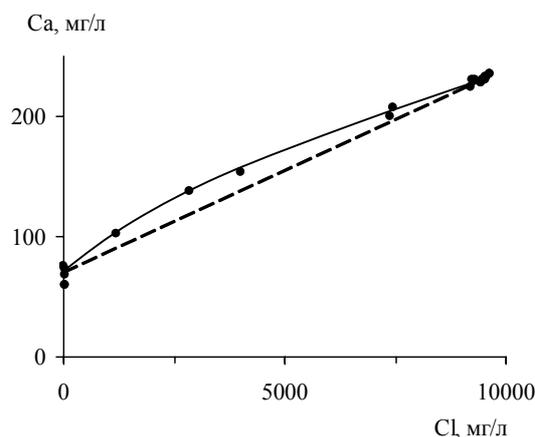


Рис. 2. Зависимость между концентрациями растворенного кальция и хлоридов

1. Савенко А.В., Архипкин В.С. Закономерности миграции стронция, кальция, фтора и бора в прибрежной акватории Прикавказской зоны Черного моря // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 5. С. 619–626.

2. Савенко В.С. Геохимические проблемы глобального гидрологического цикла // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. М.: МГУ, 1999. С. 48–72.

Regularities of the transformation of dissolved phosphate, silica, and calcium runoff were studied in the Chernaya River and Sevastopol Bay mixing zone. The non-conservative behavior caused by the biological consumption and desorption from river suspended matter, respectively, was found for phosphates and calcium. The conservative behavior was found for silica.

В.С. Савенко

(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
e-mail: Alla_Savenko@rambler.ru)

Аутигенное силикатообразование в океане как источник атмосферной углекислоты**V.S. Savenko**

(Moscow M.V. Lomonosov State University)

Autigenic silicates formation in the ocean as the source of atmospheric carbonic acid

Анализ геохимического баланса углерода в океане показал, что последний является мощным поставщиком CO_2 в атмосферу: ~ 2140 млн т CO_2 /год [1]. Метод геохимического баланса не позволяет вскрыть внутренние механизмы трансформации соединений органического и неорганического углерода в океане, приводящие к высвобождению в атмосферу столь больших количеств CO_2 , однако некоторую ясность в этот вопрос может внести рассмотрение процессов выветривания, приводящих к мобилизации веществ на суше и поступлению их в океан. В частности, отмечалось, что переотложение карбонатных пород сопровождается поглощением CO_2 из атмосферы при их растворении в процессе выветривания и возвратом CO_2 в атмосферу при образовании карбонатных осадков в морях и океанах.

Выветривание силикатов помимо перехода в растворенное состояние части кремнезема также сопровождается связыванием атмосферного CO_2 в форме растворимых бикарбонатов щелочных и щелочноземельных элементов. В такой форме эти растворенные продукты выветривания поступают в океан. Если допустить нахождение океана в стационарном состоянии, что имеет многочисленные подтверждения, то для соблюдения постоянства солевого состава морской воды необходимо, чтобы все вносимые растворенные вещества выводились из океана либо в донные отложения, либо в атмосферу. Это в полной мере относится к растворимым продуктам выветривания силикатной фракции континентальной коры, которые в океане должны образовывать аутигенные силикаты.

Трудности количественной оценки влияния аутигенного силикатообразования на цикл углерода обусловлены необходимостью выделения в составе материкового стока генетической составляющей, связанной с растворением силикатов при выветривании горных пород. Данная задача была решена с использованием метода последовательного вычленения продуктов выветривания разных химических фракций горных пород (карбонатов, растворимых солей, сульфитов, силикатов). В итоге был получен состав растворенных продуктов выветривания силикатной фракции горных пород континентальной коры (10^{12} моль/год): $\text{Na}^+ - 4,30$, $\text{K}^+ - 1,53$, $\text{Mg}^{2+} - 4,20$, $\text{Ca}^{2+} - 2,07$, $\text{SiO}_2 - 7,93$, $\text{HCO}_3^- - 18,37$. Эти вещества, реагируя между собой

с образованием $\sim 2 \cdot 10^{12}$ молей гипотетического силиката с химической формулой $\text{Na}_{2.17}\text{K}_{0.77}\text{Mg}_{2.12}\text{Ca}_{1.04}[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_{5.26}$, высвобождают $18,37 \cdot 10^{12}$ молей (808 млн т) CO_2 , который должен возвратиться в атмосферу.

Таким образом, аутигенное силикатообразование в океане является мощным источником CO_2 атмосферы и на его долю приходится почти 40% общей эмиссии CO_2 из океана.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 06–05–72552).

1. Савенко В.С. Океан является источником углекислого газа атмосферы? // Геохимия. 1995. № 11. С. 1634–1642.

The geochemical balance of autigenic silicates formation in the ocean was considered. It was shown that this process causes the emission of 808 million ton of CO_2 per year in the atmosphere.

Л.М. Сороковикова, И.В. Томберг, Н.В. Башенхаева

(Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, e-mail: lara@lin.irk.ru)

Динамика химического состава в зоне смешения речных и озерных вод (р. Селенга – оз. Байкал)

L.M. Sorokovikova, I.V. Tomberg, N.V. Bashenkhaeva

(Limnological Institute of SB RAS, Irkutsk)

Dynamics of the water chemistry within the zone of fluvial and lake waters mixing (the Selenga River – Lake Baikal)

Комплексные гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические исследования в зоне смешения вод оз. Байкал и его главных притоков выполнены в различные сезоны (зима, весна, лето, осень) 2003–2006 гг. [1].

Изменение химического состава речных вод в зоне смешения определялось методом оценки степени разбавления одних вод другими, используя стабильность содержания отдельных показателей ионного состава (трассеров). В качестве ингредиентов-трассеров использованы сульфат-ионы и сумма ионов, содержание которых в воде оз. Байкал достаточно устойчиво и в среднем составляет 5,6 и 96 мг/л соответственно. Расчет коэффициента смешения речных и озерных вод показал, что несмотря на сезонные особенности речного стока основные изменения концентраций главных ионов в воде происходят на расстоянии, не превышающем 4 км от устья реки. Далее в озеро их концентрации соответствуют таковым в Байкале и остаются стабильными в течение года. Результаты расчетов смешения по сумме ионов и по концентрации сульфатов получились близкими, что подтверждает их достоверность. Концентрации ингредиентов-трассеров в воде и рассчитанный коэффициент смешения связаны прямой линейной зависимостью, коэффициент корреляции 0,99.

Максимально активно процессы трансформации биогенных элементов во все сезоны года протекают на придельтовом участке на расстоянии 1–3 км от места впадения реки. Здесь, в результате подпрудивания реки водами озера, происходит резкое снижение скорости стокового течения: в 1 км от протоки Харауз она снижается более чем в 2 раза, а в 2,5 км практически не улавливается [2]. В пределах первого км выпадает основное количество взвешенных веществ выносимых рекой, повышается прозрачность воды, регистрируются максимальные градиенты температуры, интенсивность продукционных процессов выше, чем в устье реки и в открытом Байкале. Поступающие с селенгинскими водами биогенные элементы, активно вовлекаются в биологический круговорот [1].

Установлено, что концентрации кремния, нитратного азота и минерального фосфора в воде р. Селенги в основном выше, чем в воде Байкала. Исключение составляют кратковременные периоды летом, когда при низкой водности и повышенной температуре воды развитие фитопланктона в реке

достигает экстремально высоких величин [1]. На рисунке показаны особенности трансформации концентраций биогенных элементов в зоне смешения в зимний и летний периоды. Как видно, зимой по характеру кривой можно сказать, что изменения концентраций в основном обусловлены процессами разбавления. Незначительное увеличение в воде минерального фосфора и нитратного азота в этот период может быть связано с деструкцией органического вещества, поступающего с речными водами.

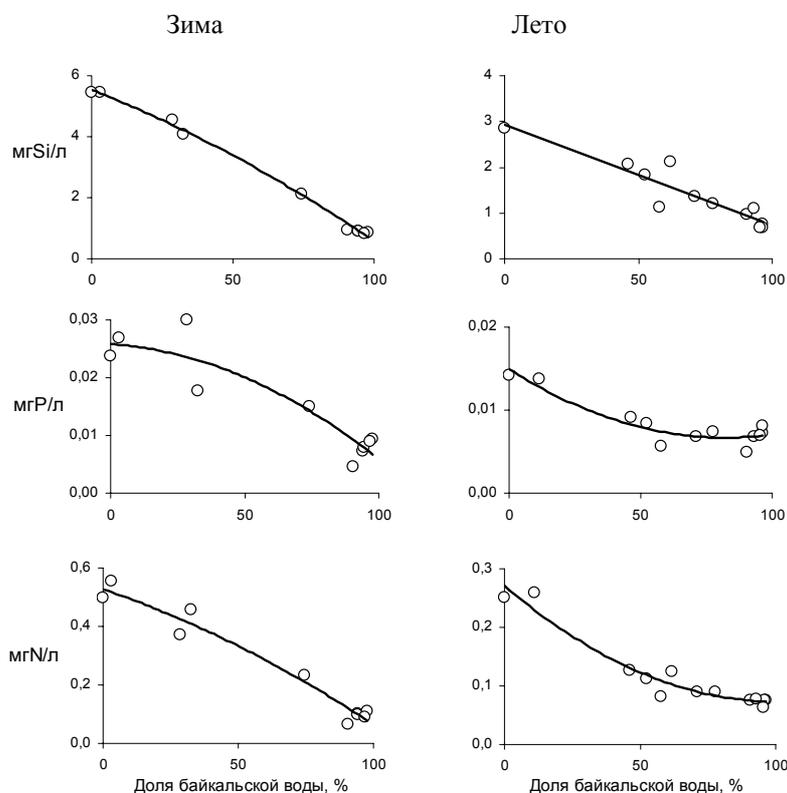


Рис. Изменение концентраций биогенных элементов в зоне смешения с увеличением доли байкальской воды в смеси

В летне-осенний период отмечено снижение концентраций биогенных элементов обусловленное, как процессами разбавления, так и потреблением их фитопланктоном. Наиболее существенные изменения характерны для концентраций азота и фосфора, тогда как кремния остаются практически без изменения. Это, вероятно, связано с достаточно высокими концентрациями последнего в воде реки (до 2,5–3,2 мг/л), по сравнению с озером (0,4–0,7 мг/л)

в трофогенном слое) и изменения его величин в зоне смешения в большей степени связаны с разбавлением водных масс, а не с потреблением. Снижение биогенных элементов в зоне смешения сопровождается увеличением численности и биомассы фитопланктона и автохтонного легкогидролизуемого ОВ, доля которого может достигать 69–74 % (июль 2003 г.) от его общего содержания в водной толще.

Установлено, что при низком водном стоке, основные изменения химического состава воды происходят в приустьевой области Селенгинского мелководья, не превышающем 3 км от места впадения реки. Увеличение водности (период летних паводков) приводит к повышению объемов стока, скоростей потока и зона активной трансформации может быть несколько больше, но не превышает 4 км.

Таким образом, трансформация речных вод и формирование озерных с новыми физическими и химическими характеристиками происходит в основном на придельтовом участке, не превышающем 1–4 км от устья р. Селенги. Основными факторами, определяющими, изменения компонентов речного стока, являются физико-химические и биологические процессы.

1. *Сороковикова Л.М., Грачев М.А., Поповская Г.И. В.В. Парфенова, П.П. Шерстянкин, И.В. Томберг, Н.В. Баиенхаева, С.П. Бюрюхаев, В.В. Блинов, Т.И. Земская, Намсараев Б.Б.* Биогеохимические процессы в барьерной зоне Селенгинского мелководья озера Байкал // Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ресурсами. Улан-Удэ (Россия) – Улан-Батор (Монголия), 2004. С. 129–130.

2. *Фиалков В.А.* Особенности течений в мелководной части района // Течения в Байкале. Новосибирск: Наука, 1977. С. 108–116.

Long-term studies have been performed in the mixing zone of the Selenga River fluvial waters and Baikal waters. The results obtained indicate that transformation of fluvial waters chemistry and formation of lake waters occurs mainly within the mixing zone, which does not exceed 4 km from the Selenga River mouth. The concentrations of major ions are mainly changing due to the waters mixing and dilution, whereas the concentrations of nutrients are controlled by both physical, chemical, and biological processes.

Ю.А. Федоров, А.Э. Овсепян

(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, fed29@mail.ru)

О соотношении валовой и метилртути в донных отложениях устьевой области р. Северная Двина

Yu.A. Fedorov, A.E. Ovsepyan

(Southern federal university, Rostov-on-Don)

To the ratio of total mercury and methylmercury in bottom sediments of the Northern Dvina estuary

Эмиссия ртути из донных отложений, как правило, происходит в виде наиболее токсичных форм ее нахождения (Федоров и др., 2001, 2003; Bartlett, Craig, 1981). Особую актуальность «вторичное загрязнение» приобретает для такого уязвимого региона земного шара, как Арктика, антропогенное давление на который в последние десятилетия многократно усилилось. Одним из основных процессов трансформации соединений ртути в воде и донных осадках водных объектов является реакция метилирования, эти процессы главным образом и определяют её обратный поток из донных отложений (Bartlett P.D., Craig P.L. 1981). Скорость процесса метилирования в аэробных условиях выше, чем в анаэробных. В присутствии сульфидов (> 170 мг/л) процесс метилирования замедляется или не проявляется вообще. При высоких значениях Eh преобладают деметилирующие процессы, продуктом их может быть Hg^0 , CH_4 или $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, последняя, вследствие низкой растворимости испаряется и, проходя через водную толщу, распадается на свету с образованием Hg^0 . При значениях Eh от -100 до $+150$ мВ основным продуктом метилирования является метилртуть. Ниже -100 мВ преобладает сульфидная ртуть. Сульфид ртути очень плохо растворяется в воде. Тем не менее, как показано в работах (Geological Survey, 1970), образование этого соединения при обычно встречающихся значениях Eh в хорошо аэрируемых речных и морских водах не происходит. Для его образования необходима сильно восстановительная среда, что обычно реализуется в донных отложениях и реже – в придонном слое воды (Тинсли, 1982).

По данным авторов (Yamamoto et al., 1983), изучавших равновесные процессы в модельных системах «вода – донные отложения – рыбы», следует, что содержание метилртути в водной среде не должно превышать 10 % от общего. Для песчаных осадков оно варьирует в пределах 0,1–3,5 %, для обогащенных органикой отложений доходит до 8 %. В общем, для донных осадков отношение концентраций метилртути к содержанию валовой ртути составляет 0,1–10 %. Для воды рек Канады и Японии отмечается следующее: на долю метилртути приходится 30 % от валового содержания ртути (2,2–7,0 нг/г с.м.) в воде (Kudo et al., 1982).

Выполненные синхронные натурные определения содержания растворенной и взвешенной форм миграции ртути в воде и валовой в донных от-

ложениях чрезвычайно сильно загрязненной р. Темерник (Федоров, 2004), а также метилртути, показали неплохую сходимость с расчетными данными. Так, в воде концентрация этого токсичного соединения изменялась в пределах 2–100 нг/г с.м., а в донных отложениях была не ниже 5–150 нг/г с.м., что составляло примерно 5–10 и 1–5% содержания металла в соответствующих средах. Рассчитанные уравнения регрессии показали не высокую, но значимую тесноту связи ($r = 0,27–0,45$) между содержанием метилртути с одной стороны и растворенной формой миграции, а также валовой ртути в донных отложениях с другой. Были получены не прямолинейные, а параболические зависимости, которые свидетельствуют, что с возрастанием до определенного предела концентрации растворенной и валовой ртути соответственно в воде и донных отложениях темпы увеличения содержания метилртути замедляются. Возможно, это связано с процессом деметилирования и восстановления ртути до элементной в водной толще с последующей эмиссией в атмосферу.

Основываясь на полученных авторами в ходе экспедиций 2004–2006 гг. экспериментальных данных о концентрациях ртути, особенностях рН и Eh донных отложений устьевой области Северной Двины (Фёдоров и др., 2005, 2006; Овсепян А.Э., Фёдоров Ю.А., 2006), были рассчитаны интервалы вариаций метилртути в донных осадках акватории. Максимальные концентрации ртути приурочены к донным отложениям, обогащенным пелитовыми фракциями. Таким образом, в этих донных осадках предполагалось повышенное содержание метилртути, однако для данной группы донных отложений было характерно также присутствие запаха сероводорода, то есть процессы метилирования ртути сопровождалась процессами сульфатредукции. Для устьевой области Северной Двины исследователями (Кокрятская и др., 2003) отмечен повышенный уровень содержания сульфида серы, серы элементной и других её соединений на участках, расположенных ниже сброса сточных вод ЦБК. Так, для протоки Кузнечиха концентрации соединений серы превышали характерные для акваторий, расположенных выше по течению реки значения почти в 9 раз. Для донных отложений, представленных преимущественно илами с присутствием сероводорода и отрицательными значениями Eh, процессы сульфатредукции превалируют над метилированием, и содержание метилртути здесь не достигает максимально возможного для данного типа донных отложений (0,87–28,0 нг/г с.м.). Для осадков песчаного и песчанисто-илистого состава характерны относительно высокие значения Eh, высокая загрязненность отходами целлюлозно-бумажного производства. С теоретической точки зрения эти условия благоприятны для метилирования, однако с учетом того, что содержание ртути здесь относительно невысоко, концентрация метилртути в данных осадках должна быть не велика, и находится, по нашим расчетам, в пределах 0,05–3,15 нг/г с.м. Особый интерес представляет поведение ртути в донных отложениях, формирующихся при различной солёности. По оценкам некоторых авторов, в донных осадках, сформированных на морских акваториях,

интенсивность метилирования составляет лишь 40 % по сравнению с пресноводными отложениями (Comreau, Bartha, 1987), высокая соленость способствует деметилированию ртути. Однако в работах (Coquery et al., 1997) отмечается, что в прибрежных морских водах средней солености также создаются условия для формирования высоких уровней метилртути в донных отложениях. Исследователями (Manoch et al., 2006) показано, что содержание метилртути в осадках пресноводных маршей составляло 3 % от общей концентрации ртути, соленых – 1,7 %. В литературе описаны случаи, свидетельствующие о неоднозначной роли бактерий-сульфатредукторов (ЕРА report, 2002) с одной стороны, и важной роли бактерий – метаногенов в метилировании ртути с другой. Так, исследователями (Фёдоров, 2004; ЕРА report, 2002) установлено наличие прямой зависимости между содержанием ртути и метана в воде и донных отложениях. Высказано предположение о том, что это связано с процессом синхронной генерации метана и метилртути в верхнем слое донных отложений, где одну и ту же экологическую нишу в зависимости от биотических и гидрологических условий могут занимать бактерии сульфатредукторы и метаногены (Фёдоров, 1999, 2004).

Таким образом, полученные нами натурные и расчетные данные о соотношении валовой и метилртути в донных осадках устьевой области р. Северная Двина хорошо сопоставимы с данными других авторов. В донных отложениях акватории устья Северной Двины действуют процессы, способные как увеличивать эмиссию метилртути в придонные горизонты воды, так и подавлять образование этого соединения. Техногенные осадки, содержащие повышенные концентрации ртути, при высоких уровнях содержания соединений серы, могут быть относительно безопасны с точки зрения эмиссии метилртути, однако ситуация может кардинально измениться при смене гидрологических фаз – увеличении аэрации и содержания кислорода в придонном горизонте воды, повышении значений водородного показателя во время половодья, возрастания концентраций сульфат-иона в фазу большой воды.

Авторы признательны директору Архангельского ЦГМС-Р Коробову В.Б. за прием и сотрудничество при проведении исследований. Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы России» (проект НШ-4717.2006.5, Госконтракт № 02.515.11.50.49) и грантов РФФИ (проекты 06-05-22001, 06-05-64504).

On the base of results of field investigations and the information available in the scientific literature the methylmercury concentrations in bottom sediments of the Northern Dvina estuary are calculated.

Т.Б. Филатова

(Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: filatova@mmbi.krinc.ru)

Сезонные изменения содержания растворённого кислорода в водах Азовского моря и прибрежной части Чёрного моря весной и летом 2007 г.

T.B. Filatova

(Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don)

Seasonal Changes of Dissolved Oxygen Concentration in waters of Sea of Azov and the Coastal Part of the Black Sea during Spring and Summer 2007

Содержание растворённого кислорода имеет важное значение при оценке экологического и санитарного состояния водоёмов. Количество растворённого кислорода даёт представление о внутренней биотрансформации органических веществ в исследуемых экосистемах. Кислородный режим – основной фактор, регламентирующий жизнедеятельность биоты.

В период проведения комплексных экспедиций в Азовском море и северо-восточной части Чёрного моря (от Таманского п-ова до Адлера) на НИС «Денеб» весной (06.04–19.04.2007 г.) и летом (10.07–28.07.2007 г.) были отобраны и непосредственно на судне проанализированы пробы воды, в которых определяли концентрацию растворённого кислорода.

Весной в водах Азовского моря содержание растворённого кислорода находилось в пределах от 86 до 142 % в поверхностном слое и от 87 до 129 % в придонном. Насыщение водной толщи было относительно равномерным по вертикали. На одной из станций в северной части моря вблизи Бердянской косы имело место пересыщение кислородом даже в придонном слое (129%).

Несколько иная картина в это же время нами была обнаружена в водах обследованного участка Чёрного моря: содержание растворённого кислорода находилось в пределах от 64 до 118 % в поверхностном слое и от 30 до 110% в слое придонном. На некоторых станциях концентрация растворённого кислорода в придонном горизонте была ниже 50 % (на траверсе Туапсе – 30 %, а у Адлера – 49 %) или немногим выше (станция в районе Архипо-Осиповки – 56 %, станция в районе Адлера – 60 %). При этом отмечался запах сероводорода.

Летом в Азовском море в поверхностном горизонте концентрация растворённого кислорода варьировала от 88 до 152 %, а в пробах, отобранных у дна, изменялась от 20 до 132 %. Таким образом, летом содержание растворённого кислорода в поверхностном слое было близко к равновесной концентрации или превышало её, как и весной. На некоторых станциях даже в придонном слое концентрация кислорода была более 100 %. В то же время в придонном горизонте были обнаружены участки кислородного дефицита (52 %, 43 %, 32 %, 20 %).

В водах прибрежной части Чёрного моря в летний период содержание растворённого кислорода в поверхностном горизонте определялось в пределах от 42 до 106 %. Концентрация кислорода иногда составляла 42 %, 44 %, 53 %, 54 %, 58 %, 60 %, 62 %.

В придонном слое диапазон изменений концентрации растворённого кислорода составлял 3–109 %. На некоторых участках концентрация растворённого кислорода была ниже 50 % (45 %, 34 %, 32 %, 24 %, 15 %, 6 %, 3 %) или немногим выше (54 %). При этом ощущался запах сероводорода и наблюдались признаки заморных явлений в пробах бентоса.

В Чёрном море на отдельных глубоководных станциях пробы воды отбирали с нескольких горизонтов, чтобы проследить изменение концентрации растворённого кислорода с глубиной. Содержание растворённого кислорода уменьшалось с глубиной очень заметно: от 88 % в поверхностном слое до 11 % на глубине 500 м, и далее – до 3 % на глубине 1000 м. Аналогичная картина наблюдалась и на другой глубоководной станции, где с глубиной концентрация растворённого кислорода с 79 % уменьшалась до 14 % на глубине 500 м, а затем на глубине 1000 м снижалась до 6 %.

Снижение концентрации O_2 свидетельствует о сезонных изменениях интенсивности хода биологических процессов в водоёме, связанных с развитием фитопланктона, изменением гидрологических характеристик, а также о его загрязнении интенсивно окисляющимися остатками органического вещества.

The determination of dissolved oxygen concentration in the Sea of Azov and the north-eastern coastal area of the Black Sea was carried out in April and July 2007. The Seasonal Variations of O_2 concentration and oxygen deficiency are noted.

Т.Б. Филатова¹, В.А. Филатова²

(¹Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: filatova@mmbi.krinc.ru,

²Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: vanessa1984@mail.ru)

Рекомендации по хранению проб воды для определения концентраций биогенных веществ

T.B. Filatova¹, V.A. Filatova²

(¹Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don;

²Southern Federal University, Rostov-on-Don)

The Recommendations to the Storage of Water Samples for the Determination of Biogenic Matter Concentration

Для получения достоверных результатов анализ проб воды для определения содержания биогенных веществ, в соответствии с методическими рекомендациями, следует выполнять сразу же после их отбора, что при возникновении экстремальных экологических ситуаций не всегда возможно.

В воде протекают процессы, вызванные жизнедеятельностью микроорганизмов, поэтому возникает необходимость в фиксации проб. Консервация проб должна минимизировать изменения их химического состава во временном интервале между отбором и их анализом. Универсального фиксирующего средства не существует, консервант по-разному действует на различные микроорганизмы в пробе, вступает в химическое взаимодействие с компонентами воды, поэтому нельзя полностью остановить ход биологических процессов, изменяющих концентрации биогенных веществ.

Для изучения условий и сроков хранения проб воды, отбираемых для дальнейшего анализа, были проведены экспериментальные исследования. Часть отобранных проб сразу анализировалась, другая замораживалась в холодильнике при температуре -20°C . Для сравнения замораживались фильтрованные и нефильтрованные пробы воды. Анализ этих проб производился через определённые промежутки времени (1, 5, 7, 10, 20, 30 суток) и определяемые концентрации биогенных веществ сравнивались с их содержанием в пробе в день отбора.

В нефильтрованных замороженных пробах концентрации нитритов, нитратов и фосфатов сначала увеличивались, достигая своего максимума на 7 сутки, затем снижались.

В фильтрованных пробах содержание нитритов и нитратов практически не изменялось. Что касается содержания фосфатов в фильтрованных замороженных пробах, то оно оставалось неизменным в течение 5 суток, но увеличивалось на 7 сутки, как и в нефильтрованных замороженных пробах, но затем на 10 сутки резко падало.

Полученные данные указывают на то, что процессы биотрансформации веществ продолжают в замороженных пробах, хотя, если пробы профильтрованы, интенсивность этих процессов значительно замедлена.

Следует обратить внимание на то, что определение содержания фосфатов в замороженных фильтрованных пробах целесообразно проводить не позднее, чем через 5 суток.

Результаты проведённых исследований позволяют рекомендовать заморозку как способ хранения проб воды при невозможности проведения анализа непосредственно после пробоотбора.

The Researches on the influence of terms and conditions of storage of water samples on concentration change of biogenic matter were carried out. On the basis of obtained results the recommendations on the use of freeze samples method when it is impossible to analyze samples in sampling place are given.

М.В. Чельшева¹, Е.В. Якушев², В.К. Часовников²

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: regina18@mail.ru;

²Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
e-mail: e_yakushev@yahoo.com)

**Оценка скоростей трансформации азота и фосфора
в редокс-слое Чёрного моря**

M.V. Chelysheva¹, E.V. Yakushev², V.K. Chasovnikov²

(¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow; ²Southern
Branch of Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Gelendzhik)

**Estimating of the rates of N and P transformation in the redox
layer of the Black Sea**

Черное море представляет собой крупнейший в мире меромиктический водоем, вертикальная структура которого представлена кислородным, сероводородным и редокс-слоем. Для анализа процессов, протекающих в анаэробных и сероводородных условиях Черного моря, может быть использовано уравнение Ричардса.[3]

На распределение основных биогенных элементов (азота, фосфора) влияет ряд биогеохимических процессов, таких как денитрификация, формирование верхнего минимума и нижнего максимума фосфатов, хемосинтез. Однако, распределение кремния отличается консервативностью при смене окислительно-восстановительных условий, так как кремний не вовлечен в упомянутые биогеохимические процессы. Это позволяет идентифицировать слои, в которых азот и фосфор подвергаются интенсивному воздействию каких-либо процессов (рис.) и оценить скорости этих процессов.

Для расчета скоростей мы использовали формулу:

$$R_c = k_c \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$

где R_c – скорость протекания реакции, c – концентрация, k_c – коэффициент турбулентного обмена. В наших расчетах мы использовали величины k_c в диапазоне $(0,5-2) \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ для слоя $15,7-16,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Мы рассчитали скорости процессов уменьшающих концентрацию азота и процессов, обуславливающих образование верхнего минимума и нижнего максимума фосфатов. Исходя из предположения, что на распределение кремния в водной толще Черного моря влияет в основном процесс перемешивания и соотношение $\text{Si}_t/\text{N}_t = 2$, $\text{Si}_t/\text{P}_t = 31$, мы получили следующие скорости указанных выше процессов: максимальная скорость процессов уменьшающих концентрацию азота (рассчитанная на горизонте минимума азота ($16,0 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, 120 м) составит: $0,012-0,046 \text{ мкМ/сут}$, что соответствует результатам предыдущих измерений и вычислений [1, 2, 4].

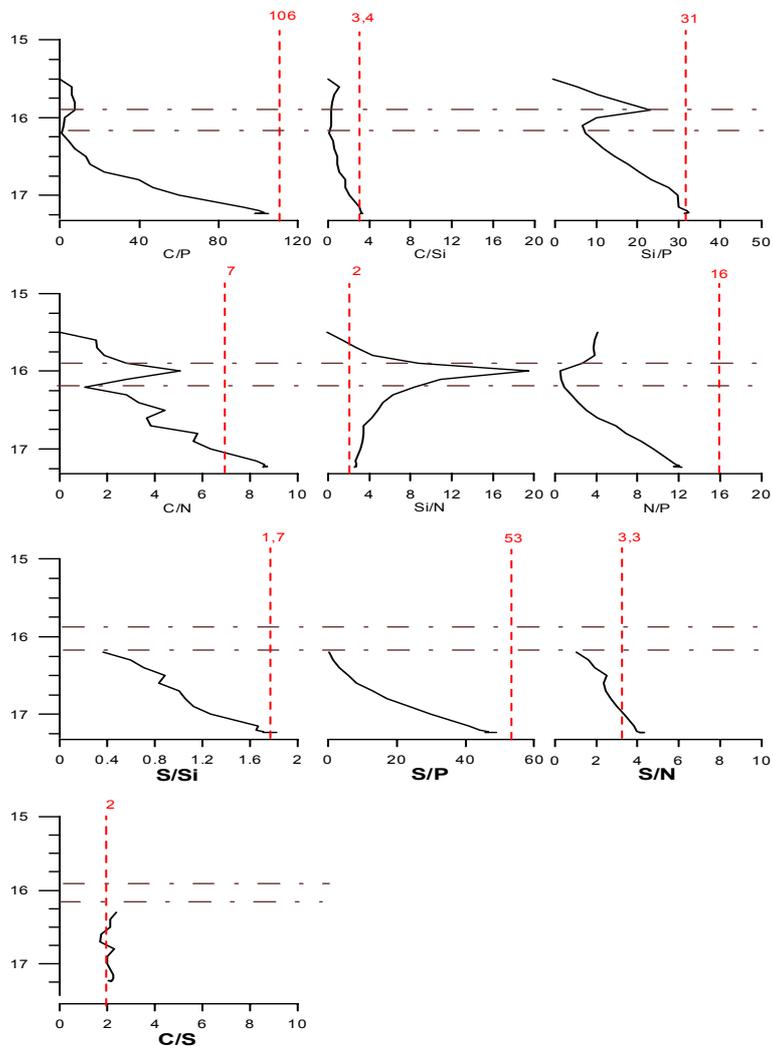


Рис. Вертикальное распределение соотношений биогенных элементов в редокс слое в поле плотности (кг м^{-3}) по данным наблюдений в северо-восточной и центральных частях Чёрного моря в 1993–2007 гг. [1]. Пунктиром показаны теоретические соотношения по Ричардсу [4]

Это позволило нам применить этот же подход для расчета скорости процессов формирования верхнего фосфатного минимума и нижнего максимума. По нашим оценкам максимальная скорость формирования фосфатного минимума (рассчитанная на горизонте $15,8 \text{ кг/м}^3$, 110 м) составит: 0,008–

0,032 мкМ/сут, а скорость формирования фосфатного максимума (рассчитанная на горизонте 16,2 кг/м³, 130 м) составит: 0,006–0,024 мкМ/сут.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта CRDF RUG1-2828-KS-06, грантов РФФИ № 06-05-96676, № 07-05-01024.

1. Подымов О.И. Автореф. дисс. к. ф.-м.н. М., 2005. 24 с.
2. Brettar I., Rheinheimer G. Marine Ecology Progress Series. 1991. V. 77. N 2–3. P. 157–169.
3. Kuypers M.M.M., Sliekers A.O., Lavik G. et al. Nature. 2003. 422. P. 608–611.
4. Richards F.A. Chemical oceanography / Riley J.P. (Ed.) V. 1. London, New York: Academic press, 1965. P. 611–645.
5. Ward B.B., Kilpatrick K.A. The Black Sea and the Cariaco Trench // Black Sea Oceanography / Izdar E. and Murray J.W. (Eds). Kluwer Acad. Norwell. Mass. 1991. P. 111–124.

On the base of N/Si and P/Si ratios calculated for the redox layer of the Black Sea we revealed the layers with intensive consumption or production of N and P and calculated the rates of their biogeochemical transformations.

В.М. Шулькин, Н.Н. Богданова, С.И. Коженкова

(Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, shulkin@tig.dvo.ru)

Сезонная изменчивость содержания металлов в прибрежно-морских вод (зал. Петра Великого, Японское море)

V.M. Shulkin, N.N. Bogdanova, S.I. Kozhenkova

(Pacific Geographical Institute, FEBRAS, Vladivostok)

**Seasonal variability of the trace metals in the coastal waters
(Peter The Great Bay, Sea of Japan)**

Определение содержания в прибрежных акваториях тяжелых металлов продолжает привлекать внимание вследствие неизбежного увеличения их поступления с суши при хозяйственной деятельности, потенциальной токсичности при повышенной концентрации в среде, и возможности использования в качестве трассеров, как антропогенной нагрузки, так и ряда природных биогеохимических процессов. В отличие от океанических вод, где уровни концентрации растворенных форм металлов определены достаточно надежно, прибрежные воды умеренных и высоких широт характеризуются высокой пространственно-временной изменчивостью поступления соединений металлов с суши и процессов трансформации в водных экосистемах. Это затрудняет оценку качества получаемых данных и определение уровня антропогенной нагрузки на акваторию.

Целью представляемой работы было изучение масштаба и характера сезонной изменчивости концентрации растворенных форм металлов, а также выявление основных факторов и процессов, влияющих на изменение концентрации металлов в прибрежных водах. Работа проводилась на примере акватории, примыкающей к г. Владивостоку – наиболее крупного источника антропогенной нагрузки на прибрежную зону моря на юге ДВ РФ.

Пробы отбирали ежемесячно в безледный период с апреля 2005 по апрель 2006 с 5 станций расположенных в типичных прибрежных биотопах. Кроме того, трижды проводился отбор проб на удалении от берега до 5 км для оценки пространственной изменчивости концентрации металлов. Во избежание загрязнения пробы отбирали с берега и/или пластиковых плавсредств с фильтрацией in-situ. Количество растворенных форм Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni определяли методом ААС после предварительного концентрирования. Кроме того, использовались данные по сезонному изменению содержания и состава взвешенного материала, отобранного в предыдущие годы в Амурском заливе.

Солёность изучавшихся прибрежных вод в период минимального стока с суши, т.е. с октября по апрель колеблется в достаточно узких пределах от 32,3‰ в полузакрытом Амурском заливе до 35,1 ‰ в более открытом Уссурийском заливе. В теплый период с мая по сентябрь, когда в соответствие с муссонным климатом юга Дальнего Востока, реализуется 80% стока с суши,

солёность прибрежных вод снижается до 14,6‰ в Амурском заливе и 31,2‰ в Уссурийском. Минимальная солёность наблюдалась в июле. Значительная дифференциация между станциями по солёности позволяет достаточно надёжно выделить изменчивость микроэлементного состава, связанную с поставкой металлов с речным стоком.

Наиболее явное влияние стока с суши обнаружено для растворенных форм Zn, концентрация которых в прибрежных водах с солёностью более 32‰ достаточно однородна ($0,84 \pm 0,20$ мкг/л). На станциях, где солёность в летнее время снижается за счет впадения городских загрязнённых водотоков, концентрация растворенного Zn возрастает до 1,5–3 мкг/л. Масштаб и периоды увеличения Zn в воде совпадают с таковыми уменьшения солёности.

На станции в Амурском заливе с наибольшим влиянием речного стока, его сезонный максимум в июле сказывается также на увеличении концентрации растворенных Mn, Pb и Cd в этот же период. Однако главной особенностью сезонного изменения содержания растворенных Pb, Cd, а также Ni в прибрежных водах является тенденция повышения концентрации во второй половине осени, когда речной сток минимален, но усиливается зимний муссон с сильными ветрами северных румбов, выносящими на акваторию антропогенную пыль, которая частично растворяясь, и обуславливает существенное повышение концентрации растворенных форм этих металлов. Это повышение наиболее проявлено на станциях к югу от полуострова на котором расположен г. Владивосток.

Наиболее интригующий характер сезонной изменчивости наблюдался для растворенной Cu: при концентрации в апреле 0,21–0,68 мкг/л, она постепенно возрастала на всех станциях к июню, достигая уровня 1,32–2,03 мкг/л, и затем также постепенно снижалась к октябрю до 0,22–0,60 мкг/л и оставалась на этом уровне до конца года. При этом в пределах одного отбора концентрация растворенных форм Cu на станциях открытого побережья была, как правило, выше, чем в прибрежных водах полузамкнутой акватории Амурского залива с пониженной солёностью и явно большим влиянием стока с суши. Несовпадение по времени максимума концентрации растворенной Cu с периодом минимальной солёности также не позволяет привлечь сток суши как фактор, определяющий наблюдаемую сезонную изменчивость.

Если рассматривать изменчивость между станциями в течение года, то наиболее однозначно прибрежные воды дифференцируются по растворенным формам Mn и Fe, концентрации которых в полузакрытом Амурском заливе в 3–10 раз выше, чем в водах более открытых акваторий, и достигает уровня 15–25 мкг/л за счет поступления из донных отложений при восстановительном диагенезе. Для Mn определенную роль играет и вынос речным стоком с летними дождевыми паводками, а для Fe – аэральный вынос в конце осени.

Сезонная изменчивость концентрации взвешенных форм всех металлов, за исключением Mn и Pb, определяется, прежде всего, изменчивостью содержания взвеси, которая, в свою очередь, зависит от закономерного увели-

чения стока с суши в летнее время, а также от периодического взмучивания донных отложений при штормах. На концентрацию взвешенных форм Mn существенно влияет обогащение этим металлом прибрежной взвеси в августе-сентябре за счет потока из осадков. Содержание взвешенных форм Pb в прибрежных водах, кроме стока с суши и взмучивания донных осадков, определяется аэральным выносом зимним муссоном с суши частиц обогащенных этим металлом.

Относительная роль растворенных и взвешенных форм в общем содержании металлов в воде изменяется в течение года, однако ряд уменьшения доли растворенных форм практически постоянен: $Ni \geq Cu \geq Zn \geq Mn > Pb > Fe$. Доля растворенных форм этих металлов составляет 81, 62, 50, 72, 14 и 9%, соответственно при содержании взвеси 2–20 мг/л и возрастает до 95, 87, 73, 63, 21 и 11% на более открытых участках, где количество взвеси составляет 0,3–3 мг/л.

Таким образом, сезонная изменчивость в прибрежных водах концентрации растворенных форм Zn, Fe и Mn определяется вариациями стока с суши. Для Mn и отчасти Fe, кроме того, существенно влияние потока из осадков. В результате пространственная изменчивость растворенных форм Zn, Fe и Mn сопоставима или превышает сезонную. Сезонная изменчивость концентрации растворенных форм Pb, Ni, Cd контролируется аэральным выносом на акваторию частиц, обогащенных этими металлами, северо-западными муссонами. Значительная сезонная изменчивость концентрации растворенной Cu определяется внутриводоемными, предположительно биологическими процессами. Сезонная изменчивость растворенных форм Pb, Ni, Cd и, особенно Cu значительно превышает пространственную изменчивость между станциями. Сезонная изменчивость содержания взвешенных форм металлов обусловлена, главным образом, вариациями содержания взвеси. Кроме того, для Mn существенно обогащение взвеси в конце лета за счет потока из осадков, а для Pb – обогащение в холодное время в результате аэрального выноса с суши.

Seasonal variability of the dissolved and suspended forms of Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd and Ni was studied in the coastal waters near Vladivostok. The river and waste waters determine the seasonal changes of dissolved Zn, Fe, Mn. The atmospheric input is a main factor controlling the seasonal variability of dissolved Pb, Ni and Cd in coastal waters. The significant changes in dissolved Cu are controlled by the internal, presumably biological processes.

М.Н. Щербакова

(Кафедра литологии геологического факультета МГУ, Москва;
e-mail: Sediment@geol.msu.ru)

Пеллетовые известняки – продукты биофильтрации?

M.N. Shcherbakova

(Moscow University, Department of Geology, chair of lithology)

The pellete limestones are products of the filtration?

Как известно, карбонатолиты по распространению занимают около 20% осадочной оболочки Земли. В структурной классификации известняков содержится значительное количество их типов. В группу биогермных известняков входят копролитовые (или пеллетовые) разновидности. Последние сложены округлыми шарообразными или удлинёнными, нередко цилиндрическими агрегатами микритового по размеру материала, агрегированного в кишечнике илоедов или планктоноедов и, в какой-то степени, сцементированного [1].

В настоящее время академиком А.П. Лисицыным и его коллегами [2, 3] развивается представление о важном природном явлении – биофильтрации.

Согласно этому представлению привнос вещества на большие глубины осуществляется в основном пеллетовым механизмом за счет чрезвычайно быстрого распада организмов зоопланктона. Оказалось, что взвесь попадает на дно благодаря жизнедеятельности организмов-фильтраторов. Пропуская минеральные частицы через пищеварительную систему, фильтраторы связывают их в пеллетовые комки алевритовой размерности, за счет чего опускаются на дно существенно быстрее тонкой взвеси. О значении агрегации пеллетового материала еще в 1980 г. писал Дж.Л. Уилсон [4].

Мы уже много лет проводим учебные практики со студентами нашей кафедры на Черноморском побережье Тамани. В разрезе сармата, развитой здесь нижнемолассовой формации, описываются пеллетовые известняки.

На своеобразии той части разреза сармата, где были обнаружены пеллетовые известняки, еще в начале XX века обратил внимание Н.И. Андрусов [5], назвав их «червячковыми». Структура пеллет от мелко- до среднезернистой. Отдельные зерна агрегированы. При описании разрезов выясняется, что морское пеллетонакопление чередуется с накоплением глинистых прослоев (видимо суша была низкой, а глинистый материал с суши поступал при гумитизации климата). Количество пеллет составляет в породе до 30–35%, при этом пеллетовые известняки характеризуются высокой пористостью. Размеры пор до 1 мм, ширина их до 0,1 мм. Иногда поры заполнены гипергенным гипсом. (За пределами изучаемого нами региона, восточнее Тамани по результатам бурения именно в этой части разреза была обнаружена нефть – органофлюидолиты. Последние отвечают мигрирующим флюидам, внедряющимся по напластованию с образованием, образуя слойки и линзы, заполняющие трещины и пустоты). В глинистых известняках количество пеллет может достигать 5–10%. В шлифах устанавливаются

микротекстуры, подчеркнутые большим или меньшим количеством пеллет в микрослойках. Промежутки между пеллетами сложены кальцитом, более крупнокристаллическим по сравнению с микритовым кальцитом пеллет. В пеллетовых известняках присутствует небольшое количество песчано-алевритовых зерен кварца, полевого шпата, глауконита, чешуек слюды. Отмечаются отдельные шарики пирита. Встречаются биокласты – Остракоды, фораминиферы, спикулы кремневых губок, фрагменты двустворок, чешуйки рыб.

В нашей коллекции образцов оказались «литификаты», отобранные ранее в Красном море Ф.А. Щербаковым – возраст образцов 12 тыс. лет¹⁴C. Это органогенно (птероподо-фораминиферовые) – хемогенные (кальцит-арагонитовые) образования. В шлифах Ф.А. Щербакова структура известняка следующая – на фоне пелитовой основной массы (размер до 0,01 мм) четко видны отдельные шарики, редко продолговатые в виде трубочек, по размеру кальцита микритовые. Количество шариков до 40–50%. Размеры их от 0,05 до 0,1 мм. Встречаются единичные обломочки кварца – до 0,1 мм, а также крупные фораминиферы – 0,1–0,9 мм. Вышеуказанные трубочки под электронным микроскопом были определены как кольчатые черви на кафедре палеонтологии сотрудником А.П. Ипполитовым.

Нам представляется необходимым изучать пеллетовые известняки геологического прошлого для установления их иненцификации с продуктами биофильтрации настоящего.

1. *Фролов В.Т.* Литология. Книга 2. Изд-во Моск. Ун-та, 1993. С. 5–7, 182.
2. *Лисицын А.П.* Биохимия океана. М.: Наука, 1983. С. 201–276.
3. *Новигатский А.Н., Шевченко В.П.* Вертикальные потоки осадочного материала в Белом море в период с августа 2001 по июнь 2002 года // Геохимия биосферы. Доклады Международной научной конференции. М.-Смоленск, 2006. С. 261–263.
4. *Уилсон Л.* Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра, 1980. С. 20, 23, 26.
5. *Андрусов Н.И.* Геологические исследования на Таманском полуострове. СПб: типография Императорской АН, 1903. 381 с.

The filtration the mineral carbonate particles of the organism and their aggregation form the pellete (coprolite) limestones.

О.П. Яковлева, Н.А. Скибицкая

(Институт проблем нефти и газа РАН, e-mail: nik@ipng.ru)

**Биогеохимические особенности формирования
месторождений углеводородов в погребенных рифогенных
(биогермных) постройках**

O.P. Yakovleva, N.A. Skibitskaya

(Institute of problems of Oil and Gas, Russian Academy of Sciences, Moscow)

**Biogeochemical features of hydrocarbon deposits' forming
in buried reefgenic (biohermic) constructions**

На настоящей Конференции (школе) по морской геологии хотелось бы привлечь внимание исследователей к проблеме формирования месторождений углеводородов в рифогенных полифациальных постройках.

Весь комплекс полученных нами экспериментальных данных по изучению образцов карбонатных пород (карбонатного породообразующего вещества месторождений углеводородов, сформированных в погребенных рифах (биогермах), насыщающих их углеводородных и неуглеводородных компонентов, а также анализ литературных источников позволяют утверждать, что рифогенные продуктивные постройку являются не только гигантскими аккумуляторами углеводородов и других полезных ископаемых извне, как традиционно принято считать, но и источниками их образования, обладающими изначально, с момента их роста и захоронения, высоким комплексным генерационным потенциалом.

Как показывают результаты исследований в электронном микроскопе, не только исходное породообразующее вещество рифогенных полифациальных построек, но и вещество, находящееся сегодня в различных зонах и на разных стратиграфических уровнях нефтегазоконденсатных месторождений в достаточно преобразованном виде, представляет собой не чистый карбонат кальция, что признавалось ранее, как представляется, только в результате его недостаточной изученности. Это вещество устроено много сложнее и является поликомпонентным минерально-органическим полимером (МОП).

В результате комплексных исследований образцов карбонатных пород из разных зон залежей были установлены неожиданные для многих, в том числе и для нас самих, новые свойства карбонатного породообразующего вещества. В частности, в растровом электронном микроскопе (РЭМ) высокого разрешения Хитачи S-800* было установлено, что карбонатное породообразующее вещество находится в отдельных зонах залежи в различных фазовых состояниях – от коллоидного до кристаллического, но во всех случаях на молекулярном уровне оно имеет для отдельных элементов глобулярные (иногда фибриллярные) надмолекулярные структуры (рис. 1).

Подобные структуры характерны для органических полимеров и битумов.

* Исследования выполнены совместно с В.А. Кузьминым (ИПНГ РАН).

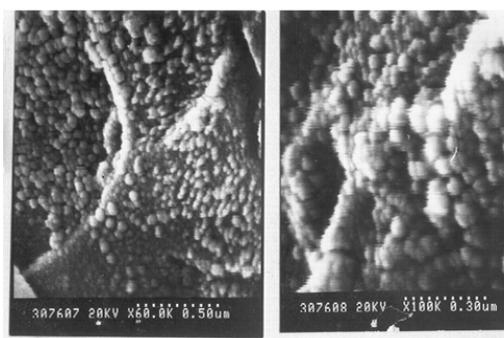


Рис. Макроглобулярная полимерная структура образца карбонатной породы. Карачаганакское нефтегазоконденсатное месторождение. P1art. Увеличения в ряду от 60 тыс. до 100 тыс. раз.

Действительно, его полимерная природа, а также возможное состояние в залежи в набухшем коллоидном состоянии были подтверждены способностью набухать в углеводородах (дизельном топливе, гептане и др.) с увеличением объема зерен до 5–10 раз, что также характерно для сшитых в разной степени органических полимеров.

Кроме того, в результате изучения образцов карбонатных пород, имеющих визуально кристаллографическую форму кальцита, в РЭМ высокого разрешения «LEO SUPRA 50 VP» с энергодисперсионным анализатором элементного состава установлено, что эти кристаллы содержат в основном Ca, C и O, и их можно было бы принять за чистый карбонат кальция – CaCO_3 , в котором содержание углерода равно 12%. Однако в изучаемых образцах оно составляет 27–32%, содержание кислорода превышает теоретические 48% до 63,55%, а содержание Ca вместо 40% составляет в некоторых образцах менее 9%.

Полученные данные свидетельствуют не только о необычном полимерном строении карбонатного породообразующего вещества, которое аналогично строению органических полимеров и битумов, но и о том, что даже в образцах, имеющих кристаллографическую форму кальцита, присутствует органическая составляющая. При этом, она вряд ли примешана к минеральной составляющей, поскольку в электронном микроскопе видно, что структура породообразующего полимерного вещества (его минерально-органическая матрица) имеет достаточно упорядоченное строение (см. рис.). Это дает основание полагать, что минеральная и органическая составляющие в природном полимерном образовании связаны химически.

Можно также полагать, что упорядоченная минерально-органическая матрица породообразующего рифогенного полимера и ее исходный генерационный потенциал в виде органической составляющей в концентрирован-

ном виде изначально формируются в фациях рифовой постройки за счет различных природных механизмов самоорганизации: а) биоминерализации в процессе роста тела (ядра) коралла, а также других живущих в рифовой застройке карбонатфиксирующих организмов на органической матрице (матричный синтез) и б) самоорганизации в липидные бислои (геобиохимические мембраны) дифильных липидных компонентов (в основном кальциевых и магниевых солей известных карбоновых кислот, характерных для живого вещества) в составе гумусово-сапропелевого илового концентрата. Иловый концентрат формируется анаэробными бактериальными сообществами самого рифового биогеоценоза в относительно глубоководных восстановительных условиях. Мы полагаем, что в этих условиях он не только захоранивает саму рифовую застройку, но захоранивается и в ее пустотных объемах в процессе миграции в риф как в область разгрузки при уплотнении концентрата (являющегося питательным бульоном для живущих там бактерий-цементаторов). Сложнейшее по своему составу и строению породообразующее вещество залежей углеводородов (природный нанобиокомпозит) является промежуточным звеном в эволюционном ряду «живое вещество – нефть».

Подобным образом в седиментогенезе и раннем диагенезе формируется на молекулярном уровне и затем литифицируется мощная карбонатная неоднородная по составу продуктивная толща – мозаично построенное, объемное, породообразующее геологическое тело – мощный природный реактор с высоким нефтегазоматеринским потенциалом за счет создания живым веществом рифового биогеоценоза и накопления элементоорганических соединений в концентрированном виде в составе карбонатного породообразующего минерально-органического вещества. Реализация нефтегазо- и рудного потенциала с рождением углеводородов и других видов полезных ископаемых происходит *in situ* в результате эволюционных преобразований его органической составляющей.

Biogeochemical features of hydrocarbon deposits' forming in buried reefgenic (biohermic) constructions: forming complex generation potential by live reef matter and its realization *in situ*.

Е.В. Якушев¹, И.С. Кузнецов², О.И. Подымов¹

(¹Южное отделение Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Геленджик, e-mail: e_yakushev@yahoo.com; ²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: ivan.kuznetsov@gmail.com)

Моделирование влияния кислородсодержащих интрузий на биогеохимическую структуру Готландской котловины Балтийского моря

E.V. Yakushev¹, I.S. Kuznetsov², O.I. Podymov¹

(¹Southern Branch of Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Gelendzhik, ²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Modeling of the influence of oxygenated inflows on the biogeochemical structure of the Gotland Deep, Baltic Sea

В данной работе мы использовали комплексную модель, основанную на гидрофизической Общей Модели Турбулентности в Океане (General Ocean Turbulent Model [1]) и биогеохимической модели редокс-слоя (RedOx Layer Model [3]). Примененная O-N-S-P-Mn-Fe модель (рис. 1) позволила рассчитать основные черты изменения биогеохимической структуры водной толщи при смене аэробных условий на анаэробные и анаэробных на аэробные. В модели были параметризованы процессы формирования и распада органического вещества, восстановления и окисления соединений S, N, Mn, Fe, а также трансформации P.

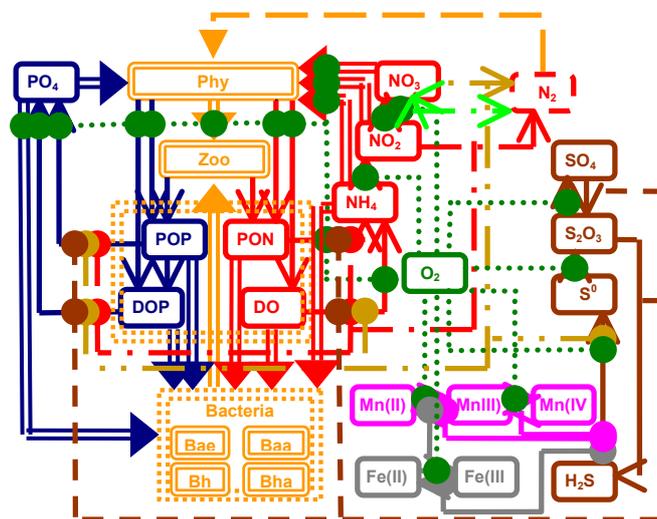


Рис. 1. Блок схема биогеохимической модели ROLM [3].

Данные наблюдений за кислородом и сероводородом выполненные в Готландской котловине четко демонстрируют последствия небольших интрузий в 1992 году и большого затока донных кислородсодержащих вод в 1993 году. Рассчитанная нами динамика кислорода и сероводорода отражала основные черты наблюдаемой картины: заглубление изолиний сероводорода в 1992 году, исчезновение анаэробных условий в 1993 и дальнейшее восстановление анаэробных условий (рис. 2).

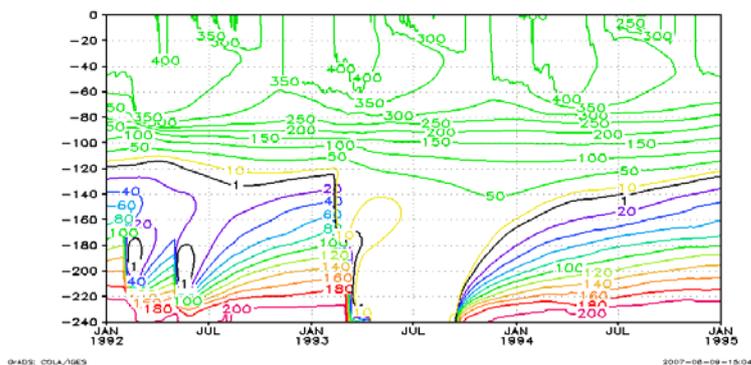


Рис. 2. Рассчитанная динамика O_2 (мкМ, верхняя часть рисунка) и H_2S (мкМ, нижняя часть рисунка) в 1992–1995 годах.

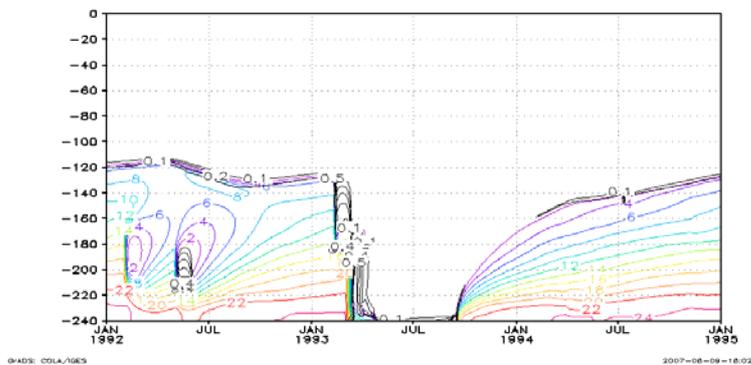


Рис. 3. Рассчитанная динамика растворенного $Mn(II)$, (мкМ, серые линии) взвешенного $Mn(IV)$ (мкМ, черные линии) в 1992–1995 годах.

По данным моделирования заток кислородсодержащих вод в 1993 году привел к удалению марганца из всей водной толщи (рис. 2). Растворенный $Mn(II)$, поступающий из нижележащих слоёв воды, окислялся во время затока до чрезвычайно больших количеств взвешенного $Mn(IV)$, который осаждался на дно. Это соответствует данным наблюдений [2]. При даль-

нейшем восстановлении анаэробных условий формирование Mn(IV) в водной толще началось примерно через полгода после прекращения затока, когда значительные количества растворенного диффундировали со дна. Необходимо отметить, что рассчитанная скорость появления в воде сероводорода была больше чем марганца, что следует из разной скорости подъема изолинии в 5 мкМ для сероводорода и марганца (рис. 4). Это может быть объяснено тем, что, (1) кроме поступления со дна сероводород может образовываться в толще воды за счет сульфатредукции и (2) формирование частиц взвешенного марганца и его седиментация снижают скорость общего потока марганца ото дна наверх.

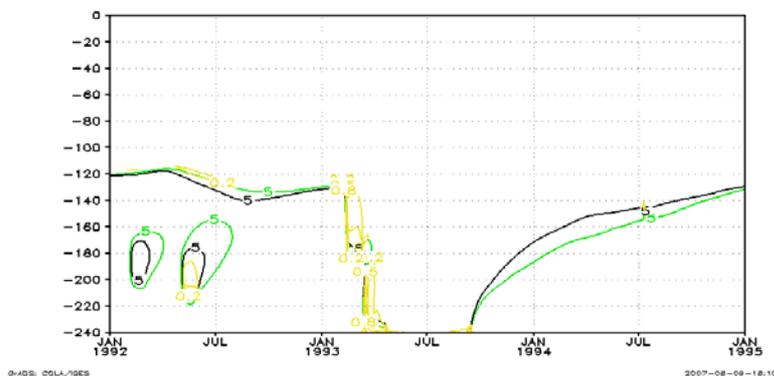


Рис. 4. Рассчитанное положение изолинии 5 мкМ для H₂S (черные линии) и Mn(IV) (мкМ, серые линии) в 1992–1995 годах.

В результате этого, в течение около полугода после окончания заток, в воде должна существовать несбалансированная биогеохимическая структура редокс интерфейса, в который отсутствуют или замедлены процессы, связанные с окислением и восстановлением Mn.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта CRDF RUG1-2828-KS-06, грантов РФФИ № 06-05-96676, № 07-05-01024.

1. *Burchard H., Bolding K. and Villareal M.R.*. European Commission report, 1999. EUR 18745 EN, 103.

2. *Heiser U., Neumann T., Scholten J.* Mar. Geol. 2001. V. 177. P. 151–166.

3. *Yakushev E.V., Pollehne F., Jost G. et al.* Marine Chemistry, 2007. doi:10.1016/j.marchem.2007.06.003.

During the O₂-inflow events large amounts of Mn precipitate and discharge from the water column. Reestablishment of the anoxic conditions is connected with the presence of an unbalanced structure for about half a year after an inflow stop.

**H.J.W. De Baar^{1,2}*, K.R. Timmermans¹, P. Laan¹,
H. de Porto¹, J. Blom¹, S. Ober^{1**}, M. Bakker¹, J. Schilling¹,
G. Sarthou³, M. Smit¹, M. Klunder¹**

¹Royal Netherlands Institute for Sea Research, Texel, The Netherlands;

²Department Ocean Ecosystems, Centre for Ecological and Evolutionary studies,

University of Groningen ; ³Institute Universitaire Européen de la Mer, Brest, France.

*Corresponding author e-mail: debaar@nioz.nl; **Presenting author e-mail: ober@nioz.nl

**Titan: a New Facility for Ultraclean Sampling of Trace
Elements and Isotopes in the Deep Oceans in the International
GeoTraces Program**

Towards more rapid ultraclean sampling of deep ocean waters for trace elements, a novel rectangular CTD-frame was constructed of titanium, holding 2 rows of 12 GoFlo-samplers, as well as various sensors. The frame is deployed to deep ocean waters by a 7000 m length Kevlarwire with internal power and signal cables. Closing of each sampler is possible by seawater hydraulics via silicone tubing connecting each sampler with a central 24 position Multivalve. Upon recovery the complete frame is placed inside an ultraclean laboratory van, where water is drawn via filters into bottles. Previously the clean sampling of ocean waters has been very time-consuming by attachment of individual ultraclean sampling bottles one by one to a metal-free (e.g. all-Kevlar) hydrowire. The novel Titan system is 3–4 times faster and permits routine collection of deep ocean sections while economizing required shiptime. In a test of the new system in November 2005 in the Canary Basin excellent low dissolved Fe concentrations (~0.1 to ~0.4 nM) are consistent with the values obtained of individual samplers on a simple Kevlar hydrowire, and previous values in a pilot study of 2002 in the same basin, as well as published results of dissolved Fe values elsewhere in the northeast Atlantic Ocean. In 2007 the system was deployed during the ARK-XXII/2-cruise with the German icebreaker “Polarstern” in the Arctic Ocean. During this cruise deep profiles of dissolved Fe, dissolved Mn and dissolved Al were sampled and analysed on a daily basis.

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

Т.Н. Алексеева, О.М. Дара

(Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, e-mail: tania@blackout.ru,

**Гранулометрический состав осадков центральной части
Белого моря**

T.N. Alekseeva, O.M. Dara

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

**Grain-size composition of the sediments in central part
of White Sea**

Изучен гранулометрический состав станции ПШ-7134 (65°34,450 с.ш.; 36°10,349 в.д.) глубина 166 м, полученной в 71 рейсе НИС «Профессор Штокман». Станция расположена в центральной глубоководной части Белого моря. Наиболее примечательная сторона формирования осадков в пределах изучаемой зоны заключается в следующем. Из прибрежной зоны, где активен гидродинамический режим, в зону быстро нарастающих глубин поступает разнообразный терригенный материал. Происходит смешение различного по крупности материала и выпадение его в осадок, а образовавшийся осадок уже не подвергается обработке. Так возникают характерные для склонов многокомпонентные осадки [1].

Изучение литологической колонки позволило выделить несколько наиболее характерных горизонтов. Первый из них 0–6 см представлен бурокоричневым песчано-алевритово-глинистым осадком, с включениями мелкой гальки. Далее – темно-коричневый плотный песчано-алевритовый осадок. Ниже – песчано-алевритово-глинистый осадок от коричневого до оливково-коричневого, с включениями гидроокислов железа. В интервале 27–51 оливково-серый алевритово-глинистый осадок, мягкий с небольшим содержанием песка. Вниз по разрезу содержание песка уменьшается.

Колонка отличается разнообразным гранулометрическим составом, от гальки до глинистых илов (рис. 1). Соотношение пелитовых фракций по вертикали колонки колеблется от 18,42 до 96,36%. Суммарное содержание алевритовых фракций изменяется от 0,69% до 9,93%, а соответственно песка и гравия 1,71–49,65% и 0–14,63%. При явном преобладании пелитовых фракций, достаточно стабильном наличии алевритовых и песчаных фракций, лишь местами наблюдается локальное увеличение доли гравийного материала. Пелитовая фракция осадков представляет собой многокомпонентную смесь из глинистых минералов. Среди глинистых минералов были определены иллит, хлорит и каолинит, а также монтмориллонит. Самый распространенный минерал глинистой фракции – иллит (64,1%). Процентное содержание остальных соответственно – 11,3%, 12,2% и 11,45%. В площадном распределении глинистых минералов наблюдается тектоническая предрасположенность. Области устойчивого пригибания характеризуются высокими скоростями седиментации и резким преобладанием иллита.

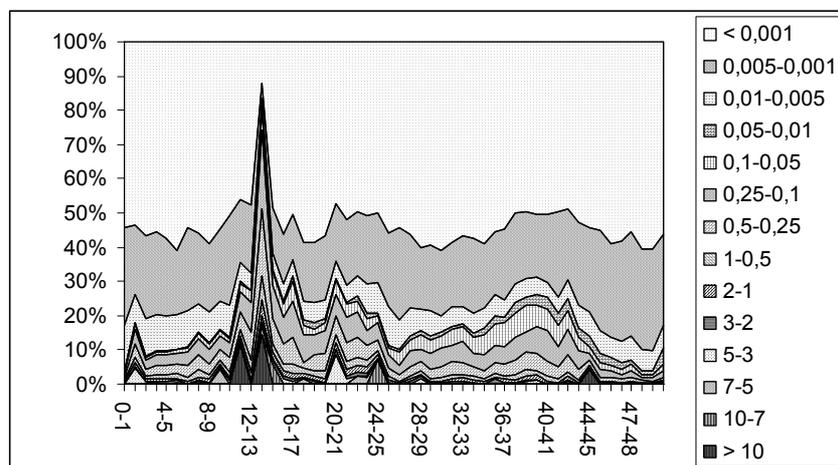


Рис. 1. Гранулометрический состав донных осадков Белого моря (ст.7134)



Рис. 2. Циклограммы: а – среднее содержание суммарных гранулометрич. фракций в вертикальном разрезе (станция 7134); б – состав глинистых минералов пелитовой фракции (станция 7134, горизонт 47-48)

1. Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. Наука, 1977. С. 236.

Grain size analyses were done in 52 samples of sedimentary material in the central part of White Sea.

Р.А. Алиев¹, В.П. Шевченко², А.Н. Новигатский²

(¹НИИ Ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: ramiz.aliev@gmail.com;

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва)

Вертикальные профили ²¹⁰Pb и ¹³⁷Cs в донных отложениях Белого, Баренцева и Карского морей

R.A. Aliev¹, V.P. Shevchenko², A.N. Novigatsky²

(¹Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Moscow;

²Institute of Oceanology, Russian Academy of Science, Moscow)

Vertical profiles of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs in bottom sediments of the White, Barents and Kara seas

Природные и искусственные радионуклиды являются чрезвычайно эффективным инструментом для исследования различных геофизических процессов, в частности режима осадконакопления в озерах, морях и океанах [1]. Исследуя вертикальные профили техногенных и природных радионуклидов можно получить информацию о скоростях седиментации и перемешивания осадков, а также реконструировать хронологию техногенного загрязнения донных отложений. Ранее такие исследования в арктических морях проводились в основном с целью определения степени антропогенного загрязнения окружающей среды [2].

Арктический регион имеет ряд особенностей, которые существенно отличают его от других регионов и во многом определяют миграцию радионуклидов. Основной особенностью является наличие большую часть года ледового и снежного покрова. Другая особенность этого региона – это наличие существенного количества потенциальных источников техногенных радионуклидов. Сюда можно отнести предприятия ядерного топливного цикла, расположенные в Западной Европе и на севере России, затонувшие атомные подводные лодки, радиоактивные отходы, сброшенные в заливах архипелага Новая Земля.

Цель настоящей работы – исследование седиментации с помощью природных и искусственных радионуклидов в Белом, Баренцевом и Карском морях.

Пробы отбирали с помощью герметичной грунтовой трубки Неймисто или коробчатого пробоотборника, колонки донных осадков разрезали на слои толщиной 1–2 см. Радионуклидный анализ был выполнен методом гамма-спектрометрии на установке с детектором из сверхчистого германия.

Пробы отбирали в Онежском, Двинском, Кандалакшском заливах и в центральной части Белого моря в рамках проекта “Система Белого моря” [3] (10 колонок), в желобе Франц-Виктория (1 колонка), Новоземельской впадине (1 колонка), а также в мелководных заливах архипелага Новая Земля, в тех местах, где проводилось затопление твердых радиоактивных отходов – в

заливе Абросимова (8 колонок), Степового (6 колонок) и Цивольки (3 колонки). В них построены вертикальные профили ^{137}Cs , выборочно проведена датировка по неравновесному ^{210}Pb . Например, скорости осадконакопления в Белом море варьируют от 0,32 до 4,2 мм/год. Распределение ^{137}Cs практически повсюду имеет четко выраженный максимум, положение его различается в разных колонках ввиду того, что в различных регионах преобладают различные источники поступления ^{137}Cs , характерным маркером может являться начало поступления техногенной радиоактивности (начало 1950-х гг.). В целом, вертикальное распределение ^{137}Cs в донных осадках Белого, Баренцева и Карского морей находится в соответствии с рассчитанными по ^{210}Pb скоростями седиментации [4–6].

Авторы благодарны экипажам судов “Профессор Штокман”, “Эколог”, “Иван Петров”, “Академик Федоров” и всем коллегам, помогавшим в полевых и лабораторных исследованиях. Мы признательны профессору Ю.А. Сапожникову и академику А.П. Лисицыну за поддержку. Работа была выполнена при финансовой поддержке проекта 4.4 Программы № 17 фундаментальных исследований Президиума РАН, гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2236.2006.5.

1. Алиев Р.А. Природные радионуклиды в морских исследованиях // Океанология. 2005. Т. 45. № 5. С. 936–948.

2. Матишов Д.Г., Матишов Г.Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2001. 417 с.

3. Лисицын А.П. Новые возможности четырехмерной океанологии и мониторинга второго поколения – опыт двухлетних исследований на Белом море // Актуальные проблемы океанологии / Гл. ред. Н.П. Лаверов. М.: Наука, 2003. С. 503–556.

4. Алиев Р.А., Бобров В.А., Калмыков С.Н., Лисицын А.П., Мельгунов М.С., Новигатский А.Н., Травкина А.В., Шевченко В.П. Радиоактивность Белого моря // Радиохимия. 2006. Т. 48. Вып. 6. С. 557–562.

5. Алиев Р.А. Осадконакопление в заливах Карского моря // Подводные технологии и мир океана. 2006. № 4. С. 12–19.

6. Aliev R.A., Bobrov V.A., Kalmykov S.N., Melgunov M.S., Vlasova I.E., Shevchenko V.P., Novigatsky A.N., Lisitzin A.P. Natural and artificial radionuclides as a tool for studies of sedimentation in Arctic region // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2007. V. 274. N. 2 (in press).

Modern sedimentation rates in the White, Barents and Kara seas have been derived from ^{210}Pb excess. In the White Sea they are in the range of 0,32–4,2 mm/y. In most cases well-defined subsurface maximum of ^{137}Cs is observed in studied cores. Its depth depends on different anthropogenic sources. In general, vertical distribution of ^{137}Cs in bottom sediments of the White, Barents and Kara seas is in accordance with sedimentation rates derived from ^{210}Pb measurements.

**А.С. Балувев¹, В.А. Журавлев², Д.С. Зыков¹,
С.Ю. Колодяжный¹, Е.С. Пржиялговский¹, Е.Н. Терехов¹**

(¹Геологический институт РАН, Москва, e-mail: baluev@ilran.ru; ²ОАО Морская арктическая геологоразведочная экспедиция, Мурманск, e-mail: vitylyzh@mage.ru)

Тектоническая карта Белого моря и прилегающих территорий

**A.S. Baluev¹, V.A. Zhuravlev², D.S. Zikov¹,
S.Yu. Kolodyazhny¹, E.S. Przhiyalgovsky¹, E.N. Terechov¹**

(¹Geological Institute Russian Academy of Sciences, Moscow;

²OAO Marine Arctic Geological Exploration Expedition, Murmansk)

Tectonic Map of the White Sea and Adjoining Territories

В Геологическом институте РАН в последние годы осуществлялась работа по созданию Тектонической карты Белого моря и прилегающих территорий масштаба 1:1500000, которая фактически завершит создание комплекта тектонических карт окраинных и внутренних морей России. Одновременно ОАО МАГЭ выполняет работы по созданию третьего поколения Государственной геологической карты масштаба 1:1000 000 (Госгеолкарта-1000/3). Эти карты охватывает следующие крупные структурные элементы: 1) восточную часть Балтийского щита, включающую Кольский полуостров и Карельский берег; 2) западную часть Мезенской синеклизы; 3) палеорифтовую систему Белого моря, включающую в себя Онежско-Кандалакшский и Керецко-Лешуконский палеорифты, разделенные Архангельским сводом, а также Усть-Мезенскую и Понойскую впадины; 4) северо-западную часть Тиманского складчатого сооружения; 5) юго-восточную часть Кольско-Канинской моноклинали; 6) южную окраину Свальбардской плиты.

Центральное место на тектонической карте занимает палеорифтовая система Белого моря (РСБМ), отчетливо выраженная в рельефе кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и простирающаяся вдоль ее северо-восточной окраины. Она заложилась в среднем рифее на раннедокембрийском консолидированном основании, пережила активизацию в среднем палеозое, когда широкое развитие получил щелочной магматизм, и в конце кайнозоя, когда образовался современный бассейн Белого моря. Одной из главных задач, которая ставилась при составлении Тектонической карты, была попытка отразить на ней основные этапы эволюции литосферы Беломорского региона. Как известно, формирование современного бассейна Белого моря имело структурно-тектоническую предопределенность. Тектоническая впадина современного Кандалакшского залива Белого моря наследует и возрождает рифейский грабен, о чем свидетельствуют активные опускания Онежско-Кандалакшского палеорифта в новейшее время. Сам палеорифт, в свою очередь, был заложен вдоль оси древнего Лапландско-Беломорского подвижного пояса.

Другая проблема, возникшая при создании этой карты, состояла в том, что, несмотря на то, что Белое море является единственным и полностью внутренним морем России, геологическая изученность его до последнего времени оставалась весьма слабой, и только в последние годы в бассейне Белого моря Морской арктической геологоразведочной экспедицией (ОАО МАГЭ) были выполнены комплексные геофизические исследования. Результаты этих и других исследований последних лет территории Беломорья значительно меняют сложившиеся представления о строении земной коры этого региона. Если раньше предполагалось, что глубина погружения кристаллического фундамента в Кандалакшском грабене достигала 3–3,5 км, то данные последних сейсмических исследований МОВ ОГТ в акватории Белого моря определяют эту глубину уже до 8 км [1, 2], что вполне сопоставимо с современным Байкальским рифтом. То же самое касается и глубины залегания кристаллического фундамента в грабенах РСБМ в пределах Мезенской синеклизы, где эти глубины достигают 8–10 км и более [3]. На продолжении Усть-Мезенской впадины в Воронке Белого моря сейсмическим профилированием выявлена Понойская впадина с глубиной погруженного фундамента более 8 км, которая по строению фундамента и осадочному выполнению больше напоминает перикратонный прогиб [1, 2]. Как показали сейсмические исследования, палеорифтовые структуры северной части ВЕП обладают теми же особенностями, что и современные (кайнозойские) континентальные рифты – это наличие сегментов, каждый из которых представляет собой полуграбен с переменной полярностью, разделенных междуваднинными перемычками, игравшими в свое время роль зон аккомодации. Согласно этим же данным, небольшой по размерам (18–20 км) Чапомский грабен, расположенный на юго-восточном побережье Кольского полуострова, на Тектонической карте показан как реликт северо-западного окончания Лешуконского палеорифта, т.к. в проливе Горло зафиксировано продолжение грабена с глубиной погружения кристаллического фундамента до 2 км.

В то же время, сложившиеся в последние годы представления о геологическом строении некоторых участков земной коры региона приходится пересматривать, как это случилось для северного обрамления Балтийского щита, где в северной части полуострова Средний в 2004–2006 гг. была пробурена скважина П-1 на глубину 4500 м. По данным сейсмического профилирования мощность рифейской осадочной толщи здесь разными авторами интерпретировалась от 6 км [4] до 8–12 км [5], однако по данным бурения кристаллические породы фундамента были встречены на глубине 1,1 км [6], что соответствует верхнему горизонтальному разделу сейсмокомплекса.

На Тектонической карте показаны проявления позднерифейского магматизма, связанного непосредственно с процессами рифтогенеза, и среднепалеозойского, связанного с реактивацией рифтовой системы. В северной части карты к ВЕП с северо-востока, в пределах акватории Баренцева моря, по конвергентному шву примыкает Тимано-Печорская плита с более молодым

байкальским складчатым фундаментом, который выступает на поверхность на полуостровах Канин и Рыбачий. Фундамент перекрыт чехлом, включающим отложения палеозоя и мезозоя, мощности которых и глубины залегания фундамента показаны в изолиниях. Наложеной на плиту структурой на карте выделено южное замыкание Восточно-Баренцевского трога.

Неотектоническая активизация территории Беломорья обозначена на карте системой активизированных разрывных дислокаций, которые отчетливо выражены в рельефе дна бассейнов Белого и Баренцева морей, в очертаниях береговых линий, а также в ландшафтных элементах сухопутной части территории.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-05-64848, программы ОНЗ РАН № 14 и НШ-748.2006.5.

1. Журавлев В.А., Павлов С.П., Шипилов Э.В. Структура фундамента и осадочного чехла Беломорского сектора Восточно-Европейской платформы // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып. 2. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2007. С. 302–310.

2. Казанин Г.С., Журавлев В.А., Павлов С.П. Структура осадочного чехла и перспективы нефтегазоносности Белого моря // Бурение и нефть. 2006. № 2. С. 26–28.

3. Геодинамика и возможная нефтегазоносность Мезенского осадочного бассейна. СПб.: Наука, 2006. 319 с.

4. Митрофанов Ф.П. и др. Структурная зональность прибрежной области Кольского полуострова в связи с перспективами ее нефтегазоносности // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 151–160.

5. Симонов А.П. и др. Полуостров Рыбачий (Баренцево море): новые данные о тектонике и перспективах нефтегазоносности рифейских отложений прибрежной зоны Кольского полуострова // Доклады АН. 2002. Т. 384. № 6. С. 795–801.

6. Куликов Н.В. и др. Новые данные о геологическом строении севера Кольского полуострова // Разведка и охрана недр. 2007. № 4. С. 22–25.

Tectonic map of the White Sea and adjoining territories (scale 1:1500000) is compiled in the Geological Institute Russian Academy of Sciences. The map completes the creation of the tectonic map series of Russian marginal and inland seas. Data combined of recent geological and geophysical researches of the White Sea region were used.

С.В. Бердников¹, А.Е. Цыганкова²

(¹Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, e-mail: berdnikov@mmbi.krinc.ru;

²Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: ocean@ipoc.rsu.ru)

Региональные особенности распределения соединений меди в морских экосистемах с активной абразией (на примере Белого моря)

S.V. Berdnikov¹, A.E. Tsygankova²

(¹South scientific center Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don;

²South federal university, Rostov-on-Don)

Regional features of copper compounds distribution in marine ecosystems with active abrasion (for example of the White Sea)

В процессе взаимодействия морских и речных вод особенно большое значение имеют процессы флокуляции, коагуляции, сорбции-десорбции, биоаккумуляции, биоседimentации, соосаждения с автохтонными минеральными фазами. Значительные по масштабам и скоростям химические и биохимические преобразования живого и косного вещества в условиях маргинального фильтра приводят к интенсивному фракционированию химических элементов в зоне эстуарного смешения вод и образованию зон аккумуляции элементов или их ассоциаций [1].

Однако эти общие закономерности из-за региональных особенностей гидродинамических и литодинамических процессов в шельфовой зоне морей могут нарушаться. Так, наряду с устьевыми областями необходимо выделить участки береговой зоны, для которых характерны абразионные процессы.

Сорбционная емкость поступающих в море глинистых минералов способна играть существенную роль в геохимической трансформации соединений тяжелых металлов, поэтому возможно, что определенная часть подвижных микроэлементов перейдет в растворенную форму особенно в зонах волнового воздействия, где концентрация взвеси, поступающей из абрадирующих берегов, будет чрезвычайно высока (на порядки и более превышая таковую в области влияния речного стока).

Представляется, что роль областей с интенсивной абразией в биогеохимических циклах тяжелых металлов недооценивается.

Геохимическая нагрузка на экосистему Белого моря определяется поступлением соединений меди с речным стоком, при абразии и из атмосферы. Кроме этого соединения меди поступают с водными массами из Баренцева моря. Пространственная локализация источников поступления соединений меди в Белом море существенно неравномерна (рис.).

Общий объем внешнего поступления соединений меди в акваторию Белого моря составляет около 3 тыс. т/год. Основным источником в поставке этого элемента является абразия, на долю которой приходится 75,5%, далее следует речной сток – 16,2% от общего поступления. В два раза меньше

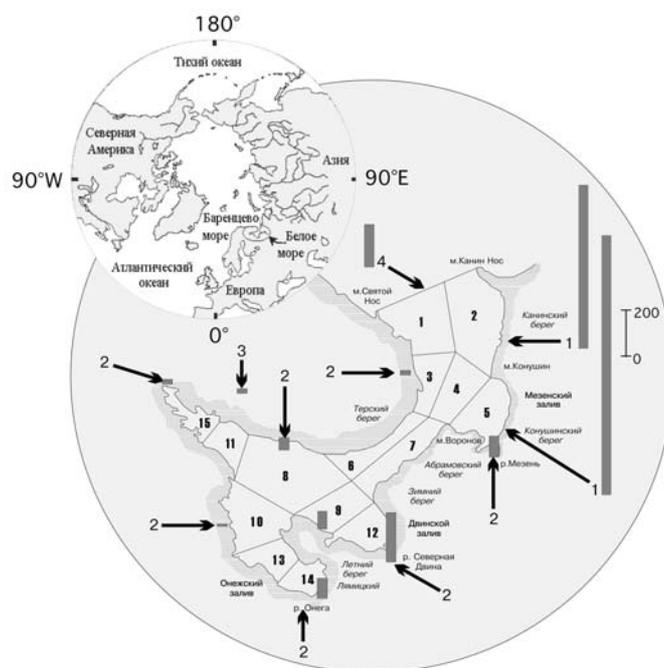


Рис. Источники поступления соединений меди в экосистему и принятое для модели районирование Белого моря.

1 – при абразии, 2 – с реками, 3 – из атмосферы, 4 – из Баренцева моря

(8%) меди поступает с водами Баренцева моря и совсем незначительный поток из атмосферы – менее 0,3%.

При значительных объемах разрушения берегов на отдельных участках Белого моря в морскую среду будет поступать большое количество металлов, и эти потоки будут влиять на их содержание во взвеси, донных отложениях как прилегающих, так и удаленных районов моря. Так, наряду с устьевыми областями необходимо выделить участки береговой зоны, для которых характерны абразионные процессы.

При наличии достаточной информации об источниках и объемах поступления соединений тяжелых металлов в экосистему эффективным средством исследования становятся 4-D модели [2], частным случаем которых являются компартментальные балансовые математические модели, адаптированные к условиям конкретных морских систем [3].

В основу компартментальной модели Белого моря [4] положена схема биогеохимической трансформации, в которой главное внимание уделено процессам седиментации взвешенных частиц вместе с мигрирующими на них металлами, взмучиванию донных отложений в области мелководий в

результате волнового воздействия или влияния приливно-отливных течений, переносу растворенных и взвешенных форм элементов водными массами, процессам обмена между растворенными и взвешенными формами металлов, из которых в качестве основного выделен механизм адсорбции-десорбции.

С применением данного подхода на примере соединений меди показано, что в Белом море поступление металлов вместе с частицами взвеси из абразионных берегов может существенно определять региональные особенности распределения металлов в растворенной и взвешенной формах, влиять на уровни накопления металлов в донных отложениях не только в районах активной абразии, но и в достаточно удаленных районах Белого моря. По масштабам районы активного разрушения берегов в геохимическом плане могут быть сопоставимы с маргинальными фильтрами рек, что необходимо учитывать при планировании и проведении геохимического мониторинга.

1. *Лисицын А.П.* Литология литосферных плит // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. С. 521–559.

2. Актуальные проблемы океанологии / Гл. ред. Н.П. Лаверов. Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. М.: Наука, 2003. 635 с.

3. *Бердников С.В.* Разработка и применение компартментальных моделей для изучения пространственных характеристик морских экологических систем: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Мурманск: ММБИ, 2004. 50 с.

4. *Бердников С.В., Цыганкова А.Е.* Математическое моделирование влияния гидрологических и литодинамических процессов на перенос и накопление химических соединений в Белом море // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып. 2. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. С. 334–381.

This study shows that input of trace metals with suspended particles from abrasion shores can determine essentially their partition in dissolved and particulate forms, and to influence on metals accumulation level in bottom sediment in areas of active abrasion both and in outlying areas of the White Sea.

А.А. Виноградова, Л.О. Максименков, Ф.А. Погарский
(Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва,
e-mail: anvinograd@yandex.ru)

**Антропогенная нагрузка на природную среду акватории
Белого моря со стороны промышленных объектов
Мурманской области (атмосферный канал)**

A.A. Vinogradova, L.O. Maksimenkov, F.A. Pogarskii
(Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS, Moscow)

**Anthropogenic loading to the environment of the White Sea
from the industry of Murmansk region (atmospheric channel)**

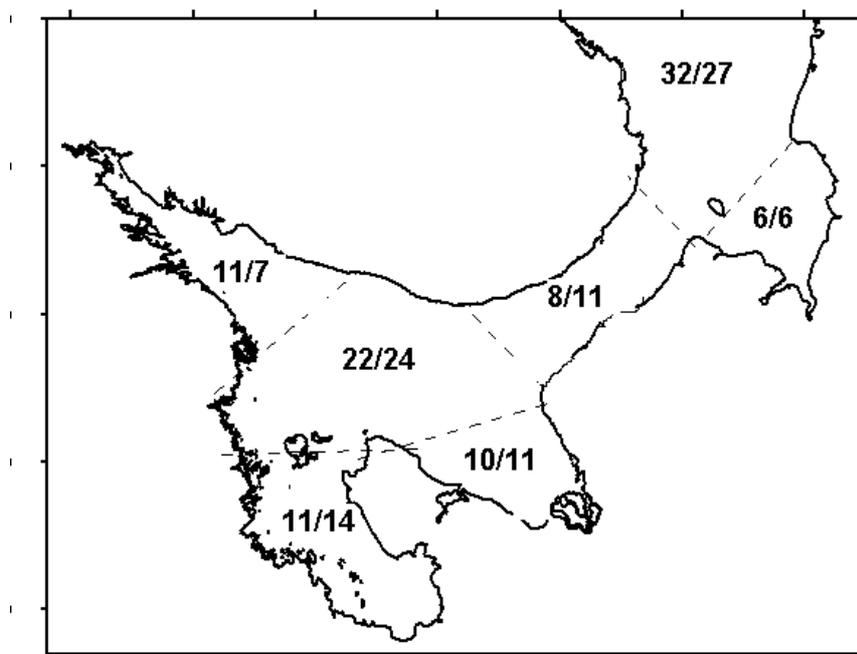
В работе представлены результаты анализа распространения воздушных масс и антропогенных аэрозольных составляющих от промышленного региона, расположенного на севере Кольского п-ова (с условными координатами 69° с.ш., 31° в.д.). Исходными данными являются массивы ежедневных 5-суточных траекторий движения воздуха от источника в январе, апреле, июле и октябре в течение 20 лет с 1981 по 2000 гг. Расчет траекторий проводился с использованием модели HYSPLIT 4 и полей реанализа NOAA (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files). Оценены средние концентрации мышьяка и тяжелых металлов (Ni, Cu, Pb, Cd, V) в приземном воздухе и в осадках, а также потоки этих элементов на поверхность в акватории Белого моря. Скорости осаднения всех рассматриваемых примесей считались одинаковыми, а их сезонные и пространственные различия задавались в соответствии с литературными данными с учетом количества осадков в регионе [1]. Считая рассматриваемые месяцы представительными для каждого сезона, изучались сезонные вариации, а среднегодовые показатели вычислялись простым усреднением в предположении равной длительности сезонов. Долговременные тенденции изменения характеристик оценивались при сравнении результатов для 80-х и 90-х годов. Полученные результаты хорошо согласуются с приведенными в литературе данными натуральных наблюдений, характерными для изучаемого региона.

Данные о выбросах рассматриваемых источников были обобщены из [2] и аналогичных изданий 1990, 1996, 2001 и 2005 годов. В силу специфики промышленности Мурманской области, ее территория является самым мощным источником атмосферных выбросов никеля и меди на севере Европы, определяющим антропогенный вклад в содержание этих элементов в природных средах и объектах окружающих территорий.

Влияние рассматриваемого источника неравномерно по территории Белого моря, что обусловлено как пространственными особенностями атмосферной циркуляции, так и неоднородностью распределения осадков и свойств поверхности моря (волнение, замерзание и т.д.). Содержание примесей в воздухе максимально в холодную часть года, а плотность их выпа-

дений на поверхность максимальна летом и осенью в условиях наибольшего количества жидких осадков.

Если не учитывать изменения эмиссии источника за последние 20 лет XX века, то суммарный годовой поток примеси на всю поверхность Белого моря в 90-х годах по сравнению с 80-ми увеличился бы почти на 40% только за счет изменения циркуляционных процессов в атмосфере. Однако эмиссия никеля на Кольском полуострове в 90-х годах стала приблизительно вдвое меньше, чем в 80-х, а в 2000-х годах снизилась еще вдвое. В результате в 90-х годах средний поток никеля за год на всю площадь моря уменьшился по сравнению с 80-ми годами приблизительно на 30% в основном за счет уменьшения весеннего и осеннего вкладов.



Годовой поток примеси из атмосферы (первая цифра, %) на разные части Белого моря (вторая цифра – площадь, %). Пунктир – границы частей.

В 90-х годах только от предприятий Мурманской области в акваторию Белого моря в среднем за год попадало около 110 т Ni и 70 т Cu, а также 10 т As, 6 т Pb, 5 т V и 1,8 т Cd. Это составляет около 6% годовой эмиссии рассматриваемого источника. При этом 40–45% примесей выпадало с осадками, остальные – в результате «сухого» осаждения. На рисунке показано распределение

потоков рассматриваемых микроэлементов по акватории моря и площади соответствующих частей (%). Наибольшую нагрузку от рассматриваемого источника испытывают воды Кандалакшского залива и «Воронки».

В отношении антропогенных микроэлементов роль атмосферного канала в формировании состава взвеси вод Белого моря весьма существенна. Вклад атмосферы вполне сравним с содержанием никеля и кадмия во взвеси речного стока Северной Двины и превышает этот показатель у Мезени для этих же элементов и меди [3]. Если же учесть, что речные воды при прохождении маргинального фильтра значительно очищаются от тяжелых металлов [4], то можно утверждать, что для вод центрального бассейна Белого моря относительный вклад атмосферы в ее состав еще значительнее.

Выводы. Мощные источники антропогенного аэрозоля, расположенные на севере Кольского полуострова, оказывают заметное воздействие на состав приземного воздуха, осадков и вод акватории Белого моря. В результате они вносят свой вклад в поставку антропогенных составляющих в донные отложения моря, а также влияют на состав природных объектов региона, повышая концентрации экотоксикантов в трофических цепях различных экосистем.

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. II. Белое море. Вып. 1. Л.: Гидрометеоздат, 1991.

2. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (России) 1997 г. СПб, 1998. 433 с.

3. Гордеев В.В. Реки Российской Арктики: потоки осадочного материала с континента в океан // Новые идеи в океанологии. М.: Наука, 2004. Т. 2. С. 113–167.

4. Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы «живого океана» // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 15–48.

The results of analysis of spatial distribution of air masses and aerosol constituents from industrial region situated at northern part of Kola Peninsula are represented. The mean concentration values of arsenic and heavy metals (Ni, Cu, Pb, Cd, V) in air and precipitation, and the mean fluxes of those aerosol components onto the surface of the Sea were estimated. The main seasonal and long-term differences in atmospheric contribution from the industry of Murmansk region in pollution of the environment of the White Sea were revealed. Obtained results are in good agreement with published data of *in-situ* measurements in the region.

**Ю.С. Долотов¹, Н.Н. Филатов², Н.А. Римский-Корсаков³,
В.П. Шевченко³, Р.Э. Здоровеннов², И.П. Кутчева⁴,
Н.В. Денисенко⁴, Н.Н. Немова⁵, А.В. Толстик²**

(¹Институт водных проблем РАН, Москва; ²Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск; ³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, vshevch@ocean.ru; ⁴Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург; ⁵Институт биологии КарНЦ, Петрозаводск)

Комплексные исследования физических, химических, геологических и биологических процессов в эстуариях и прибрежной зоне Белого моря

**Yu.S. Dolotov¹, N.N. Filatov², N.A. Rimskii-Korsakov³,
V.P. Shevchenko³, R.E. Zdorovenov², I.P. Kutcheva⁴,
N.V. Denisenko⁴, N.N. Nemova⁵, A.V. Tolstikov²**

(¹Institute of Water Problems RAS, Moscow; ²Northern Water Problems Institute, Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk; ³P.P. Shirshov's Institute of Oceanology RAS, Moscow; ⁴Zoological Institute RAS, St.-Petersburg; ⁵Institute of Biology, Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk)

Multidisciplinary studies of physical, chemical, geological and biological processes in estuaries and coastal zone of the White Sea

Во многих странах в последние десятилетия большое внимание уделяется изучению зон смешения речных и морских вод, в первую очередь в связи с тем, что они являются накопителями различного рода загрязняющих веществ, поступающих с речным стоком с суши. Здесь в результате смешения речных и морских вод происходят процессы, приводящие к осаждению почти всех взвешенных в воде веществ [1]. Исследование этих зон весьма важно для оценки антропогенного стресса, который испытывают моря и океаны. Имеется большое число работ, посвященных геоэкологическим исследованиям в устьевых зонах рек, впадающих в Белое море. Наиболее активно системные, многодисциплинарные исследования здесь проводятся с 2000 г. [2–8].

В летние месяцы 2000–2007 гг. на НИС "Эколог" Института водных проблем Севера Карельского НЦ РАН в эстуариях рек Кереть, Кемь, Нижний Выг, Онега и ряд других рек и прибрежной зоне Белого моря были выполнены многодисциплинарные комплексные исследования.

Гидрофизические исследования проводились с использованием современной аппаратуры – мультипараметрических зондов CTD 90M и "Quanta", а также измерителя течений ADCP SonTek. Пластмассовым батометром Нискина (10 л) фирмы «General Oceanics Inc.» производился отбор проб воды для определения содержания взвешенного материала, фитопланктона и химического состава воды. Выделение взвеси для определения ее концентрации и дальнейшего изучения состава проводилось методом ультрафильт-

рации под вакуумом -0,6 атм. через чистые и предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм (через два–три параллельных ядерных фильтра). После фильтрации воды фильтры промывались бидистиллятом, перекладывались в чистые пластиковые чашки Петри и высушивались при температуре 55–60°C. Содержание взвеси определялось взвешиванием с точностью до 0,1 мг после доведения фильтров до постоянного веса. Для определения концентрации взвешенного органического углерода ($C_{орг.}$) фильтрация проводилась через стекловолокнистые фильтры GF/F диаметром 47 мм под вакуумом -0,2 атм. Более детально методика исследований в комплексных экспедициях изложена в ряде работ [3–6].

Обнаружена четкая стратификация вод – присутствие двух четких слоев – верхнего с максимальными температурами и минимальной соленостью и нижнего – с минимальными температурами и максимальной соленостью. В отлив даже во внешней морской зоне, удаленной от речного устья на несколько километров, ощущалось заметное распреснение вод. Значения скоростей поверхностных течений в морской зоне в отлив в целом оказались больше, чем в прилив. Выявлена четкая зависимость вертикального распределения концентрации взвешенного материала от показателей перемещения водной толщи в верхнем слое – значений температуры и солености. Обнаружена зависимость особенностей донного рельефа, накопления донных осадков и их гранулометрического состава в морской зоне от скоростей приливо-отливных значений, проявление которых, в свою очередь, определяется глубиной донного участка и его расположением в положительной или отрицательной формах рельефа. В составе зоопланктона довольно четко прослеживается разница, с одной стороны, в приустьевой, а с другой, в переходной и морской зонах. В первой (зоне смешивания пресных речных и соленых морских вод) – пресноводные виды, а в двух других – морские, причем их смешения не происходит. Биомасса, численность и видовой состав зообентоса зависят от солености вод, типа донного осадка и концентрации взвеси в водной толще, наличия загрязнений или их отсутствия. Обнаружено некоторое изменение активности процесса обмена веществ в органах промысловых рыб из эстуарной более загрязненной зоны, по сравнению с условиями открытого моря. Выявлены различия в проявлении совместного воздействия речного и морского факторов (на приустьевых вогнутых участках побережья) и только морского фактора (на прямолинейных открытых участках), что прослеживается, в первую очередь, в особенностях изменения уровня моря, характере перемещения взвешенных наносов и зоопланктона в фазы прилива и отлива. На вогнутых приустьевых участках побережья четко проявляется влияние фазы отлива, а на открытых прямолинейных участках различия в проявлении фаз прилива и отлива практически не ощущаются.

Авторы выражают искреннюю признательность капитану НИС "Эколог" С.В. Прошкину и всему экипажу, всемерно содействовавшим успешному

проведению морских работ, всем участникам экспедиционных исследований и тем, кто проводил нанлитическую обработку.

Работы были проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований по проектам 05-64070, 05-79063, 05-64079, 05-79028, 05-64760, 05-79990.

1. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.

2. *Лисицын А.П.* Новые возможности четырехмерной океанологии и мониторинга второго поколения – опыт двухлетних исследований на Белом море // *Актуальные проблемы океанологии*. М.: Наука, 2003. С. 501–554.

3. *Лисицын А.П., Шевченко В.П., Буренков В.И. и др.* Взвесь и гидрооптика Белого моря – новые закономерности количественного распределения и гранулометрии // *Актуальные проблемы океанологии*. М.: Наука, 2003. С. 556–607.

4. *Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др.* О характере природных процессов в фазы прилива и отлива в эстуариях карельского побережья Белого моря // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 5. С. 784–792.

5. *Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др.* Мониторинг приливо-отливных обстановок в эстуариях Карельского побережья Белого моря // *Водные ресурсы*. 2005. Т. 32. № 6. С. 670–688.

6. *Shevchenko V.P., Dolotov Y.S., Filatov N.N. et al.* Biogeochemistry of the Kem' River estuary, White Sea (Russia) // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2005. V. 9. P. 57–66.

7. *White Sea. Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change / Eds. Filatov N. et al.* Berlin: Springer, 2005. 472 p.

8. *Шевченко В.П., Коробов А.Б.* Экологическая ситуация в дельте реки Северная Двина в марте 2005 года // *Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия «Прикладная геоэкология»*. Вып. 66. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. С. 176–187.

As a result of multidisciplinary studies during 2000–2007 the comparative analysis of physical, chemical, geological and biological processes in estuaries and coastal zone of the White Sea has been carried out.

Н.Н. Завернина

(ГУ «Архангельский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями», Архангельск, e-mail: korobovvb@arh.ru)

Тенденции загрязнения природной среды Архангельской агломерации в 2002–2006 гг.

N.N. Zavernina

(State Institution “Arkhangelsk Regional Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring”, Arkhangelsk)

Tendencies of the Arkhangelsk agglomeration environment pollution

Предприятия и социальная сфера Архангельской агломерации оказывает воздействие на прилегающие природные объекты, включая акваторию Белого моря. По данным государственного мониторинга пик загрязненности приходился на конец 80-х годов прошлого века. Падение промышленного производства в 90-х годах повлекло за собой и снижение загрязненности. Однако, в последние годы вновь отмечается рост промышленных показателей. Поэтому целью работы является оценить закономерности загрязнения природной среды за период 2002–2006 гг.

Архангельск. Основными источниками загрязнения атмосферы являются предприятия теплоэнергетики, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, автомобильный и железнодорожный транспорт.

Основными загрязнителями являются: диоксид серы, диоксид азота/ оксид азота, взвешенные вещества, оксид углерода, бенз(а)пирен, специфические вещества.

В целом уровень загрязнения воздуха высокий и определяется концентрациями бенз(а)пирена и формальдегида, в отдельные периоды – метилмеркаптана.

За рассматриваемый период уровень загрязнения воздуха существенно не изменился. Отмечается некоторое увеличение средних концентраций взвешенных веществ (от 0,06 до 0,15 мг/м³), оксидов азота (от 0,023 до 0,06 мг/м³), оксида углерода (от 0,9 до 3,0 мг/м³) и формальдегида (от 0,004 до 0,006 мг/м³).

Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются Архангельская ТЭЦ, предприятия целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, жилищно-коммунальное хозяйство, суда речного флота.

Основными загрязняющими веществами являются соединения меди, железа, цинка, нефтепродукты, фенолы, метанол, органические вещества и лигносульфонаты.

По комплексным оценкам качество воды характеризуется следующим образом: рукав Корабельный у р.п. Соломбала, Мурманский у с. Красное и протоки Кузнечиха выше впадения р. Юрас – 3 класс, разряд «б» (очень загрязненная), рукав Никольский у с. Рикасиха, протока Маймакса ниже пос. Экономия, в протоке Кузнечиха ниже л/з № 29 – 4 класс, разряды «а» и «б» (грязная).

Уровень загрязнения поверхностных вод сточными водами за последние пять лет существенно не изменился. Отмечается некоторое увеличение содержания соединений меди (от 0,003 до 0,005 мг/дм³), железа (от 0,3 до 0,5 мг/дм³), цинка (от 0,01 до 0,03 мг/дм³), лигносульфонатов (от 1,0 до 3,0 мг/дм³), фенолов (от 0,003 до 0,004 мг/дм³).

Радиационная обстановка в г. Архангельске за период 2002–2006 гг. оставалась стабильной. Среднегодовое значение суммарной бета-активности атмосферных выпадений оставалось практически неизменным (5,0–7,2 Бк/м²), в приземной атмосфере ($4,2 \cdot 10^{-7}$ – $3,5 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³). Гамма-излучения также находились в пределах колебаний естественного гамма-фона и составили соответственно (6–20 мкР/ч).

Основными радиоактивными источниками загрязнения являются цезий-137, стронций-90, а также свинец-214, радий-226.

Новодвинск. Основными источниками загрязнения атмосферы являются: ОАО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат», ЗАО «Архангельский фанерный завод», мебельная фабрика и автотранспорт.

Основными загрязнителями являются: диоксид серы, диоксид азота, взвешенные вещества, оксид углерода, бенз(а)пирен, специфические примеси. Уровень загрязнения воздуха высокий, что определяется средними концентрациями бенз(а)пирена и формальдегида

За период 2002–2006 гг. уровень загрязнения воздуха не претерпел существенных изменений. По сравнению с предшествующими годами несколько увеличились средние концентрации диоксида азота (от 0,023 до 0,024 мг/м³) и бенз(а)пирена (от $1,6 \cdot 10^{-6}$ до $2,5 \cdot 10^{-6}$ мг/м³).

Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются предприятия целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, жилищно-коммунальное хозяйство, суда речного флота.

Основными загрязняющими веществами являются соединения меди, железа, цинка, нефтепродукты, органические вещества, лигносульфонаты, фенолы, метанол.

По комплексным оценкам вода реки Северная Двина участке от г. Новодвинска до г. Архангельска относится к 4-му классу качества, разряд «а» (грязная).

Уровень загрязнения поверхностных вод сточными водами существенно не изменился. Отмечается некоторое увеличение содержания соединений меди (от 0,001 до 0,002 мг/дм³), железа (от 0,3 до 0,5 мг/дм³), цинка (от 0,01 до 0,03 мг/дм³), лигносульфонатов (от 1,0 до 3,0 мг/дм³), в отдельных случаях фенолов (от 0,002 до 0,005 мг/дм³).

Северодвинск. Основными источниками загрязнения атмосферы являются предприятия теплоэнергетики, машиностроения, металлообработки, мебельное производство и автотранспорт.

Основными загрязнителями являются: диоксид серы, диоксид азота, взвешенные вещества, оксид углерода, бенз(а)пирен, специфические примеси.

Уровень загрязнения атмосферы – высокий, что обусловлено высокими концентрациями бенз(а)пирена и формальдегида.

Уровень загрязнения атмосферы за период 2002–2006 гг. претерпел некоторые изменения.

По сравнению с предшествующими годами увеличились концентрации формальдегида (от 0,005 мг/м³ до 0,010 мг/м³), но в то же время уровень загрязнения бенз(а)пиреном снизился (от 3,4*10⁻⁶ до 2,6*10⁻⁶ мг/м³).

Радиационная обстановка – стабильная. Среднегодовое значение суммарной бета-активности атмосферных выпадений в течение последних лет остается практически неизменным (5,0–7,2 Бк/м²), в приземной атмосфере (4,2*10⁻⁷–3,5*10⁻⁷ Бк/м³). Гамма-излучения также находились в пределах колебаний естественного гамма-фона (6–20 мкР/ч).

Основными радиоактивными источниками загрязнения являются цезий-137, стронций-90, а также свинец-214, радий-226.

Выводы: 1. Уровень загрязнения атмосферы Архангельской агломерации остается достаточно высоким. За период 2002–2006 гг. отмечался рост средних концентраций бенз(а)пирена и формальдегида, однако в то же время в г. Северодвинске уровень загрязнения бенз(а)пиреном снизился.

2. Уровень загрязнения поверхностных вод сточными водами за последние пять лет существенно не изменился. Участки реки Северной Двины, прилегающие к г. Архангельску и г. Новодвинску относят к 4-му классу качества (грязная). Наблюдается увеличение содержания тяжелых металлов, лигносульфонатов и фенолов.

3. Радиационная обстановка – стабильная. Гамма-излучения находятся в пределах колебаний естественного гамма-фона.

В докладе использованы материалы «Северного межрегионального территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», сотрудникам которого автор выражает благодарность.

On the basis of materials of the State monitoring the tendency of atmospheric air and superficial waters pollution and radiating pollution in the Arkhangelsk agglomeration for the last 5 years is analyzed. Laws of pollution of an environment for the specified period are established.

**Н.С. Замбер¹, В.П. Шевченко^{2,3}, С.А. Поздняков¹,
О.С. Покровский⁴, Е.В. Васюкова⁴**

(¹Государственный природный заповедник “Костомукшский”, Костомукша, e-mail: zamber.nat@mail.ru; ²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва;

³Лицей № 1553 “Лицей на Донской”, Москва;

⁴Лаборатория механики и транспорта в геологии, Университет Тулузы, Франция)

**Влияние эолового переноса загрязняющих веществ
на состояние окружающей среды в районе г. Костомукша,
Карелия**

**N.S. Zamber¹, V.P. Shevchenko^{2,3}, S.A. Pozdnyakov¹,
O.S. Pokrovsky⁴, E.V. Vasyukova⁴**

(¹State Nature Reserve “Kostomukshsky”, Kostomuksha;

²P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow;

³Lycee № 1553 “Lycee na Donskoy”, Moscow;

⁴Laboratory of Mechanisms and Transport in Geology, University of Toulouse, France)

**Influence of aeolian transport of pollutants on the environment
in vicinity of Kostomuksha, Karelia**

Костомукшский муниципальный городской округ расположен на северо-западе Карелии. После строительства и введения в 1974 г. в эксплуатацию Костомукшского горно-обогатительного комбината ОАО «Карельский окатыш» (далее ГОК) на прилегающую территорию усилился уровень антропогенного воздействия. По Карелии на ГОК проходит более 50% выбросов диоксида серы. При производстве железорудных окатышей в 2005 г. в атмосферу поступило: 36,528 тыс. т диоксида серы, 1,399 тыс. т оксида углерода, 2,063 тыс. т оксида азота, 6,121 тыс. т твердых веществ [1]. После взрывных работ из карьера в атмосферу поступают CO_x, NO_x и пыль, состоящая из частиц пород. В процессе выветривания усиливается запыленность атмосферного воздуха из отвалов пустой породы [2]. До сих пор не оценена доля участия западной Европы в поставке поллютантов посредством воздушного переноса [3].

За годы существования комбината в разные периоды работы проводились работы по оценке состояния среды. При этом разные авторы использовали различные методики, среди них такие как: геохимические исследования почвы, мхов, лишайников, коры стволов сосны и др.; гидрохимические исследования атмосферных выпадений. Однако в большинстве работ не использовались геохимические индикаторы. В связи с этим, достаточно сложно определить источник загрязнения. Проводимые с 2006 г. исследования направлены на уточнение источника и выявление приоритетных загрязнителей района исследования, а также определение путей переноса антропогенных примесей в районы Белого моря.

Через 10 лет после пуска комбината, П.Ю. Литинским [4] был выявлен очаг поврежденных лесов. На тот момент, протяженность очага в направлении ЮЗ-СВ составляла около 30 км, в направлении СЗ-ЮВ – около 25 км, общая площадь достигала 500 км². Им же определена скорость увеличения радиуса зоны повреждения, которая составляет около 2 км в год. Конфигурация очага соответствует повторяемости ветров.

Исследования химического состава атмосферных осадков, показали высокие концентрации сульфатов, Са, К, Fe, Al, V, Ni и других металлов [5].

В 1999 г. отмечено превышение фоновых концентрации по заповеднику в почвах ГОКа и города, кроме Mn [3]. Среднее содержание Fe варьировало от 151 до 8684 мг/кг, Zn от 26,5 до 42,8 мг/кг, Сг от 15,4 до 19,3 мг/кг. Наибольшие концентрации Fe отмечены на расстоянии 6–8 км и 20–30 км от ГОКа. В последнюю зону входит город, где количество железа выше на возвышенностях, хорошо продуваемых местах и вблизи оживленных перекрестков. Содержание серы в поверхностном горизонте района ГОКа и города изменяется от 250 мг/кг до 3875 мг/кг, где максимальная концентрация отмечена в почвах на расстоянии 2,5 км от ГОКа, минимальная на расстоянии 10 км на ЮЗ от ГОКа. Содержание серы в листьях черники и брусники произрастающей в низинах и заболоченных участках выше. Максимальное содержание серы обнаружено в чернике в 100 м от шоссе на восточной границе заповедника (27500 мг/кг). Близкое к нему среднее значение зарегистрировано вблизи ГОКа (24050 мг/кг) [3].

Большое количество минеральных компонентов, поступающих в водоемы р. Кенти, расположенную в пределах водосбора озера Среднее Куйто, входящего в бассейн р. Кеми, впадающей в Белое море, в результате деятельности ГОКа, изменяет величину рН, концентрации органического углерода, азота, фосфора, калия. Наибольшие геохимические изменения произошли в верхних водоемах (озера Поппалиярви, Окуневое, Коувас, Кенто) [5].

Территория заповедника «Костомукшский» и города Костомукша созданы с учетом розы ветров, и удалены от промышленных объектов на 13–15 км и 30 км, что создает благоприятные условия для проживания в городе.

Элементный состав эпигейных лишайников рода *Cladonia*, отобранных около ГОКа, в Костомукшском заповеднике и для сравнения в Муезерском районе Карелии в июле 2006 г., был определен в Лаборатории механики и транспорта в геологии, Университет Тулузы. После разложения сухих проб лишайников концентрированными кислотами (HNO₃, HF и HCl) макроэлементы были определены методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES), микроэлементы – методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Предварительные результаты этих исследований показывают, что на удалении 4 км от трубы ГОКа содержание большинства химических элементов в эпигейных лишайниках рода *Cladonia* на порядок выше, чем в заповеднике на берегу оз. Каменное и в Муезерском районе. В то же время содержание железа в

окрестностях ГОКа превышает данные из других точек примерно в 200 раз, достигая 2,2%.

Применяемые методы дают близкую оценку экологического состояния территории. Благодаря преобладающему северо-западному направлению ветра и географическому расположению, центральной и южной части заповедника можно, вероятно, рассматривать в качестве фоновых участков.

Авторы признательны С.В. Тархову за поддержку и А.С. Саввичеву и К.Г. Конову за участие в полевых исследованиях. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 4.4 Программы № 17 фундаментальных исследований Президиума РАН, гранта РФФИ № 07-05-00691, гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2236.2006.5, Лицея № 1553 “Лицей на Донской”, ДНТТМ МГДД(Ю)Т.

1. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2005 году. Мин-во сельского, рыбного хоз-ва и экологии Респ. Карелия. Петрозаводск: ПетроПресс, 2006. 344 с.

2. *Шильцова Г.В., Ласточкина В.Г.* Химический состав атмосферных выпадений в зоне влияния Костомукшского железорудного горно-обогатительного производства (Северная Карелия). Петрозаводск: КНЦ РАН, 2004. 59 с.

3. Оценка экологического состояния окружающей среды. Материалы ежегодной рабочей сессии Учебно-научного центра «Современные методы оценки экологического состояния окружающей среды» на базе СПбГУ и БИН РАН. Коллектив авторов / Под ред. М.Г. Опекуновой, Н.В. Алексеевой-Поповой. СПб.: Изд-во С-Пб. ун-та, 2001. 169 с.

4. *Литинский П.Ю.* Космический мониторинг аэротехногенных деградаций северотаежных сосновых лесов. Автореф. диссерт. ... кандидата биологических наук. Петрозаводск, 1996. 22 с.

5. Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия / Лозовик П.А., Маркканен С.-Л., Морозов А.К. и др. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 168 с.

Kostomuksha ore mining and processing enterprise is a significant source of atmospheric pollution in Karelian part of the White Sea catchment basin. Review of literature data and new results on elemental composition of terricolous lichens in Karelia are presented in the paper.

Г.П. Киселев¹, Н.С. Замбер², И.М. Киселева¹

(¹Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск, gkiselev@atnet.ru;

²Государственный природный заповедник «Костомукшский», г. Костомукша)

Гамма-активные изотопы в компонентах природной среды Государственного природного заповедника «Костомукшский»

G.P. Kiselev¹, N.S. Zamber², I.M. Kiseleva¹

(¹Institute of Ecological problems in the North the Russian Academy of Science, Arkhangelsk; ²State natural reserve «Kostomuksha»)

Gamma-active isotopes in components of an environment of the State natural reserve "Kostomuksha"

На территории Государственного природного заповедника «Костомукшский» проведен отбор проб мхов, лишайников, листьев березы, торфа и донных осадков, в которых в лабораторных условиях на базе лаборатории экологической радиологии Института экологических проблем Севера УрО РАН на стинцилляционном гамма-спектрометре «Прогресс 2000» определялись радиоактивные изотопы: ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K и ⁷Be.

В пробах грунта радиоактивные изотопы распределены следующим образом (табл. 1). Искусственного изотопа ¹³⁴Cs в пробах не обнаружено – это указывает на то, что искусственный изотоп ¹³⁷Cs в грунтах находится длительное время. Источник его поступления определить не представляется возможным. Наибольшая удельная активность ¹³⁷Cs – 453±53 Бк/кг наблюдается в верхнем слое торфа в интервале от 0 до 7 см, слой торфа в интервале от 7 до 10 см имеет активность – 56±8 Бк/кг, а активность самого нижнего слоя – от 10 до 25 см составляет 7±5 Бк/кг. Это указывает на слабую миграцию ¹³⁷Cs в торфе в течение длительного времени. Космогенный быстрораспадающийся изотоп ⁷Be обнаружен в значительных количествах – 192±74 Бк/кг в верхнем слое торфа, куда он поступает из атмосферы и проникает во второй слой торфа за счет атмосферных осадков, нижнем слое торфа его концентрация не выражена. В донных осадках в небольших количествах имеются ¹³⁷Cs и ⁷Be. Другие естественные радиоактивные изотопы распределены в торфе и донных осадках в кларковых величинах, за исключением ²²⁶Ra и ²³²Th, активность которых составляет – 34±6 Бк/кг и 48±10 Бк/кг, соответственно в пробе из радонового родника №1, связанная с поступлением подземной радиоактивной воды. В растительности (табл. 2) так же не обнаружено быстро распадающегося искусственного изотопа ¹³⁴Cs, а удельная активность ¹³⁷Cs намного ниже – от 48±10 до 287±31 Бк/кг, чем для данной местности показано в работе [1]. Радиоактивное загрязнение растительности и грунтов заповедника искусственными радионуклидами незначительное. В то же время растительность и торф накапливают в относительно больших количествах космогенный быстро-

распадающийся изотоп ^7Be , поток которого должен составлять огромную величину – порядка 100 Бк/м².

Таблица 1. Радиоактивные изотопы в грунтах заповедника Костомукшский»

№ пробы	Координаты		Описание пробы, интервал отбора	Удельная активность, Бк/кг				
	N	E		^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^7Be
1	64°33.298'	30°20.451'	Торф 0-7 см	453 ±53	15 ±12	не выр.	31± 117	192 ±74
2	64°33.298'	30°20.451'	Торф 7-10 см	56 ±8	9 ±4	6 ±5	43 ±31	22 ±17
3	64°33.298'	30°20.451'	Торф 10-25 см	7 ±5	3 ±6	не выр.	92 ±72	не выр.
4	64°33.315'	30°20.422'	Донные осадки ломбины	7 ±2	5 ±3	1 ±4	14 ±34	35 ±17
5	64°31.515'	30°15.099'	Донные осадки из радонового источника	12 ±3	34 ±6	48 ±10	190 ±57	10 ±15

Таблица 2. Радиоактивные изотопы в растениях заповедника «Костомукшский»

№ пробы	Координаты		Описание и место отбора пробы	Удельная активность, Бк/кг				
	N	E		^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^7Be
2	64°33.295'	30°20.450'	сфагнум	287 ±31	12 ±4	-*	87 ±43	198 ±31
3	64°33.304'	30°20.455'	листья березы	18 ±3	1.3 ±1	4.5 ±3	158 ±41	105 ±18
4	64°31.515'	30°15.099'	сфагнум, радонов. источник №1	235 ±28	30 ±8	-	127 ±85	193 ±47
5	64°31.515'	30°15.099'	мох из родников источн. №1	144 ±39	51 ±35	-	-	209 ±15 0
6	64°22.184'	30°23.516'	лишайник	111 ±14	14 ±4	-	-	308 ±50
7	64°27.671'	30°22.748'	лесной мох, 100 м от р. Каменной	57 ±9	13 ±4	-	-	116 ±27

* удельная активность не выражена

Во мхах, отобранных непосредственно из воды радонового родника и из вытекающего стока радоновых вод (пробы 4 и 5) наблюдаются повышенные концентрации ^{226}Ra , что естественно. В листьях березы, отобранных в большом объеме, высушенных и обугленных перед измерением до объема 1 л (для измерения в геометрии Маринели) установлено содержание ^{137}Cs – 18±3 Бк/кг сухого веса и ^7Be – 105±18 Бк/кг сухого веса. Если изотоп ^{137}Cs , находящийся в почве и в листьях березы, может поступать из корневой сис-

темы растений, то космогенный изотоп ^7B поступает из воздуха за счет дыхания растений.

1. R. Salminen *et al.* Barents ecogeochemistry – A large geochemical baseline study of heavy metals and other elements in surficial deposits, NW-Russia and Finland // Мат. межд. конф. «Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения». ИЭПС УрО РАН, 2002. Т 1, С. 258–261.

The researches of activity have been made for ^{137}Cs , ^{226}R , ^{232}Th , ^{40}K , ^7Be elements in bottom sediments, peat, and vegetation of the State natural reserve “Kostomuksha”. There is a slight pollution of these environmental components by artificial radioactive isotopes. ^{226}Ra concentration is increasing in the plants of radon source.

Г.П. Киселев ¹, Н.С. Замбер ², Н. Рехачева ¹

(¹Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск, e-mail: gkiselev@atnet.ru;

²Государственный природный заповедник «Костомукшский», г. Костомукша)

Радон компонентов природной среды Государственного природного заповедника «Костомукшский»

G.P. Kiselev ¹, N.S. Zamber ², N. Rekhacheva ¹

(¹Institute of Ecological problems in the North the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, gkiselev@atnet.ru; ²State natural reserve «Kostomuksha»)

Radon of the environmental components of the State natural reserve “Kostomuksha”

Государственный природный заповедник «Костомукшский» создан 14 декабря 1983 года. Его общая площадь составляет 47457га. Основными задачами заповедника являются: сохранение в естественном состоянии типичных природных ландшафтов северной тайги, охрана биологических видов, изучение природных процессов, стационарные наблюдения за естественным ходом развития природных комплексов и экологическое просвещение населения. В этом аспекте представляет интерес радиоактивность компонентов природной среды заповедника. Нами произведены инситу измерения радона радиометром радона РРА-01М-03 в воздухе (табл. 1), в воздухе грунтов (табл. 2) и природных водах (табл. 3)

Таблица 1. Радон в воздухе заповедника «Костомукшский» и прилегающих территорий.

номер пробы	дата измерения	географические координаты места отбора пробы		Описание места измерения	Активность Rn, Бк/м ³
		N	E		
3	25.07.07	64° 33.298'	30° 20.451'	«Карьер», Костомукшский заповедник	< 20
4	26.07.07	64° 37.682'	30° 43.219'	4 км на Ю-З от ГОКа	21± 10
6	27.07.07	64° 31.515'	30° 15.099'	Костомукшский заповедник Радоновый родник у Щучьей ламбины	539± 97
9	28.07.07	64° 32.936'	30° 48.195'	Костомукшский источник целебной радоновой воды	< 20

В воздухе концентрации радона низкие, как на прилегающих территориях, так и в самом заповеднике, за исключением небольшого участка – непосредственно у радонового родника Щучьей ламбины. В районе Костомукшского ГОКа в воздухе появляется радон в измеряемых величинах за счет вскрытия горных пород и руд.

В почвенном воздухе радон измерялся на поверхности грунтов откачкой воздуха из грунта с расчищенной от растений и их корней площадки. Везде наблюдается поток радона из грунтов, за исключением заболоченных мест с торфом. В районе реки Каменная зарегистрирован максимальный поток, обусловленный спецификой горных пород.

Таблица 2. Радон в почвенном воздухе Костомукшского заповедника

номер пробы	дата измерения	географические координаты места отбора пробы		Описание места измерения	Активность Rn, Бк/м ³
		N	E		
3	25.07.07	64°33.298'	30°20.451'	«Карьер», Костомукшский заповедник (заболоченное место+торф)	< 20
4	25.07.07	64°33.316'	30°20.461'	«Карьер», Костомукшский заповедник (холм, мелкий гравий)	301±60
5	26.07.07	64°37.682'	30°43.219'	4 км на Ю-З от ГОКа (гравий, галька, сверху мхи)	89±25
6	26.07.07	64°34.246'	30°15.752'	Костомукшский заповедник фенологический маршрут	100±27
7	27.07.07	64°31.496'	30°15.135'	Костомукшский заповедник, С-3 Щучьей ламбины (галька)	164±37
8	27.07.07	64°22.184'	30°23.539'	Юг заповедника Костомукшский ИТС ПИРС оз. Каменное (гравий, песок)	174±40
9	27.07.07	64°27.672'	30°22.751'	Костомукшский заповедник 100м от р. Каменная (подзол)	629±113

Нами радон в воде измерялся по методическим рекомендациям [1] сразу после отбора пробы. Данные измерений представлены в таблице 3. В районе г. Костомукши имеется несколько известных радоновых источников. Один из них кооптирован и используется в лечебных целях. Два находятся на территории заповедника у Щучьей ламбины. Эти источники расположены в заболоченном месте, малодобитные, сток из них происходит по мхам в ламбину. В воде этих источников В.Я. Горьковец [2] показал очень большие концентрации радона: в одном – 1300 Бк/л, в другом – 250 Бк/л. Мы получили в первом – 139,4 Бк/л, в другом – 27,5 Бк/л. В кооптированном Костомукшском источнике целебной радоновой воды нами получено 478,8 бк/л, то есть значительно больше, чем в источниках в заповеднике. Частично это объясняется тем, что источник целебной радоновой воды закрыт и прямой утечки радона из него нет. В воде озера Каменного радон не обнаружен, однако установлены невысокие его концентрации в открытом водоеме в районе Костомукшского карьера, в ламбине «Карьер» заповедника и в водопроводной воде г. Костомукши.

Таблица 3. Радон в природных водах Костомукшского заповедника

номер пробы	дата измерения	географические координаты		Описание места отбора пробы	Активность Rn, Бк/л
		N	E		
3	25.07.07	64°33.314'	30°20.403'	Ламбина у «Карьера», Костомукшский заповедник	0.776
4	26.07.07	64°37.682'	30°43.219'	Водоем в 4 км на Ю-З от ГО-Ка (гравий, галька)	2.4
5	26.07.07	64°34.239'	30°15.752'	Костомукшский заповедник, ручей, 100 м от дороги в Финляндию	Не обнаружен
6	27.07.07	64°31.515'	30°15.099'	Костомукшский заповедник Радоновый родник №1 у Щучьей ламбины	139.4
7	27.07.07	64°31.515'	30°15.156'	Костомукшский заповедник Радоновый родник №2 у Щучьей ламбины	27.5
8	27.07.07	64°22.213'	30°23.568'	Юг заповедника Костомукшский ИТС ПИРС оз. Каменное	Не обнаружен
9	28.07.07	64°32.937'	30°48.195'	Костомукшский источник целебной радоновой воды	478.8
10	28.07.07			Водопроводная вода г. Костомукша. Визит-центр заповедника Костомукшский	2,8

Полученные данные показывают, что в водах малых озер заповедника имеется радон в небольших количествах, образование которого связывается с радиоактивностью горных пород региона.

1. Методика экспрессного измерения объемной активности ^{222}Rn в воде с помощью радиометра радона типа РРА / Рекомендации. Государственная система обеспечения единства измерений. М: ВНИИФТРИ, 2006. 7 с.

2. Интегрированный экологический мониторинг в Карелии (концепция, программа, методы, результаты 1992–1996 гг.). Петрозаводск, 1998. 112 с.

Radon of the environmental components of the State natural reserve “Kostomuksha” is studied. There is low content of radon in air environment of the reserve except for a small area at radon spring on the Lake “Schuchye” (the Lake Pike). The flow of radon from the ground, absorbed by ground plants and peat, is found anywhere. In the area there are a number of radon springs that could be medicinal.

В.В. Колька, В.Я. Евзеров

(Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты;
kolka@geoksc.apatiy.ru, yevzerov@geoksc.apatiy.ru)

**Неотектонические перемещения и палеогеография
Беломорской котловины в позднеледниковье и голоцене**

V.V. Kolka, V.Ya. Evzerov

(Geological Institute of the Kola Scientific Center RAS, Apatity)

**Neotectonic transfer and paleogeography of White Sea
depression in the Late Glacial period and Holocene**

В основе реконструкции лежит метод идентификации и датирования изоляционных контактов (переходных зон приледниковое озеро–море и (или) море – пресное озеро) из литологических колонок донных осадков озерных бассейнов в разных точках беломорского побережья, а также геоморфологическое профилирование береговых областей. Положение исследованных районов показано на рисунке.

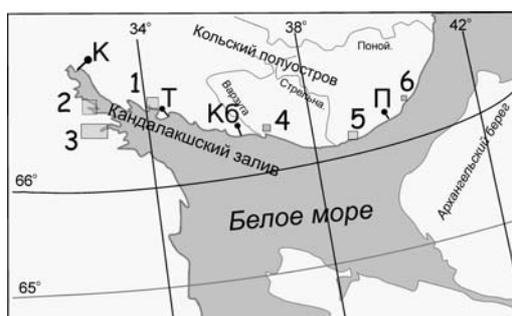


Рис. Положение исследованных районов

Прямоугольниками обозначены места литостратиграфического изучения осадков озерных котловин, изолировавшихся от моря, в окрестностях: 1 – пос. Умба; 2 – пос. Лесозаводский; 3 – пос. Чупа; 4 – р. Индера; 5 – село Чапома; 6 – р. Лиходеевка. Линиями обозначены геоморфологические профили: К – гора Крестовая; Т – Турий полуостров; КБ – хребет Корабль; П – река Пулоньга

Методика идентификации и датирования контактов описана ранее [1]. При геоморфологическом профилировании устанавливалось высотное положение береговых образований (террас и береговых валов) для определения положений уровня трансгрессирующего или регрессирующего моря. Данные литолого-стратиграфического изучения и профилирования сопоставлялись.

При изучении донных отложений выделены пять генетических фациальных разновидностей донных осадков, отражающих различия в условиях осадконакопления:

Осадки фации позднеледникового приледникового озера (I) обычно представлены неслоистой глиной, или неясно слоистой алевритистой глиной, или ленточной глиной с зернами гравия и крупного песка. Осадки этой фации залегают на коренных породах или морене. Комплекс диатомей фации I, относится к стадии перигляциального озера.

Осадки фации переходной зоны от пресноводных к морским условиям седиментации (II) представлены переслаиванием песка или алеврита с органическим материалом (содержание органики достигает 60 %) и чистого алеврита или песка. Иногда встречаются единичные обломки раковин. Комплекс диатомей фации II относится к условиям позднеледниковой ингрессии моря.

Осадки фации, соответствующей морским условиям (III) представлены алевритом, песком разнозернистым, с раковинами (иногда образуют слою раковин) и их фрагментами, единичными гальками.

Диатомеи фации III представлены полигалобовыми и мезогалобовыми видами.

Осадки фации переходной зоны от морских к озерным отложениям (IV) в разрезах значительно различаются по мощности и литологически. В некоторых разрезах она отсутствует. Наиболее характерными для переходной зоны являются осадки, представленные переслаиванием гиттии и алеврита, а также градиационнослоистой, неслоистой, неяснослоистой гиттией или алевритистой гиттией.

Осадки фации пресноводного озера (V) обычно представлены черной, темно-коричневой гиттией. В некоторых разрезах в верхних частях гиттии присутствуют неразложившиеся растительные остатки или гиттия сменяется торфом. В осадках фации V доминируют индифферентные (пресноводные) виды диатомовой флоры.

При литологическом изучении осадков озерных котловин районов 1–3 в нижней части семи разрезов установлены трансгрессивные последовательности залегания осадков от фации приледникового озера до фации моря (I–II–III). Датирование осадков фации II показало, что проникновение морских вод в депрессию Белого моря началось в конце аллерёда. Об этом свидетельствуют радиоуглеродные датировки осадков в котловине озера 4 района пос. Умба $-11230 \pm 340 \text{ C}^{14}$ (Beta-109614) и озера 9 района пос. Чупы – $11080 \pm 300 \text{ C}^{14}$ (IGSB-994). Наиболее поздние датировки, свидетельствующие о развитии позднеледниковой трансгрессии, составляют: $9940 \pm 100 \text{ C}^{14}$ лет (Beta-10475) для осадков в котловине озера 6 и $10560 \pm 100 \text{ C}^{14}$ лет (Beta-109613) в котловине озера 4 в районе пос. Умба и $10400 \pm 105 \text{ C}^{14}$ лет (Wк-15428) для озера 4 в районе пос. Чупа.

Анализ кривых относительного перемещения береговой линии в [1] показывает, что трансгрессия моря в Беломорскую котловину, имевшая место в период от $\sim 11\,000$ до $-10\,000 \text{ C}^{14}$ лет назад, сменилась регрессией. Об этом свидетельствует наличие в верхних частях разрезов регрессивных последовательностей осадков от морских к пресноводным озерным (фации III–IV–

V). Наиболее древняя датировка начала регрессии моря получена для осадков котловины одного из озер в районе пос. Лесозаводского $10140 \pm 80 \text{ C}^{14}$ лет (Su-3237). Для района Чупы она составила $9812 \pm 57 \text{ C}^{14}$ лет (Wk-15429), а для района Умбы – $9030 \pm 120 \text{ C}^{14}$ лет (Beta-104752).

Датировка осадков переходных от морских фаций к современным озерным в пределах изученных районов, в том числе Умбинского, позволила определить положения уровня регрессирующего голоценового моря, которые зафиксированы также береговыми валами на геоморфологических профилях. На профиле района Турьего мыса в чередке средних и малых по высоте береговых валов на отметках порядка 30 метров, отмечаются четыре крупных вала. Они были сформированы во время кратковременной трансгрессии Тапес, что подтверждает датировка осадков фации IV (переходной зоны от морских к пресноводным условиям) в озере с абсолютными отметками 30 метров в районе пос. Умба, составляющая $6240 \pm 140 \text{ C}^{14}$ лет (Beta-106548). Наиболее отчетливо образования, относящиеся к трансгрессии тапес в виде трансгрессивной серии береговых валов, выражены в восточной части Беломорского побережья, в районе р. Пулоньга [2]. Крупные валы трансгрессии Тапес встречены в районе горы Крестовой и Хребта Корабль. Однако нами её продолжительность не установлена.

Таким образом, в Беломорской котловине в заключительные этапы деградации поздневалдайского оледенения сначала существовал приледниковый водоём (или водоёмы). В конце аллерёда в Бассейн начали проникать морские воды и в период между примерно 11 и 10 тысячами лет назад, когда поднятие уровня мирового океана опережало поднятие континента, развивалась позднеледниковая гляциоэвстатическая трансгрессия. На фоне последующей регрессии имела место вторая, но уже эвстатическая трансгрессия - тапес. В этот период скорость поднятия уровня океана превышала скорость поднятия континента только в восточной части обследованного побережья Белого моря.

Работа выполнена в Геологическом институте Кольского Научного Центра РАН, при поддержке программы ОНЗ РАН-14.

1. Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.И., Корнер Д.Д. Послеледниковые гляциоизостатические поднятия на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова / Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2005. С. 15–25.

2. Kolka V.V., Yevzerov V.Ya., Møller J.J., Corner G.D. Neotektonic and paleogeographic aspects of the South Part of the Kola Peninsula development in Pleistocene and Holocene // PAGES meeting on High Latitude Paleoenvironments. Moscow, May 16th–17th, 2002. P. 11.

The key aims of these investigations are to restore the environmental history of the White Sea depression. The lithologic investigation of bottom sediment of raised lakes and geomorphologic profiling of modern White Sea coast was the basis for such reconstruction.

М.Д. Кравчишина

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

Гранулометрический состав водной взвеси Белого моря

M.D. Kravchishina

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

**Grain size distribution of suspended particulate matter
in the White Sea**

Один из наименее изученных вопросов современной морской геологии – гранулометрический состав водной взвеси. Ее частицы имеют разный размер и плотность, а отсюда они по-разному рассеивают свет и звук на поверхности, имеют разную площадь и, следовательно, физико-химическую активность, разное время нахождения в воде и скорость седиментации. Взвесь является исходным материалом для образования донных осадков. Большое значение имеет перенос вещества частицами в сорбированном виде. Результаты гранулометрического анализа позволяют судить об условиях осадкообразования и видеть весь процесс формирования типов донных осадков. Крупность взвешенных частиц предопределяет распределение вещества, в том числе и загрязнений, в динамической системе моря.

Успех изучения состава взвешенного вещества во многом определяется наличием необходимой аппаратуры и сопоставлением разных методов. Ни один из существующих методов гранулометрического анализа нельзя назвать универсальным [McCave, 2004]. Однако приборы, работающие на принципе Коултера, часто используют в качестве эталона при оценке анализаторов и методов получения распределения частиц по размеру.

Несмотря на полувековую историю исследования взвеси с геологическими целями [Лисицын, 1955; Медведев, Кривоносова, 1968], работы по гранулометрии развивались медленнее, так как сопряжены с целым рядом технических трудностей. Первая попытка изучения гранулометрического состава взвеси в Белом море была предпринята автором в 2001 г. в рамках программы «Исследование системы Белого моря» (руководитель академик А.П. Лисицын).

Цель работы: исследование закономерностей формирования вещественного состава и количественного распределения водной взвеси Белого моря с применением комплексного подхода для познания процессов современного осадконакопления. Исследования проводились в Белом море летом 2001–2006 гг. и продолжаются по настоящее время. За эти годы с помощью счетчика Коултера проанализировано около 600 проб воды, на лазерном анализаторе Малверн – 40 проб воды и гидравлическим методом – 12 проб декантированной взвеси. Исследован вещественный состав взвеси устьевой области Северной Двины тремя независимыми методами гранулометрического анализа. Изучен гранулометрический состав морской взвеси кондуктометрическим методом (10 фракций от 1,8 до 20,7 мкм) и на этой основе оп-

ределены: а) количественное распределение объемной концентрации и площади поверхности частиц взвеси Белого моря и б) содержание трех основных фракций (среднепелитовой (1,8–5,6 мкм), крупнопелитовой (5,6–10,5 мкм) и мелкоалевритовой (10,5–20,7 мкм)). Выявлены закономерности пространственно-временного изменения гранулометрического состава взвеси. Определены факторы, влияющие на формирование гранулометрического спектра взвешенного вещества как в поверхностных горизонтах (деятельный слой), так и на вертикальных разрезах водной толщи.

Впервые исследован гранулометрический состав водной взвеси Белого моря – дисперсной системы целого водоема. Получены новые данные о ходе осадочного процесса, начиная от устья реки до морских донных осадков. Впервые применен системный подход к исследованию процессов распределения и свойств гранулометрических фракций (средне- и крупнопелитовых и мелкоалевритовых) для этого моря на протяжении пяти лет. Гранулометрический состав взвеси маргинального фильтра Северной Двины исследован в разные сезоны года тремя независимыми методами. Совместное применение кондуктометрического и лазерного анализов позволило на современном уровне оценить влияние различных факторов на формирование гранулометрического спектра взвеси. Исследования этой дисперсной системы выявили необходимость комплексного подхода, то есть привлечение биологических, гидрологических, оптических, геохимических и других данных при интерпретации материалов.

Для Белого моря не выявлен единый доминирующий для всей акватории фактор взвесеобразования. Разнообразие и сложность этого процесса требует выяснения природы скоплений взвеси почти в каждом конкретном случае. Экстремумы в распределении частиц по размерам обуславливаются как гранулометрическим составом исходного материала, так и ходом его трансформации в водной толще.

Среднее соотношение трех наиболее распространенных фракций взвеси (по счетчику Коултера): 1) среднего пелита (2–5 мкм), 2) крупного пелита (5–10 мкм) и 3) мелкого алеврита (10–20 мкм) в водной толще Белого моря составило 36,6 : 31,9 : 31,5 % соответственно. Очевидно, что ни одна из этих фракций явно не преобладает. Это позволяет назвать взвесь Белого моря алевро-пелитовой полидисперсной. Гранулометрический состав напрямую зависит от соотношения биогенных и терригенных частиц.

Среднее значение объемной суммарной концентрации взвеси в Белом море составляло около 1 мм³/л. В зоне маргинального фильтра Северной Двины она увеличивалась до 6 мм³/л. Наибольшие колебания значений концентрации обнаружены в верхнем (фотическом) слое 0–15 м.

Максимальные значения площади поверхности взвеси обнаружены в кутовой части Двинского залива: до 7668 мм²/л. Они в 5 раз больше чем в открытой части моря. Сорбционная способность взвеси максимальна в зоне влияния маргинального фильтра Северной Двины и убывает в направлении центральных частей моря. Высокая дисперсность взвешенного вещества

увеличивает биохимическую активность частиц и способствует развитию бактерий. Выявлена линейная зависимость между суммарной площадью поверхности взвеси и общей численностью микроорганизмов в послелеповодковый период. В это время большое значение для жизнедеятельности микроорганизмов приобретает эффект биохимической пленки.

Наибольшая площадь поверхности взвеси характерна для вод с солесностью 5–10‰, то есть в пределах коагуляционно-сорбционной ступени фильтра. Речная взвесь, поступающая в море со стоком Северной Двины, отличается высокой дисперсностью (Md менее 7 мкм) и средней S_o .

Между объемной (по счетчику Коултера) и массовой (фильтрационной) концентрациями взвеси выявлена надежная корреляционная зависимость ($r = 0,8$ для 345 проб). Для показателя ослабления света и суммарной объемной концентрации взвеси подтверждена линейная зависимость ($r^2 = 0,75$, 113 проб). Максимальный коэффициент аппроксимации приходится на частицы менее 5 мкм.

Совместное геологическое изучение взвеси и оптическое исследование вод позволяют использовать оптические данные для косвенной оценки концентрации взвеси и решают проблему получения массовой информации о пространственно-временной изменчивости морской взвеси. Кроме того, открывают перспективу для трехмерного картирования.

Взвешенная форма $S_{орг.}$ в Белом море имеет не аллохтонную, а автохтонную природу. Содержание этого компонента во многом зависит от состава и распределения первичных продуцентов – фитопланктона. Выявлена жесткая корреляционная связь между содержанием во взвеси $S_{орг.}$ и частицами пелитовой фракции 2–5 мкм. Для частиц крупнее 15 мкм (алевритовая фракция) такая связь отсутствует.

Во время половодья между содержанием Si и Al во взвеси подтверждена установленная ранее обратная зависимость ($r^2 = 0,8$, 11 проб). А в период летней межени между этими элементами выявлена прямая линейная связь, как в пределах устья Северной Двины, так и в водах Белого моря ($r^2 = 0,7$, 19 проб).

Работа поддержана Президиумом (проекты 6.4 и 6.7 программы № 17) и Отделением наук о Земле РАН (проект “Наночастицы...”), грантами РФФИ №№ 06–05–64423 и 06–05–64815, грантом поддержки ведущих научных школ № НШ–2236.2006.5, проектом INTAS 06–1000025–9142.

Grain size distribution of suspended particulate matter in the White Sea is studied since 2001. Grain size spectrums were studied by Coulter Counter in the White Sea and by laser diffraction and pipette method in the Northern Dvina River mouth.

**М.Д. Кравчишина¹, И.Н. Мицкевич², Е.Ф. Веслополова²,
В.П. Шевченко¹, А.П. Лисицын¹**

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва,
e-mail: kravchishina@ocean.ru; ²Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского
РАН, г. Москва)

**О взаимосвязи взвеси и микроорганизмов в водах
Белого моря**

**M.D. Kravchishina¹, I.N. Mitzkevich², E.F. Veslopolova²,
V.P. Shevchenko¹, A.P. Lisitzin¹**

(¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow;
²S.N. Vinogradsky Institute of Microbiology of RAS, Moscow)

**About the relationship between suspended particulate matter
and microorganisms in the White Sea waters**

Микроорганизмы, также как и взвесь, представляют собой дисперсную фазу, находящуюся в морской воде как дисперсионной среде. Их количественное исследование и выявление взаимосвязей необходимо для познания закономерностей современных процессов седиментации.

Вопросы взаимосвязи взвеси и микроорганизмов в водах Белого моря практически не изучены. Наши исследования проводились в летнюю межень 2003–2005 гг. В работе обсуждаются результаты количественного изучения различных характеристик взвешенного вещества: площади поверхности и объемной концентрации (474 пробы), массовой концентрации (499 проб) и численности микроорганизмов в воде (246 проб). Показано, что в вопросе взаимосвязи взвеси и микроорганизмов наибольшее значение приобретает площадь поверхности частиц. Для Белого моря эта площадь была вычислена по данным кондуктометрического счетчика Коултера, для устья Северной Двины – получена с помощью лазерного анализатора Малверн.

Взвешенное вещество имеет разную площадь поверхности и, соответственно, разную биохимическую активность. Частицы взвеси (размер от 0,5 мкм до 1 мм) по-разному осваиваются бактериями и служат питательным субстратом зоопланктона и бентоса, в первую очередь фильтраторов. Размеры клеток микроорганизмов варьируют от 1,5–2 до 0,2 мкм. Однако естественный бактериальный планктон содержит до 30% агрегатов, представляющих собой микроскопические «хлопья» размером 5–8 мкм [Сорокин, 1974]. Бактерии обычно скапливаются на детрите, который входит в состав взвеси. Они, также как и взвесь, влияют на оптические характеристики морской воды. Основной вклад принадлежит палочкообразным бактериям длиной до 2 мкм [Копелевич и др., 1987].

При непосредственном наблюдении и количественном подсчете фиксированных в спирту микробных клеток (на мембранных фильтрах в эпифлуоресцентном микроскопе) установлено, что в Белом море до 60% и бо-

лее составляют клетки, прикрепленные к частицам детрита. Каждая такая частица, как правило, насыщена бактериями, которые в основном имеют форму палочек, а иногда образуют цепочки.

Параллельное изучение взвеси и общей численности микроорганизмов (ОЧМ) на границе река-море проведено в августе 2005 г. Выделены три ступени маргинального фильтра, которые отражали изменения концентрации взвеси и ОЧМ. Взвешенные частицы выводятся из воды на самых ранних фазах смешения, в основном в пределах солености от 0 до 5‰ [Лисицын и др., 1983]. На первом этапе (от 0,2 до 2‰) уменьшение концентрации взвешенного материала повлекло сокращение ОЧМ в 2 раза: от 360 до 170 тыс. кл/мл. Между массовой концентрацией и ОЧМ выявлена положительная парная корреляция ($R = 0,8$ для 11 проб).

Границы сорбционной системы маргинального фильтра условно выделены в пределах изохалин от 2 до 15‰. Массовая концентрация взвеси на втором этапе испытывала заметные флуктуации: от 2,6 до 5,1 мг/л. Микроорганизмы поселялись на новообразованных флоккулах. Наибольшая площадь поверхности взвеси (по данным лазерного анализатора $0,34 \text{ мм}^2/\text{см}^3$) соответствовала наименьшему медианному диаметру ($Md = 11,8 \text{ мкм}$) и максимальному значению ОЧМ (520 тыс. кл/мл). Здесь взвешенное вещество обладало развитой поверхностью, а, следовательно, имело высокую физико-химическую активность. При соленостях 2–15‰ происходит отмирание пресноводного и морского планктона, в результате чего высвобождается органическое вещество (ОВ). Это автохтонное растворенное ОВ (РОВ) способствует жизнедеятельности микроорганизмов: адсорбция питательных веществ на поверхности частиц создает благоприятные условия для развития бактериальной флоры.

На следующем – биологическом – этапе маргинального фильтра ОЧМ достигала лишь 250 тыс. кл/л. Она была в два раза ниже, чем на сорбционной ступени (до 520 тыс. кл/л). Понижение ОЧМ обусловлено уменьшением количества детрита, с которым связано развитие бактериальных клеток, и наоборот интенсивным образованием «живой» органики. Кроме того, значительно сокращалась площадь поверхности взвеси.

Кутовая часть Двинского залива характеризовалась высокой физико-химической активностью взвеси. Площадь поверхности ее частиц была здесь чрезвычайно велика: до $6058 \text{ мм}^2/\text{л}$. Максимальные значения ОЧМ тяготели к устью Северной Двины и достигали 430–558 тыс. кл/мл. Реки бассейна Белого моря характеризуются преобладанием РОВ над ВОВ [Гордеев, 2004], а именно РОВ способствует развитию бактерий.

В открытых водах моря (горизонт 0 м) за пределами устьевого взморья площадь поверхности взвеси была примерно в пять раз меньше: $1283 \text{ мм}^2/\text{л}$ в июне и $1035 \text{ мм}^2/\text{л}$ в августе. Повышенные ее значения (до $3851 \text{ мм}^2/\text{л}$) отмечались в Двинском заливе и тяготели к речным выносам. За пределами влияния маргинальных фильтров ОЧМ варьировала от 40 до 480 тыс. кл/мл.

Поверхностные воды характеризуются высокой межгодовой изменчивостью распределения площади поверхности взвеси и ОЧМ. Среднее значение ОЧМ в августе колебалось от 154 (2005 г.) до 211 тыс. кл/мл (2004 г.). Показано, что ОЧМ в августе в поверхностных водах была выше, чем в июне, что связано с наибольшими величинами РОВ в фотическом слое в июле – августе [Ильяш и др., 2003]. К концу лета, по-видимому, увеличивалось количество детрита и повышалась доля лабильного автохтонного РОВ.

Сравнение 74-х пар значений ОЧМ и суммарной площади поверхности взвеси в Белом море в июне позволило выявить положительную линейную зависимость между ними ($R^2=0,7$): с увеличением дисперсности взвеси ОЧМ возрастала. В августе такая зависимость отсутствовала, что указывает на усиление роли РОВ и уменьшении значения биохимической активности частиц для развития бактерий. В начале летней межени бактериопланктон ассоциирует со взвесью, а в конце летней межени – эта связь ослабевает.

В водной толще основные изменения концентрации ОЧМ происходят в верхнем 30–40-метровом слое. Для придонного горизонта (2–3 м от дна) характерна очень слабая биохимическая активность взвеси и, как правило, очень низкие значения ОЧМ: в среднем 100 тыс. кл/мл (от 20 в Бассейне до 310 тыс. кл/мл в куту Двинского залива). Однако у дна нередко отмечалось увеличение ОЧМ по сравнению с вышележащим горизонтом. Это явление вызвано повышением содержания продуктов распада ОВ в придонном горизонте, разложение которого идет в поверхностном слое донных осадков микроорганизмами.

Над вертикальным градиентом плотности отмечено увеличение ОЧМ. Слой пикноклина – ловушка для мелких частиц (в особенности для остатков планктона, которые по плотности близки к плотности поверхностной воды). Численность микроорганизмов имеет максимум чаще всего сразу под максимумом взвеси, то есть там, где содержание отмерших клеток фитопланктона максимально.

Работа поддержана Президиумом (проекты 6.4 и 6.7 программы № 17) и Отделением наук о Земле РАН (проект “Наночастицы...”), грантами РФФИ №№ 06–05–64423 и 06–05–64815, грантом поддержки ведущих научных школ № НШ–2236.2006.5, проектом INTAS 06–1000025–9142.

The relationship of sea bacteria with the suspended particulate matter (SPM) is revealed. Samples have been obtained in summer 2003–2005 in the White Sea. The study of various characteristics of SPM (surface area, volumetric and mass concentrations) showed that the surface area of suspended matter is the most important factor controlling the relationship between sea bacteria and the suspended matter at different depths. Some reasons of the correlation have been discussed.

Т.Г. Кузьмина, А.Ю. Леин, Л.Н. Лучшева, А.С. Новигатский
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: lluch@mail.ru)

Валовый состав поверхностных осадков Белого моря

T.G. Kuz'mina, A.Y. Lein, L.N. Luchsheva, A.S. Novigatskiy
(P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Major elements of the surface sediments of the White Sea

Изучен валовый состав поверхностных осадков 53-х станций Белого моря (49-й и 80-й рейсы НИС «Профессор Штокман»). Для определения содержания основных окислов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , TiO_2 , MnO) использован рентгеноспектральный флуоресцентный метод анализа.

Для проверки общих положений по химии поверхностных осадков, для их систематизации, т.е. распределения осадков по более или менее однородным группам, были использованы методы многомерного статистического анализа: метод главных компонент и кластерный анализ.

Суммарная дисперсия по трем главным компонентам составила 99,62%. Основной вклад (97,85%) дает первая главная компонента, вклады второй и третьей компонент (1,045% и 0,75%, соответственно) на порядок меньше. Нагрузки по исходным переменным для трех собственных векторов главных компонент представлены на рис. 1.

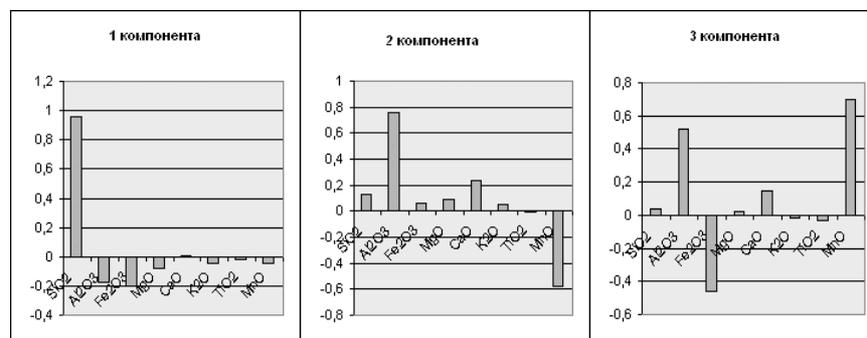


Рис. 1. Нагрузки первых трех компонент по данным химического состава осадков Белого моря

В плоскости 1-й и 2-й главных компонент (рис. 2) поверхностные осадки Белого моря делятся по первой компоненте на две ассоциации. Гранулометрический состав правой ассоциации отличается крайним разнообразием: содержания песчаной, алевритовой и пелитовой фракций меняются в этих пробах в широких пределах. Образцы поверхностных осадков, вошедшие в левую ассоциацию (со значениями по первой компоненте < 50), практиче-

ски однотипны и состоят, в основном, из пелитовой фракции, среднее содержание которой более 90%.

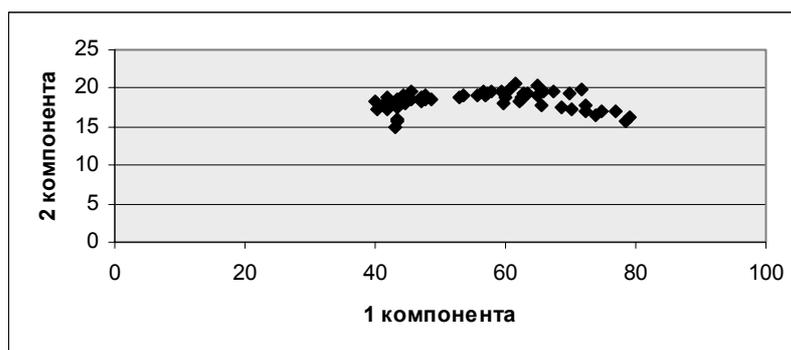


Рис. 2. Проекция анализов на плоскость первых двух главных компонент

Кластерный анализ по проекциям на главные компоненты позволил разделить эти ассоциации на более мелкие группы: правую – на четыре, левую – на три группы.

Таким образом, поверхностные осадки Белого моря разделились на семь групп, отличающихся по своему химическому и гранулометрическому составу (таблица).

Таблица. Данные по среднему химическому составу осадков, %

Группы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	ППП
1	78,76	8,43	2,01	1,24	1,53	1,47	0,3	0,039	2,7
2	70,38	11,8	3,53	2,32	2,08	1,99	0,43	0,08	3,82
3	64,8	12,8	4,49	3,14	2,26	2,33	0,57	0,1	5,99
4	59,68	13,4	6,04	3,32	1,52	2,48	0,62	0,44	8,96
5	54,4	13,7	7,53	3,62	2,05	2,77	0,76	0,21	11,5
6	49,57	14,3	8,23	3,86	1,62	2,93	0,8	0,97	14,2
7	49,89	14,1	6,56	3,86	1,58	2,74	0,74	5,04	12,0

Распределение 1–7 групп осадков по поверхности дна Белого моря отличается определенной закономерностью и согласуется с картами распределения гранулометрических фракций, составленными Невеским Е.Е. с соавторами (1977).

Высококремнистые осадки, соответствующие 1-й, 2-й группам, концентрируются в местах мелководья: проливе Горло, Двинской губе, Онежской губе, на западных станциях Кандалакшского залива. Осадки 3-й и 4-й групп примыкают к первым с глубоководной стороны.

В центральной части Бассейна и в глубоководной части Кандалакшского залива преобладают осадки 5-й и 6-й групп. Осадки 6-й группы обогащены Mn, содержание которого достигает 0,6%.

В глубоководной части Бассейна, в зоне расположения осадков 6-й группы, зафиксированы специфические осадки 7-й группы, которые отличаются аномально высоким содержанием Mn (до 5%).

Major elements of the White Sea sediments were determined with the x-ray method. Using of statistical analysis (principal components analysis, cluster analysis) allow to divide the surface sediments on seven groups.

А.В. Леонов, О.В. Чичерина

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

Математическое моделирование условий трансформации биогенных веществ в экосистеме Белого моря

A.V. Leonov, O.V. Chicherina

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

Mathematical Modeling of Biogenic Substance Transformation in the White Sea Ecosystem

Белое море омывает берега северо-запада России и служит моделью морей Арктического бассейна. Это небольшой внутриконтинентальный водоем площадью $\sim 91 \cdot 10^3 \text{ км}^2$, объемом водных ресурсов $5.4 \cdot 10^3 \text{ км}^3$, максимальной и средней глубинами 340 и 67 м соответственно. Важнейшие задачи данного исследования состояли в том, чтобы:

– обобщить накопленные данные по гидрологии, гидрохимии и гидробиологии Белого моря с помощью методологии системного анализа для лучшего понимания условий функционирования экосистемы моря;

– выявить особенности вариации основных гидрохимических и биологических характеристик водной среды с точки зрения системного анализа;

– оценить комплексное влияние природных и антропогенных факторов на динамику показателей качества морской среды;

– объяснить наблюдаемую изменчивость химических и биологических показателей состояния морской среды во времени и пространстве вследствие влияния основных процессов (например, речного стока, водообмена с Баренцевым морем и др.);

– провести биогидрохимический анализ динамики и потоков органических компонентов и биогенных веществ (БВ), складывающихся в экосистеме моря вследствие сложного взаимодействия природных процессов и антропогенного воздействия.

В исследовании использована гидроэкологическая модель биотрансформации органогенных веществ – органических и минеральных соединений N, P, Si, растворенного органического углерода (DOC) и O_2 . Вся акватория Белого моря была подразделена на 9 районов: 1 – верхняя часть Кандалакшского зал., 2 – Онежский зал., 3 – Двинский зал., 4 – Мезенский зал., 5 – район Соловецких о-вов, 6 – глубоководная часть моря, или Бассейн, 7 – акватория Горло, 8 – акватория Воронка и 9 – Губа Чула. Акватории заливов действуют подобно маргинальным фильтрам, задерживая существенную долю взвешенных и растворенных веществ, выносимых в море с притоками. Информация для указанных районов моря собиралась из литературных источников и при анализе материалов экспедиционных исследований моря.

Были систематизированы данные по температуре, освещенности, прозрачности водной среды, водному режиму, биогенной нагрузке. Показатели

переноса вод (расходы воды) через границы районов были оценены с помощью гидродинамической модели. Принимались условия “пониженного” переноса, при котором более отчетливо выявляется влияние динамики вод на поведение морской экосистемы. По результатам моделирования обсуждаются особенности расчетной динамики концентраций БВ, детрита и биомасс гетеротрофных бактерий, фито- и зоопланктона. Условия развития биомасс гидробионтов охарактеризованы расчетными значениями удельных скоростей роста биомасс и временами оборота биомасс.

Минеральные компоненты БВ с января по апрель накапливаются в водах заливов. Наибольшее накопление NO_3 и DIP происходит в Онежском зал. и в верховье Кандалакшского зал. Также высокое накопление DIP имеет место в Мезенском зал. и в губе Чупа, а DISi – в Онежском и Мезенском заливах.

Весной при активизации фитопланктона за 2–3 недели содержание минеральных фракций БВ снижается. Малое содержание в воде заливов соединений N (преимущественно NO_3) и P приводит к тому, что в начале лета DISi медленно потребляется фитопланктоном и его содержание в заливах Белого моря не уменьшается, а увеличивается. Низкое расчетное содержание DIP и NO_3 в губе Чупа подтверждается наблюдениями. Летом и в начале осени отмечено усиление рециклинга БВ, что приводит к более интенсивному потреблению фитопланктоном DISi и регенерируемого DIP. Осенью отмечен дефицит DIP и его восстановление в морской среде происходит с начала – середины ноября. Оценены изменения соотношений концентраций БВ, которые свидетельствуют о существенных колебаниях в течение года минеральных фракций при современной биогенной нагрузке на акваторию губы Чупа.

Апрельский максимум развития диатомовых водорослей в губе Чупа связан с наибольшим потреблением NO_3 , а их развитие в мае и в последующие месяцы – с преимущественным потреблением регенерируемых форм N (в меньшей степени NO_2 , и в большей – NH_4). Результаты моделирования подтверждают, что летом жизнедеятельность фитопланктона определяется рециклингом БВ.

Основное поступление NH_4 в водную среду губы Чупа обеспечивается метаболическими выделениями гетеротрофных бактерий (*B1*), которое в 33 раза превышает поступление NH_4 из всех вместе взятых внешних источников.

В течение года сильно меняется соотношение Si : N : P потребляемых диатомовыми субстратов: в январе–апреле Si : N : P = (57,1–171,7) : (23,2–80,9) : 1, в мае–декабре Si : N : P = (3,5–41,1) : (1,9–32,2) : 1.

Для *B1* в губе Чупа имеется некоторый дефицит растворенных органических компонентов (особенно DOP), образующихся при рециклинге БВ. Основное количество DON и DOP формируется при распаде детрита, которое в 4,5–6,1 раз выше среднегодового поступления органических компонентов из внешних источников.

Расчетные значения времени оборота БВ показывают, что в течение года довольно быстро происходит оборот NH_4 . Весной быстрее оборачивается NO_3 , а осенью – DIP. Показано, что расчетное значение оборота DIP соответствует оцененному экспериментально.

Наибольшие значения расчетной скорости первичной продукции (ПП) при современной биогенной нагрузке получены для губы Чупа, Двинского зал. и верхней части Кандалакшского зал. Весовые отношения скоростей ПП практически соответствуют отношению потребляемых фитопланктоном субстратов. Оцененное по расчетам на модели значение создаваемой на рециклинге БВ продукции составляет 53,5%, и эта оценка близка экспериментальной (50–60%).

Составление балансов соединений N и P для заливов и губы Чупа показывает хорошую сбалансированность внутренних и внешних потоков БВ. Например, баланс потоков форм N меняется от -0,0004 до 0,2121 г N/(м³ год) (или 0,005–2,538%), а для форм P – от -0,0901 до 0,0271 г P/(м³ год) (или 0,551–2,874%). Для функционирования экосистемы водоема особенно существенна роль круговорота органических компонентов (в частности, детритного звена) и БВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-05-96016а-р_восток, гранта Президента РФ (МК-674.2007.5), НШ-4376.2006.5 и Госконтракта 02.515.11.5037.

The use of a mathematical model describing the transformation of organic and mineral compounds of C, Si, N, and P for the generalization of hydrological, hydrochemical, and hydrobiological data on 9 areas of the White Sea is shown. The areas examined include Gulfs (the head of Kandalaksha, Dvina, Mezen, Onega), Solovetskie Islands area, Central deep-water part (Basin), Gorlo, Voronka, Chupa Bay. The results of model simulation of biogenic substance transformations in the indicated water areas of the White Sea are compared and analyzed. Calculated variations in the concentrations of biogenic substances and detritus, microorganism biomasses, characteristics of their activity (specific growth rates and biomass turnover times) within a year are presented and discussed. The estimated characteristics are shown to agree with observed concentrations of biogenic substances. Particular attention is paid to estimating the organic matter production rates by phytoplankton and calculating balances of biogenic compounds in different water areas of the White Sea.

**А.Н. Ляпин¹, А.Н. Новигатский², М.Д. Кравчишина²,
А.А. Ключиткин², Н.В. Политова², А.С. Филиппов²,
В.П. Шевченко²**

(¹Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова;
e-mail: lyarin-alex82@yandex.ru; ²Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН)

Особенности распределения взвешенного материала в Белом море

**A.N. Lyarin¹, A.N. Novigatsky², M.D. Kravchishina²,
A.A. Klyvitkin², N.V. Politova², A.S. Filippov², V.P. Shevchenko²**

(¹Moscow State University, Moscow; ²Institute of Oceanology, Russian Academy
of Sciences, Moscow)

Features of distribution of the suspended particulated matter in the White Sea

Представленные в работе исследования взвешенного вещества основаны на данных, полученных в летнем сезоне, в 80-м рейсе НИС «Профессор Штокман» (рисунок), этот рейс является логичным продолжением исследований в рамках проекта «Система Белого моря» (руководитель академик А.П. Лисицын). Авторы проанализировали первичные данные гидрофизики (предоставленные Лаб. экспериментальных гидрофизических исследований АО ИО РАН), гидрооптики (предоставленные Лаб. оптики океана ИО РАН), концентрацию взвешенного вещества, полученные в рейсе. Выявили основные закономерности распределения взвеси и ее состав в акватории, дополнительно используя спутниковые карты распределения коэффициента обратного рассеяния b_{bp} и температуры sst (сканер цвета океана MODIS-Aqua) полученные Лаб. оптики океана ИО РАН.

Несмотря на то, что сток Северной Двины существенно выше, чем сток Онеги и Мезени, область замутненных вод вблизи дельты последних рек заметно больше. Это объясняется мощными приливными течениями в Онежском и Мезенском заливах, вызывающими перемешивание вод и взмучивание донных осадков.

По-видимому, с этой же причиной связано локальное повышение содержания взвеси вблизи Терского берега. Замутненные стоком Северной Двины воды (2–6 мг/л) распространяются узкой полосой вдоль восточного побережья Белого моря, а в направлении центральной части Двинского залива содержание взвеси быстро убывает (0,3–1,0 мг/л). Причина этого состоит в антициклонической циркуляции вод в Белом море, осуществляющей перенос взвеси вдоль берегов и препятствующей ее выносу в открытые районы моря.

Наименьшее содержание взвеси в Белом море наблюдается в его самой глубокой части центральной части – Бассейне (0,1–0,4 мг/л), а также в Кандакшском заливе и вблизи Соловецких островов (0,1–0,5 мг/л). Это также хорошо подтверждается судовыми измерениями показателя ослабления света.

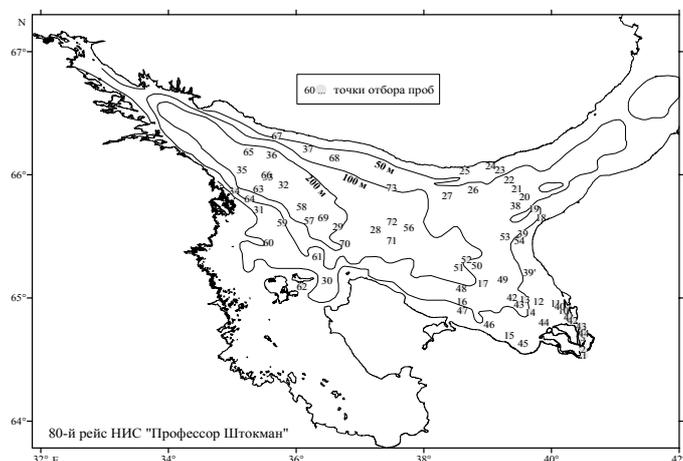


Рис. Гидрологические станции 80-го рейса НИС «Профессор Штокман», Белое море, август 2006 г.

Стратификация взвеси в Кандалакшском заливе хорошо выражена. Она характеризовалась более высокими концентрациями взвеси в поверхностном слое (около 0,5 мг/л), их снижением с глубиной (0,2 мг/л) и закономерным увеличением в придонном нефелойдном слое до 0,35 мг/л.

Распределение содержания хлорофилла “а” на поверхности моря в целом очень близко к распределению содержания взвеси, т.е. именно содержание биогенной части диктует здесь количественное распределение взвеси. Наибольшие содержания Схл также наблюдаются в Онежском, Двинском и Мезенском заливах, что объясняется выносом биогенных элементов речным стоком. Наименьшие значения Схл наблюдаются в центральной и северной частях моря.

Вертикальное распределение взвеси в Двинском заливе в августе 2006 г. характеризовалось сравнительно невысокими (0,4–0,9 мг/л) содержаниями и отсутствием стратификации близ устья р. Северная Двина при глубинах морях 15–25 м и трехслойной структурой в открытой части (с существованием поверхностного распресненного слоя повышенной мутности с содержанием взвеси больше 0,5 мг/л, расположенного над пикноклином, слоя сравнительно прозрачных вод с содержанием взвеси меньше 0,5 мг/л и придонного нефелойдного слоя с содержанием взвеси от 0,5 до 0,9 мг/л). Такой же характер вертикального распределения взвеси был описан в других шельфовых морях [2].

Поверхностное распределение концентрации взвеси на границе река-море Северной Двины органично вписывается в схему маргинального фильтра, разработанную в ИО РАН [1]. Так, первое понижение concentra-

ции взвеси (около 3 мг/л) в воде мы видим при уже незначительном повышении солености (до 1 ‰), что связано с подпруживанием устья морскими водами и снижением скорости потока речной воды. После механической дифференциации, выявляется второй этап (коллоидный) увеличения концентрации взвеси (до 5 мг/л) связанный с флокуляцией коллоидов и образованием «эстуарного снега» (соленость 12 ‰). Таким образом, после двухэтапного лавинного осаждения взвеси вода становится значительно прозрачней, что дает основания для массового развития фитопланктона, способствующего удалению растворенных форм элементов, оставшихся в воде после прохождения сорбционной ступени. Это и есть третий этап (биологический) увеличения концентрации взвеси на границе река-море (соленость 20–25 ‰), после чего следует биофильтрационная ступень с новым удалением почти всей оставшейся в воде взвеси зоопланктоном.

Заключение:

1. Наши исследования показали, что подавляющая часть речных взвесей осаждается близ устьев рек в пределах изохалин $0 \div 20$ ‰, где идет лавинное осаждение взвеси и осветление вод.

2. Для вертикального распределения взвеси, также как и вод, характерно трехслойное расчленение: наличие главных максимумов взвеси на поверхности (над пикноклином) и у дна (нефелоидный слой).

3. Сочетание круглогодичных спутниковых наблюдений позволяет выяснить закономерности изменения содержания взвеси, что открывает в дальнейшем возможности для круглогодичного спутникового оптического мониторинга и прогноза распределения взвеси для безледного времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 05-05-64872, 06-05-64815, 07-05-64760), гранта поддержки ведущих научных школ НШ-2236.2006.5, Программ фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 (проект 4.1) и № 17 (проект 4.4), проекта “Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли”.

1. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. №5. С. 735–747.

2. *Лисицын А.П., Шевченко В.П., Буренков В.И. и др.* Взвесь и гидрооптика Белого моря – новые закономерности количественного распределения и гранулометрии // *Актуальные проблемы океанологии* / Гл. ред. Н.П. Лавров. М.: Наука, 2003. С. 556–607.

Suspended particulate matter (SPM) distribution and composition in the White Sea were studied in August 2006. This work has been done in close cooperation with studies in frame of “White Sea System” project (Academician A.P. Lisitzin is a project leader). More than 95 samples were collected by filtration through the Nuclepore filters (pore size 0.45 μm).

Д.М. Мартынова

(Беломорская Биологическая Станция, Зоологический Институт РАН,
Санкт-Петербург, Россия; daria.martynova@gmail.com)

Роль трех массовых холодноводных видов копепод в потоке органического вещества в Белом море

D.M. Martynova

(The White Sea Biological Station, Zoological Institute, RAS, St. Petersburg, Russia)

Role of three abundant cold-water copepod species in organic matter flux in the White Sea

Холодноводные каляниды *Calanus glacialis*, *Metridia longa* и *Pseudocalanus minutus*, обитающие в Белом море, присутствуют в водной толще в течение всего года, в противоположность тепловодным (летним) видам надсемейства Centropagoida. Особенности их жизненных циклов во многом определяют вклад этих копепод в потребление и трансформацию органического вещества – как первичной продукции, так и мелких гетеротрофов первого и второго порядков [1, 2].

Исследования проводили в различные сезоны (март, май-июнь, сентябрь) в 2003–2006 гг. на ББС ЗИН РАН (Карелия, мыс Картеш). Количественные характеристики питания рассчитывали по результатам 24–72 часовых экспериментов. В качестве корма животным предлагали нативную морскую воду, что с уверенностью позволяет транспонировать полученные данные для описания процессов, происходящих в природных условиях. Содержание органического углерода в пробах определяли с помощью CNH-Elemental Analyzer EURO EA в Институте Полярных и Морских Исследований им. А.Вегенера (AWI, Германия).

Результаты исследований показали, что рачки старших копеподитных и половозрелых стадий *Calanus glacialis* и *Pseudocalanus minutus* потребляют большую часть продукции фитопланктона в течение весеннего цветения. Абсолютные величины потребления достигают в этот период до $140 \text{ мг С сут}^{-1} \text{ м}^{-2}$, или до 20% от первичной продукции. Поток пеллет составляет до $36 \text{ мг С сут}^{-1} \text{ м}^{-2}$. Принимая во внимание также недоучет потребления органики многочисленными копеподитами младших стадий, можно предполагать, что эти виды – основные трансформаторы органического вещества (первичной продукции) в весенний период. Полученные данные хорошо соотносятся с классической схемой функционирования высокоширотных пелагических экосистем [3]. С другой стороны, вклад рачков старших копеподитных стадий *P. minutus* в выедание сестона в осенний период также составляет более 20% от первичной продукции (до $72 \text{ мг С сут}^{-1} \text{ м}^{-2}$). Кроме того, эврифаг *Metridia longa* играет не меньшую роль в потреблении и трансформации органического вещества в весенний период (май), соизмеримую с вкладом такого крупного преимущественного фитофага, как *C. gla-*

cialis. Копеподиты старших стадий метридии потребляют до 18 мг С сут⁻¹ м⁻², при этом пеллетный вклад этого вида в поток органики составляет до 2% от первичной продукции.

Предварительная оценка роли исследуемых видов впервые демонстрирует важность вклада мелких копепоидов (*Pseudocalanus minutus*) в поток органики в осенний период. Кроме того, впервые показано, что крупные арктические эврифаги (*Metridia longa*) также играют важную роль в трансформации органического вещества в период весеннего цветения фитопланктона.

Финансовая поддержка проекта частично осуществлялась фондом DAAD (стипендия A/05/56521). Автор приносит особую благодарность проф. Ulrich Bathmann.

1. Арашкевич Е.Г., Сергеева О.М. Скорость потребления различных видов фитопланктона, количество выделяемых фекальных пеллет и скорость их оседания у беломорского *Calanus glacialis* // Исследования фитопланктона в системе мониторинга Балтийского моря и других морей СССР. М.: Гидрометеоиздат, 1991.

2. Мартынова Д.М. Некоторые характеристики питания трех массовых арктических видов копепоидов в Белом море // Экологические исследования беломорских организмов. СПб: Изд. ЗИН РАН, 2007.

3. Гейнрих А.К. Сравнительная экология планктонных океанических сообществ. М.: Наука, 1993.

Impact of three copepod species (*Calanus glacialis*, *Metridia longa* and *Pseudocalanus minutus*) in organic matter flux was studied under experimental conditions. Animals (CIV-CVI copepodites) were fed on natural seawater. The recalculations of grazing and pellet impact show peculiarities, which were not described earlier. Thus, grazing impact of *P. minutus* in fall may reach up to 20% from primary production. *M. longa* grazing impact in May is nearly equal to the same of *C. glacialis*.

В.В. Мелентьев^{1,2}, В.И. Черноок³, Л.Х. Петтерссон⁴

(¹Научный Фонд «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена», Санкт-Петербург, vladimir.melentyev@niersc.spb.ru;

²Государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, k15@aanet.ru; ³НИИ ГИПРО Рыб Флот, Санкт-Петербург, chernook@grf.spb.ru; ⁴Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия, lasse.pettersson@nersc.no)

Атлас льда Белого моря: 4-D исследования параметров, пригодных для устойчивого развития экосистемы и благополучия морских млекопитающих

V.V. Melentyev^{1,2}, V.I. Chernook³, L.H. Pettersson⁴

(¹Scientific Foundation “Nansen International Environmental and Remote Sensing Center” (NIERSC), St. Petersburg; ²The State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg; ³Research Institute of Marine Fishery Fleet Designing, St. Petersburg;

⁴Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Bergen, Norway)

Ice atlas of the White Sea: 4-D investigations of the parameters valid for sustainable development and marine animals' welfare

Мультиспектральные спутниковые исследования параметров ледяного покрова и ледового режима Арктических и субарктических морей имеют давнюю историю – работы в Беломорском регионе были начаты нами в 1960-е годы. Целью наших натурных полевых экспериментов в области космической океанографии является проведение многоуровневных (ИСЗ – самолет-лаборатория – вертолет – НИС – ледокол) 4-D исследований пространственной и временной изменчивости параметров состояния льда Белого моря и сопредельных акваторий. Подповерхностное зондирование льда выполняется с использованием многочастотных спутниковых и самолетных SAR/ASAR/ALSAR-измерений.

К сожалению, имеющиеся в распоряжении исследователей исторические данные о состоянии льда Белого моря имеют существенный дефект. Все доступные архивы ледовых данных описывают только те параметры и свойства льда, которые связаны с обеспечением ледовой навигации. На комплексных ледовых картах (КЛК) также отмечается ограниченное число параметров, лишь грубо описывающих состояние льда: припай, дрейфующий лед, концентрация льда (только 4 градации), новообразующийся лед, ровный лед, торосистый лед, наслоенный лед, ледовая кромка, разводья и трещины.

Систематизация таких ледовых данных, результаты которой обычно приводятся в различных региональных справочниках и климатологических ледовых атласах, лишь усложняет ситуацию. Генерализация параметров, их временное и пространственное осреднение ухудшает проведение гидробиологических и геоэкологических исследований ледовых форм морских млекопитающих, изменчивости их поведения в условиях быстрой смены гидро-

логических, ледовых и погодных явлений и процессов, а также и в случаях антропогенного воздействия.

Мы имеем длительный опыт проведения самолетного и спутникового SAR/ASAR/ALSAR зондирования морской среды как среды обитания различных водных видов с начала 1990-х. Многоспектральные многоуровневые 4-D исследования льда и поведенческого фактора различных представителей ледовых форм морских животных (тюленей, моржей, белух, китов) выполнялись как собственно в Арктическом бассейне (от Баренцева до Чукотского и Берингова моря), так и в различных частях акватории Белого моря.

Эти комплексные дистанционные исследования были направлены на выявление различных биологически и экологически значимых природных процессов и явлений, на изучение льда как абиотического фактора экологии ледоассоциированных морских животных, на картирование загрязнения воды и льда, на контроль распределения и сезонного цветения сине-зеленых водорослей, а также на исследование зимней гидрологии и динамики льдов применительно экологии поведения ледовых форм морских млекопитающих (дрейф льда, апвеллинги, вихри и грибовидные структуры, внутренние волны, сейши, циркуляции Ленгмюра и др.).

Для тематического дешифрирования ERS/RADARSAT/Envisat SAR/ASAR/ALSAR спутниковых изображений и восстановления биологических и геофизических параметров использованы данные традиционных *in situ* ледовых наблюдений и измерений, которые были получены в рамках подспутниковых полевых натурных экспериментов.

В рамках доклада будут представлены результаты работ по подготовке регионального Ледового атласа Белого моря и сопредельных акваторий, пригодного для использования в интересах морских гидробиологических и геоэкологических исследований. Он будет содержать описание ледовых параметров пригодных для устойчивого развития морских экосистем и благополучия морских животных в регионе. Атлас содержит сводку классифицированных спутниковых PCA сигнатур льда различного типа и происхождения, самолетные и *in situ* данные, а также аннотационные легенды специфических ледовых явлений пригодных, приемлемых, а также, в контрасте, и неблагоприятных для различных представителей ледовых форм тюленей, моржей, китов. В докладе будут обсуждены вопросы изменений климата и его влияния на распределение и 4-D структуру льда на Белом море и поведение животных, а также проблема антропогенного воздействия и загрязнения акваторий.

Studies objective is providing 4-D investigations of spatial-temporal modification of ice parameters in the White Sea using satellite – airborne survey and helicopter – icebreaker – research vessel *in situ* data, revealing the regional features of ice valid for sustainable development and marine animals' welfare, systematization of data as regional Ice Atlas. Sub-surface sounding of ice is provided by SAR/ASAR/ALSAR.

Е.А. Морозов¹, И.М. Примаков², О.В. Хаймина¹

(¹Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург, frisman@list.ru;

²Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, igor@IP5790.spb.edu)

Исследование влияния гидродинамики на пространственное распределение беломорского зоопланктона

E.A. Morozov¹, I.M. Primakov², O.V. Khaimina¹

(¹Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg,

²Zoology Institute of Russian Academy of Science, Saint-Petersburg)

Investigation of the hydrodynamics influence on the spatial distribution of the White Sea zooplankton

Белое море имеет очень сложную геоморфологическую структуру, поэтому, несмотря на небольшие размеры, для него характерно исключительное многообразие гидрологических условий. Исследования распределения зоопланктона на таких акваториях показали, что помимо суточных миграций, связанных с изменением освещенности и влиянием пресса хищников, все группы зоопланктонных организмов осуществляют миграции, связанные с приливно-отливным циклом. Это делает задачу изучения закономерностей распределения планктонных организмов в условиях значительной пространственно-временной изменчивости гидрологического режима еще более сложной.

Помимо теоретического интереса, исследования распределения планктонных организмов имеют и практическое применение. В результате многолетних исследований, выполненных Зоологическим институтом РАН, была показана не только принципиальная возможность культивирования мидий (*Mytilus edulis* L.) в Белом море, но и на их основе осуществляется промышленная мариккультура этого ценного промыслового моллюска. Этот вид имеет планктонную личинку, поэтому знание гидродинамического режима и особенностей переноса личинок являются необходимым условием для правильного размещения мидиевых хозяйств.

Для воспроизведения гидродинамического режима губы Чупа Белого моря и переноса личинок мидии была применена интегрированная моделирующая программная система «CARDINAL» (Coastal Area Dynamics Investigation Algorithm) в трехмерном приближении. Расчетная область представляла собой трехмерную сетку с гранично-зависимыми криволинейными координатами 149x149 ячеек по горизонтали и 12 σ -слоями по вертикали. Базовым вариантом расчета переноса примеси было моделирование распространения личинок мидий после среднестатистического вымета под действием основных течений – стокового, приливного, дрейфового.

Для моделирования вымета личинок были использованы данные по поселениям *Mytilus edulis* на литорали и sublиторали исследуемых акваторий, а также модельные представления о репродуктивном цикле этого вида. Бан-

ки моделировались как источники примеси различной «мощности». Личинки моделировались как пассивная неконсервативная примесь с размером зерна 0,1 мм и плавучестью близкой к нейтральной.

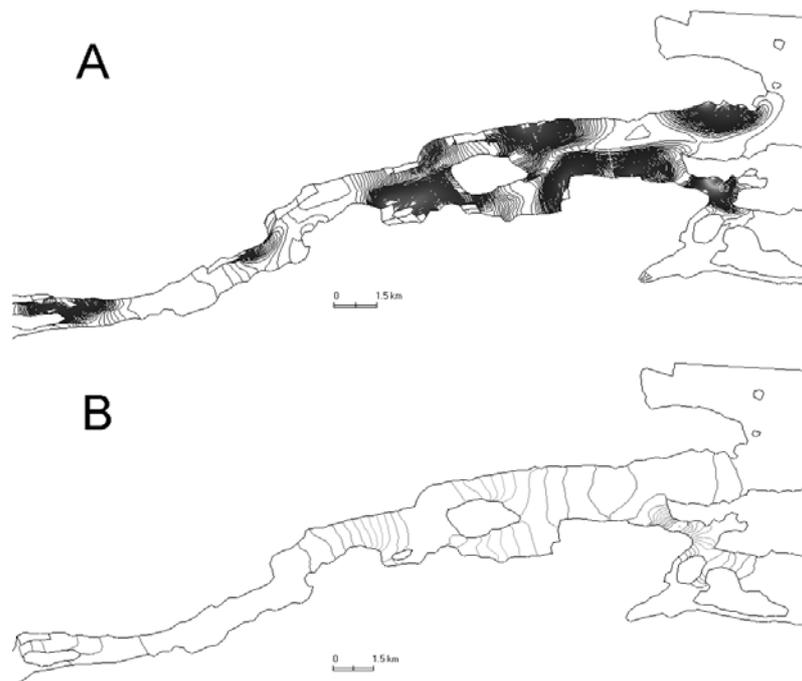


Рис. Изолинии концентрации примеси в поверхностном слое:
А – первая неделя, В – третья неделя

Проведённые расчёты позволили получить динамику распределения личинок мидии на акватории губы за период пребывания их в планктонной стадии (рис.). Несмотря на интенсивные приливные течения (10–20 см/с), выметанные личинки локализуются в основном вблизи от своих «материнских» банок. Личинки совершают возвратно-поступательные перемещения по акватории в соответствии с приливным циклом, медленно смещаясь под действием стоковых течений к востоку. Максимальное смещение за один цикл составляет порядка 1 км. Столь сильная привязанность мидий к месту своего рождения согласовывается с мнением Н.В. Максимовича о замкнутости популяции мидий губы Чупа [1].

Проведенные расчеты показали, что различия в метеорологических и гидрологических условиях мало сказываются на интенсивности выноса личинок с мест нереста.

Результаты работы могут быть использованы для биологического обоснования и развития марикультуры на исследованных акваториях. Подобные исследования позволяют не только подойти к расчету величин нагрузок на данные акватории, но и прогнозировать возможные последствия влияния марикультуры на окружающую среду в целом.

Модель может использоваться для определения возможных объемов пополнения популяции с учетом конкретных гидрологических условий в нерестовый период, а также, при задании иных характеристик примеси, для расчетов выноса хозяйственно-бытовых стоков в акваторию губы

1. *Максимович Н.В.* О закономерностях организации популяций морских двусторчатых моллюсков. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. СПб., 2004. 46 с.

The results of modelling of hydrodynamical processes in the Chupa bay of the White Sea with the use of computer program "CARDINAL" are presented. Modelled transportation of the mussels larvae area compared with the natural data on it's distribution. Despite of intensive tidal currents, larvae are not distributed far from adult mussels. Thus, the population of mussels of Chupa bay is sensitive to possible natural and anthropogenous influences because of relative isolation.

А.А. Насекина

(ГУ «Архангельский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями», Архангельск, e-mail: korobovvb@arh.ru)

Весеннее половодье 2007 г. в устьевой зоне

р. Северная Двина

А.А. Nasekina

(State Institution "Arkhangelsk Regional Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring", Arkhangelsk)

Spring 2007 flood in the Northern Dvina mouth zone

Северная Двина является наиболее крупной рекой, впадающей в Белое море. Внутригодовая изменчивость уровня, стока и концентрации взвешенного вещества в ее дельте изучается уже десятки лет. В данной работе представлены новые данные, полученные весной 2007 г.

В связи с дефицитом снеготаяния максимальные уровни воды весеннего половодья 2007 г. на большинстве рек Архангельской области ожидалось в пределах или ниже нормы. В мае на всех реках Архангельской области закончилось формирование максимальных уровней воды весеннего половодья, которые были зафиксированы на ледоходном пике почти на всем протяжении р. Северная Двина. В связи с частыми перебоями в снеготаянии весеннее половодье на большинстве рек территории прошло 2–3 волнами и на отметках ниже нормы. Высокие уровни воды наблюдались, в основном, при образовании мощных и продолжительных заторов льда в хвосте многоочаговых осенних заторов. В первой половине июня в ходе уровней воды на всех реках области преобладала общая тенденция к спаду. На р. Северная Двина минимальные уровни наблюдались в последней пятидневке июня и по своим значениям были ниже нормы на 20–40 см.

Наиболее низкие значения уровня воды в период весеннего половодья в р. Северная Двина у с. Усть-Пинега были отмечены в июне, а в районе р.п. Соломбала (г. Архангельск) – в апреле 2007 г. (таблица). Максимальные уровни на обоих постах наблюдений зарегистрированы в апреле 2007 г. В период с апреля по июнь минерализация воды в р. Северная Двина у с. Усть-Пинега изменялась от малой (62,4 мг/л, май) до средней (406,4 мг/л, апрель), в районе р.п. Соломбала вода в течение всего описываемого периода была маломинерализованной – 59,7–185,4 мг/л. По величине жесткости вода реки в описываемых пунктах контроля характеризовалась как очень мягкая и мягкая (0,71–2,27 ммоль/дм³-экв), в апреле у с. Усть-Пинега – умеренно жесткой (5,15 ммоль/дм³-экв). Цветность воды в период весеннего половодья варьировала в диапазоне 64° (апрель, с. Усть-Пинега) – 243° (май, р.п. Соломбала). Наиболее низкие концентрации взвешенных веществ 2,6 мг/л зарегистрированы на подъеме весеннего половодья у с. Усть-Пинега, максимальная концентрация определена на пике весеннего половодья в районе р.п. Соломбала и достигала 31,1 мг/л (рис. 1, 2).

Таблица. Распределение уровней воды в устьевой области
р. Северная Двина *
С. Усть-Пинега

	Средне- месячный, см	Максимальный за месяц, см	Минимальный за месяц, см
Апрель	394/53	713	187
Май	422/421	540	240
Июнь	129/158	246	41

Р.п. Соломбала

	Средне- месячный, см	Максимальный за месяц, см	Минимальный за месяц, см
Апрель	120/97	267	34
Май	139/169	215	79
Июнь	117/114	207	56

* Через косую черту приведены среднемультилетние данные

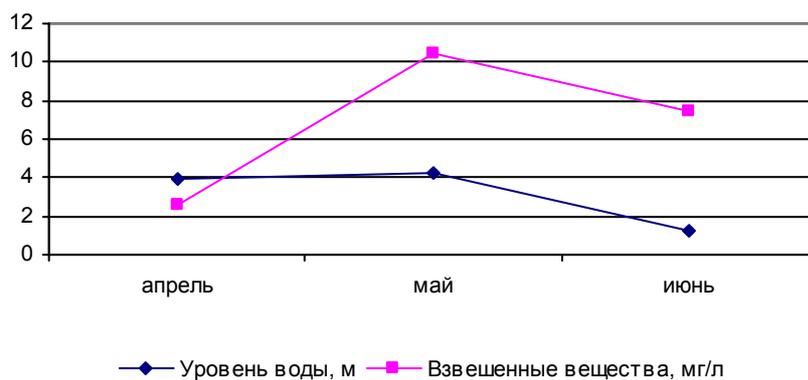


Рис.1. Изменение уровня воды и концентраций взвешенных веществ в воде р. Северная Двина у с. Усть-Пинега

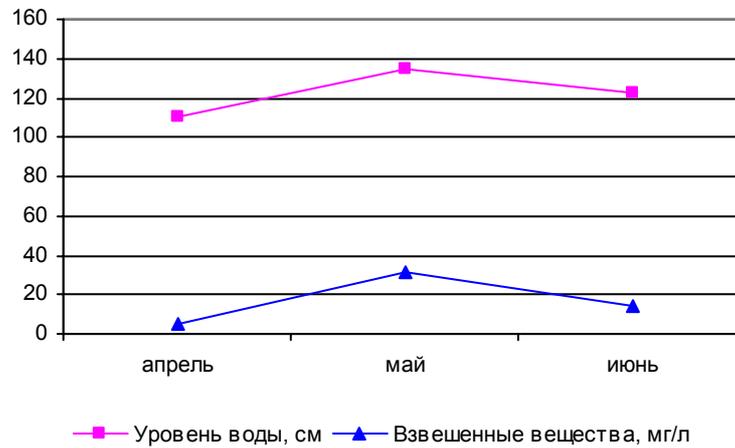


Рис. 2 Изменение уровня воды и концентраций взвешенных веществ в воде р. Северная Двина, р.п. Соломбала

Spring flood of 2007 in the Northern Dvina mouth zone was characterized by relatively low water level and concentrations of suspended particulate matter. The maximal water levels of spring 2007 flood both at Ust'-Pinega and Solombala (Arkhangelsk) were registered in April.

И.А. Немировская

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

**Природные и антропогенные углеводороды в экосистеме
Белого моря**

I.A. Nemirovskaya

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Natural and anthropogenic hydrocarbons in the ecosystem
of the White Sea**

При исследовании Белого моря в рамках программы «Система Белого моря», проводимой под руководством академика А.П.Лисицына, отмечается насущная необходимость изучения вещества всех геосфер. Такого рода системный количественный многофакторный подход исключительно важен для объективного суждения о ходе природных процессов во всех их сложных взаимосвязях. Для углеводородов (УВ), соединений природного и антропогенного происхождения эти исследования особенно актуальны, так как природные УВ в составе липидной фракции относятся к постоянным компонентам органического вещества (ОВ) всех сфер. Нефтяные УВ, попадающие в водную среду естественных водоемов очень скоро распределяются по различным формам миграции. Для определения уровней и происхождения углеводородов (алифатических – АУВ и полициклических ароматических – ПАУ) проведено их изучение в воде, в фильтрационных и сепарационных взвесах, в сестоне и донных осадках в сопоставлении с содержанием липидов и $C_{орг.}$ в этих объектах. Многолетние исследования (2001–2006 гг.), показали, что УВ поступают в Двинский залив преимущественно во взвешенной форме, особенно во время паводка. Их концентрации в водах Северной Двины во время паводка 2006 г. изменялись от 192 до 565 мкг/л во взвешенной форме ($AУВ_v$) и от 12,3 до 153 мкг/л в растворенной ($AУВ_p$). Эти величины значительно выше содержания АУВ в водах Северной Двины во время летней межени. Согласно данным августа 2006 г.: концентрации $AУВ_v$ не превышали 134, $AУВ_p$ – 51 мкг/л. Поэтому и в осадках эстуария Северной Двины во время паводка концентрации УВ оказались сопоставимыми с их величинами в осадках наиболее загрязненных припортовых акваториях: АУВ – до 1552 мкг/г, до 74,5% в составе $C_{орг.}$ Во время паводка при максимальных значениях водного стока, взвешенных и растворенных веществ в донные осадки попадают загрязнения за счет таяния снежно-ледяного покрова и смыва их с берега. Кроме того, при низких температурах разложение нефтяных и пирогенных УВ происходит медленнее. Их трансформация осуществляется, в основном, за счет выветривания. Поэтому состав *n*-алканов соответствовал выветренным нефтяным УВ. При массивном поступлении нефтепродуктов роль гранулометрического фактора снижалась из-за локального поступления в донные осадки нефтяных УВ. Однако при осреднении результатов для от-

дельных районов эстуария Северной Двины величины $C_{орг}$ и АУВ изменялись синхронно: $r = 0,72$. Это указывает на сходный характер поступления в донные осадки природных и антропогенных соединений, а также о быстрой трансформации нефтяных УВ. При меньшем паводке (весна 2006 г.) содержание АУВ в донных осадках не превышало 311 мкг/г (5,12% от $C_{орг}$), и в составе алканов доминировали терригенные гомологи. Это может свидетельствовать о быстрой трансформации нефтяных УВ даже в поверхностном слое донных осадков.

Во время летней межени изменчивость содержания УВ от года к году в области Северная Двина – Двинский залив обусловлена не только изменением стока реки и приливными явлениями, но и интенсификацией промышленной деятельности в акватории п. Архангельск. Сравнение данных, полученных в этом районе в воде и фильтрационных взвесьях в разные годы, показало, что самые низкие концентрации установлены в августе 2001 г. (для АУВ_в в среднем – 29,2 мкг/л), а максимальные – в 2006 г. для АУВ_в – 134 мкг/л. Скорее всего, увеличение грузооборота нефтеналивного флота в последние годы (с 94600 т в 1998 г. до 3136111 т в 2006 г.) привело к росту концентраций липидов и АУВ в поверхностных водах. Это заключение подтверждает также повышенная доля АУВ (в среднем 71%) в составе липидов. Несмотря на разницу в межгодовых концентрациях в зоне река-море четко фиксируются три области маргинального фильтра: гравитационная, физико-химическая и биологическая. После прохождения маргинального фильтра содержание АУВ_р и АУВ_в соответствует их уровню в шельфовых водах – 20 мкг/л. В поверхностных водах Белого моря содержание АУВ_р незначительно отличалось от концентраций, установленных нами в других арктических морях. Однако их величины были выше, чем в открытых водах СЛО и в водах Баренцева моря. В морях высоких широт наиболее высокие концентрации АУВ_р приурочены к местам добычи нефти (шельф Северного моря, Печорское море, шельф о. Сахалин) и областям с повышенной продуктивностью (Берингово море).

В пробах сепарационной взвеси и сестона наблюдалась значительная вариабельность в концентрациях органических соединений, и отсутствие связи между распределением УВ во взвесьях, $C_{орг}$ и липидами. Определяющим фактором сорбции УВ взвесьями является работа биосистемы планктона (перевод растворенных форм УВ во взвесь фитопланктоном) и далее фильтрация взвеси и превращение ее в крупные пеллеты зоопланктоном. При этом изменяется состав УВ за счет лабильных биогенных и антропогенных соединений. Поэтому, несмотря на гидрофобность УВ, нефтяные алканы были обнаружены только в растворенной форме в речных водах Северной Двины (гравитационная область маргинального фильтра).

Содержание УВ в сепарационных взвесьях и в сестоне в устье Северной Двины оказалось ниже, чем в открытых водах Белого моря. Обусловлено это, скорее всего, тем, что под действием химических и биохимических процессов, происходит деградация УВ, приводящая к увеличению смоли-

стых компонентов. Поэтому в районе с постоянными нефтяными поступлениями концентрации АУВ зачастую ниже, чем на мористых станциях. В тоже время, в составе липидов взвеси Двинского залива концентрации УВ повышены. Состав АУВ в крупных взвесах (сепарационной и сестоне) различался и кардинально отличался от воды и фильтрационной взвеси. Алканы фильтрационной взвеси близки к растворенным алканам. В сепарационной взвеси алканы имели бимодальное распределение гомологов с максимумом в низкомолекулярной области при $n-C_{18}$ – доминирующий гомолог зоопланктона. В высокомолекулярной области преобладали нечетные алканы (значения СРІ увеличивается до 4.1), что характерно для терригенного ОВ, и типично для прибрежных макрофитов и травянистых растений. Напротив, в сестоне терригенные гомологи имели подчиненное значение. Величины СРІ изменялись в интервале 1.1–1.3. В их составе преобладали биогенные автохтонные соединения, с максимумом при $n-C_{18}$. По мере сорбции и осаждения лабильные УВ биогенной взвеси трансформируются. В результате автохтонные и нефтяные компоненты, практически, не достигают дна и в донных осадках доминируют аллохтонные соединения. По содержанию ПАУ в поверхностном слое, осадки можно отнести к слабо загрязненным, так как сумма 3-6 кольчатых полиаренов в основном < 100 нг/г: средние концентрации в илистых донных осадках – 97,4, в песчаных – 30 нг/г. Однако при максимальной концентрации ПАУ (236 нг/г) маркеры в их составе указывали на незначительное загрязнение. Последнее свидетельствует о том, что суммарная концентрация не может служить мерой загрязненности осадков.

В кутовой части Двинского залива в физико-химической области маргинального фильтра, в зоне лавинной седиментации в осадки переходит основное количество нефтяных и пирогенных УВ. Геохимический барьер р. Северная Двина – Белое море служит фильтром, в котором осаждаются антропогенные УВ. Поэтому в открытые районы Белого моря во всех объектах доминировали природные УВ. Это явление характерно для маргинальных фильтров других рек (Волги, Даугавы, Дуная и др.), т.е. проявляется вне зависимости от климатических зон.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (06-05-64815а; 06-05-96016а р-восток); Программы № 17 (6.4) фундаментальных исследований Президиума РАН, гранта Президента РФ (НШ-2236.2006.5); проекта «Наночастицы во внутренних и внешних сферах Земли».

Data of the content and composition of aliphatic (AHC) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in water, particulate matter (different sizes), seston and bottom sediments of various region of the White Sea are presented. It was shown, that anthropogenic hydrocarbons (petroleum and pyrogenic) could not pass marginal filter of Dvina River and have not further spreading in open part of the sea. Therefore natural compounds prevail in the composition of hydrocarbons in every examined object.

Е.С. Пржиялговский, А.С. Балувев, Е.Н. Терехов

(Геологический институт РАН, Москва, e-mail: prz4@yandex.ru)

Пострифейская пропация Онежско-Кандалакшского палеорифта

E.S.Przhiyalgovsky, A.S.Baluev, E.N.Terekhov

(Geological Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: prz4@yandex.ru)

Onega-Kandalaksha Rift Propagation later on Riphean

Мощность рифейских осадочных отложений в центральных частях Кандалакшского залива Белого моря чрезвычайно изменчива, достигая в центральных, наиболее глубоких частях залива нескольких километров и практически выклиниваясь на побережье. Тесная связь морфологии рифейских грабен и современных трогов, выраженных ступенями морского дна, иногда приводит к необоснованным выводам о полной унаследованности рифейских рифтогенных структур неотектоническими. В частности, до последнего времени предполагалось распространение рифейских осадков в заливе Порья Губа и наиболее погруженных частях Кандалакшской Губы [1].

Проведенные ранее исследования на отдельных участках Терского берега [2, 3] и новые данные, полученные при изучении геологии островов и побережья Белого моря в районе залива Порья Губа и на островах Средние Луды, позволили выявить заметные отличия систем разломов, возникших в процессе рифейского рифтогенеза, и более поздних, частично наследующих рифейские. Главные рифтогенные разломы в акватории Белого моря протягиваются по участкам наибольших градиентов мощностей рифейских отложений и контролируют положение рифтов северо-западного простирания, объединяемых в Беломорскую рифтовую систему [3]. Кандалакшский грабен является обособленной северо-западной частью Онежско-Кандалакшского палеорифта и ограничен крупными разломами с северо-востока и юго-запада. Как и большинство рифтогенных структур грабен отчетливо асимметричен – его Карельский борт обрывается более круто несколькими сбросовыми ступенями. Эта же бортовая зона является и западным ограничением грабена, резко изгибаясь до субмеридионального простирания вдоль выраженной в рельефе дна ступени островов Средних Луд, на которых обнажаются анортозиты комплекса фундамента.

Важно отметить, что изменение ориентировки разломов юго-западного борта почти на меридиональное при одной и той же ориентировке векторов тектонических напряжений сопровождается сменой кинематики смещений от сбросовых на сдвиго-сбросовые (правосторонние), что объясняет раскрытие грабена только восточнее ступени Средних Луд и его резкое замыкание в сторону залива Порья Губа. Амплитуду подвижек по разлому западного ограничения грабена можно оценить по видимому правостороннему смещению пластообразного тела анортозитов более чем на 10 км, обнажаю-

щихся почти без смены простирания, как на Средних Лудах, так и на берегу в западной части Порьей Губы. Пологое падение тела анортозитов на северо-восток не дает возможность точно определить амплитуды вертикальной и горизонтальной составляющих смещения по этой разломной зоне, однако в любом случае суммарное смещение оценивается несколькими километрами.

Рифтовый режим в данном регионе сохранялся до конца рифея, сменившись обширными трансгрессиями в венде, для нижней части разреза которого лишь кое-где отмечаются конседиментационные малоамплитудные сбросы [4]. Среднепалеозойская активизация рифтогенных структур сопровождалась проявлением внутриплитного магматизма в различных его формах – в виде массивов центрального типа, даек и трубок взрыва. Благоприятными для внедрения даек оказываются участки наибольшей контрастности палеонапряжений – прежде всего в области замыкания рифейского грабена. Новые находки палеозойских даек на островах Средние Луды подтверждают эту закономерность.

Другое обширное поле палеозойских даек располагается вблизи г. Кандалакша в самом конце новейшего трога – Кандалакшской Губы. Магматическая деятельность этого района контролируется системой разломов – сдвигов, возникших на продолжении рифейского рифта и кольцевых разломов на их окончании. Общая система разрывных структур отчетливо дешифрируется на космоснимках и является типичной для структур, возникающих в вершине растущих сдвигов любого ранга. Область в вершине нового трога, возникшего как структура пропагации более раннего рифейского рифта, характеризовалась еще более контрастными тектоническими напряжениями и, судя по датированным дайкам различного состава и ориентации, сохраняла повышенную проницаемость для внедрения расплавов по раскрывающимся трещинам в течение всего палеозоя [5]. Небольшие девонские массивы центрального типа контролируются в этом районе концентрическими кольцевыми разломами на окончании новообразованной сдвиговой зоны.

Возникшая в палеозое сдвиговая зона на неотектоническом этапе активизировалась уже совместно с рифейскими структурами, сформировав современную систему рифтогенных трогов и ступеней, выраженных в рельефе дна Кандалакшского залива. Гряда Средних Луд на новейшем этапе рифтогенеза играла роль не окончания трога, а перемычки (зоны аккомодации) между двумя разнонаклоненными трогами.

Таким образом, активизация рифейского Онежско-Кандалакшского рифта и его пропагация на северо-запад происходила в несколько этапов. С начала раннего палеозоя вдоль крутопадающих рифтогенных разломов северо-западного простирания в условиях преобладающего сжатия происходят левосторонние сдвиговые смещения, сопровождающиеся образованием карбонатных и кварцевых жил по сопряженным сколовым трещинам. В это же время, также в виде левостороннего сдвига, заложилась зона пропагации рифейского грабена до конца современного Кандалакшского залива, где от-

мечаются раннепалеозойского проявления дайкового магматизма. В девоне трансенсивные зоны с дайковыми полями возникают и на других участках, тяготея также к пересечениям и изгибам главных разломов. Неотектоническая активизация разломов происходила в режиме трансенсии, с образованием современной рифтогенной троговой впадины Кандалакшской Губы, отделенной от остальной части залива зоной аккомодации – грядой Средних Луд.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-05-64848, программы ОНЗ РАН № 14 и НШ-748.2006.5.

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист Q-(35)-37 Кировск. СПб.: Издательство СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2004.

2. *Васильева Т.И., Пржиялговский Е.С.* Эволюция полей напряжений в районе Порьегубского дайкового поля (Кандалакшский залив Белого моря) // Геотектоника. 2006. № 1. С. 63–75.

3. *Балуев А.С.* Геодинамика рифейского этапа эволюции северной пассивной окраины Восточно-Европейского кратона // Геотектоника. 2006. № 3. С. 23–38.

4. *Казанин Г.С., Журавлев В.А., Павлов С.П.* Структура осадочного чехла и перспективы нефтегазоносности Белого моря // Бурение и нефть. 2006. № 2. С. 26–28.

5. *Баянова Т.Б.* Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 2004. 174 с.

Recent data on the distribution of Riphean sedimentary sequences in the Kandalaksha bay evidence the sharp closing of the Kandalaksha paleorift along the line Poria Guba bay islands Srednie Ludy in the Riphean. The rift propagation to the north-west direction took place during several stages. It is confirmed by the character of the Paleozoic dyke localization in the ends of the grow thing grabens and by neotectonic activity of the region.

И.Г. Радченко, Л.В. Ильяш

(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
e-mail: IraRadchenko@yandex.ru)

**Вариабельность видового состава и обилия фитопланктона
Белого моря в поздне-летний период**

I.G. Radchenko, L.V. Ilyash

(Moscow State University)

**Variability of Species Composition and Abundance
of the White Sea Phytoplankton in Late Summer**

Пространственные съемки акватории Белого моря немногочисленны и охватывают период с июня до середины августа [1]. Сведения о распределении фитопланктона в более поздние сроки до настоящего времени отсутствуют. В настоящей работе представлены результаты исследования вариабельности видового состава и структуры фитопланктона во второй половине августа.

Материалом для работы послужили пробы фитопланктона, отобранные на 20 станциях в Двинском, Кандалакшском заливах и в Бассейне Белого моря в августе 2004 г. в ходе 64 рейса НИС «Профессор Штокман» (таблица). Поверхностную пробу воды (1,4 л) концентрировали методом обратной фильтрации (диаметр пор 2 мкм) и фиксировали раствором Люголя. Фитопланктон просчитывали под микроскопом в камере типа Нажотта. Объемы клеток определяли методом геометрического подобия с последующим переводом в единицы углерода.

Идентифицировано 77 видов, среди которых преобладают динофитовые (37 видов) и диатомовые (34 вида) водоросли. Только в Двинском заливе встречено 3 вида цианобактерий и по одному виду золотистых (*Dinobryon* sp.), диктиоховых (*Dictyocha speculum*) и зеленых (*Scenedesmus* sp.) водорослей. Как и в другие периоды сезонного развития [2] среди водорослей преобладали виды-космополиты. Доля неритических видов (59%) была выше таковой панталасных (29%) и океанических (2%). Доля пресноводных видов была невелика и даже в вершине Двинского залива не превышала 2%.

Видовой состав и обилие фитопланктона существенно различались по акватории моря (табл.). Наибольшим видовым богатством характеризовались воды Бассейна (31 вид), наименьшее число водорослей обнаружено в центре Кандалакшского залива (7 видов).

Суммарная численность (N) варьировала в большей степени, чем видовое богатство и суммарная биомасса (B). Высокие значения N были обусловлены массовым развитием мелкой (2 x 15 мкм) неидентифицированной водоросли (98% от N и 17% от B , ст. 9), *Skeletonema*

Средняя B для всей исследованной акватории составила 35 мкг С/л. Наименьшая вариабельность B характерна для Кандалакшского залива, наиболь-

Таблица

Число видов, суммарная численность (*N*) и суммарная биомасса (*B*) фитопланктона, а также первые два по обилию вида водорослей с их вкладом в *B* в разных районах Белого моря в августе 2004 г. Условные обозначения: Din – *Dinophysis norvegica*, Cf – *Ceratium fusus*, Dbr – *Ditylum brightwellii*, Chc – *Chaetoceros constrictus*, Tsp – *Thalassiosira* sp., Sc – *Skeletonema costatum*.

станция	Координаты		Дата (август 2004 г.)	Число видов	<i>N</i> , тыс. кл/л	<i>B</i> , мкг С/л	Первые два по обилию вида и их вклад в <i>B</i> (%)
	с.ш.	в.д.					
Кандалакшский залив							
5	66°11.17'	35°16.62'	18	14	11	17	Din (50), Cf (46)
6	66°32.62'	33°45.75'	19	12	9	17	Din (61), Cf (32)
7	66°37.61'	33°40.28'	19	7	9	17	Din (53), Cf (36)
8	66°28.01'	34°07.32'	19	13	26	48	Din (76), Cf (16)
9	66°23.76'	34°26.41'	20	15	1089	51	Din (40), Cf (31)
Средние значения				12	229	30	
Коэффициент вариации, CV				26	210	60	
Бассейн							
3	65°30.	37°50.	17	13	17	16	Dbr (34), Cf (27)
4	65°48.36'	36°48.81'	18	24	394	105	Dbr (29), Chc (14)
10	65°32.77'	36°07.85'	21	26	23	20	Din (32), Cf (18)
11	65°34.	36°12.	21	19	19	30	Din (47), Cf (34)
12	65°53.45'	36°40.94'	21	15	7	11	Cf (45), Din (12)
13	66°02.	36°07.	22	18	71	34	Din (28), Cf (21)
15	66°03.38'	36°55.30'	22	22	71	50	Cf (26), Din (21)
20	65°54.11'	38°14.77'	24	19	34	15	Dbr (30), Din (17)
21	66°00.22'	38°17.16'	24	31	25	12	Dbr (30), Din (17)
Средние значения				21	73	33	
Коэффициент вариации, CV				27	167	91	
Двинский залив							
2	65°15.50'	38°53.19'	17	15	138	18	Dbr (28), Tsp (17)
25	65°22.94'	38°37.48'	25	24	43	32	Dbr (29), Din (23)
26	65°16.05'	38°15.35'	26	21	29	20	Cf (22), Tsp (20)
27	65°02.38'	37°59.05'	26	24	54	24	Tsp (25), Dbr (17)
36	64°48.92'	39°51.26'	28	20	651	52	Dbr (36), Sc (35)
40	65°11.32'	39°04.40'	28	23	92	102	Dbr (78), Din (6)
Средние значения				21	168	41	
Коэффициент вариации, CV				16	143	78	

costatum (57% от *N* и 35% от *B*, ст. 36), *Chaetoceros radicans* и *C. constrictus* (34 и 24% от *N* и 11 и 14% от *B*, соответственно, ст. 4).

шая – для Бассейна. На двух близлежащих станциях в центре Бассейна (ст. 4 и 12) значения *B* различались на порядок. Хотя средние значения *B* в Двинском заливе выше, чем в Кандалакшском и Бассейне, однако эти различия не достоверны. Высокое обилие водорослей отмечено в центральных частях Бассейна и Двинского залива.

Наибольший вклад в *B* давали водоросли *Ditylum brightwellii*, *Dinophysis norvegica*, *Ceratium fusus* и *Thalassiosira* sp. Диатомея *D. brightwellii* доминировала только в Двинском заливе и в прилегающем к нему районе Бассейна. Динофитовая водоросль *D. norvegica* преобладала в Кандалакшском заливе и в прилегающем к нему районе Бассейна. Следует отметить, что *D. norvegica* и *C. fusus* присутствовали на всей исследованной акватории, за исключением устья Двинского залива.

Обилие фитопланктона в третьей декаде августа 2004 г. было более чем в 6–7 раз выше такового во второй декаде августа 1988 г., и примерно в два раза выше, чем во второй декаде августа 1989 г. [3]. Видовое богатство фитопланктона отдельных районов моря существенно не отличалось от такового в 1988–1989 гг., во многом совпадал и состав доминирующих видов. Так водоросль *D. norvegica* преобладала на большей части акватории Кандалакшского залива и Бассейна и в 1988–1989 гг. Различия в суммарном обилии могут быть обусловлены как сезонной динамикой фитопланктона (увеличением биомассы к концу августа), так и межгодовой вариабельностью.

1. Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. Фитопланктон Белого моря. М.: Янус-К, 2003. 168 с.

2. Семина Г.И., Сергеева О.М. Планктонная флора и биогеографическая характеристика фитопланктона Белого моря // Экология и физиология животных и растений Белого моря. М., 1983. С. 3–17.

3. Ильяш Л.В., Кольцова Т.И., Федоров В.Д. Пространственное распределение фитопланктона Белого моря в летний период // Вестник Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. 2002. № 4. С. 34–41.

Phytoplankton were studied in the Kandalaksha Bay, Dvinsky Bay and Basin of the White Sea in August 2004. The algae abundance came to $7 \cdot 10^3 - 1089 \cdot 10^3$ cells/l, and $11 \cdot 10^{-3} - 105 \cdot 10^{-3}$ mg C/l. Diatom *Ditylum brightwellii* dominated on biomass in the Dvinsky Bay and neighboring region of the Basin, dinophyte *Dinophysis norvegica* – in the Kandalaksha Bay and some region of the Basin.

**А.Ф. Сажин¹, Т.Н. Ратькова¹, В.П. Шевченко¹,
Н.Д. Романова²**

(¹Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, e-mail: asazhin@com2com.ru;
²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Биологический факультет)

Население весеннего льда Белого моря в устьевой зоне Северной Двины

**A.F. Sazhin¹, T.N. Rat'kova¹, V.P. Shevchenko¹,
N.D. Romanova²**

(¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow;
²Biological Department of Moscow State University)

Inhabitants of the White Sea spring ice in the Northern Dvina mouth zone

Научный интерес к биологической компоненте морского льда, то есть важнейшей и постоянной его составляющей, растет год от года. Уже опубликованы десятки исследований, касающиеся самых разных аспектов структуры и функционирования ледовой биоты, тем не менее, ряд водоемов, в том числе и Белое море, остаются в этом отношении малоизученными. Особый интерес представляют районы, где морской лед формируется под влиянием речного стока. В настоящий момент для Белого моря существует только одна работа, специально посвященная структуре льда и его обитателям в зоне взаимодействия река-море [1]. Поэтому получение подробных сведений о населении льда, находящегося под влиянием самой крупной реки выпадающей в Белое море – Северной Двины, и было нашей задачей.

Для учета населяющих лед организмов 5–6 марта 2007 г. в устьевой зоне Северной Двины около южной оконечности о. Мудьюгский на станциях 8 (64°50,78' с.ш., 40°16,50' в.д., глубина моря 10 м) и 9 (64°50,95' с.ш., 40°17,10' в.д., глубина моря 1 м) при помощи титанового бура с диаметром режущего кольца 14 см были отобраны пробы снега (10-см слой) и керны льда. Керны были разделены на 2 части: **верхняя**, образованная мутным, матовым льдом снежного генезиса (0–39 см на ст. 8 и 0–26 см на ст. 9) и **нижняя**, образованная кристаллическим льдом водного генезиса (39–48 см на ст. 8 и 26–36 см на ст. 9). На ст. 8 верхняя часть керна была дополнительно разделена на 2 подпробы: верхняя – относительно «чистая» и нижняя – с большим количеством взвеси.

Лед растапливали в помещении при температуре воздуха 4–8°C в течение суток (температура пробы при этом не превышала 1°C). Для учета бактерий пробы объемом 20 мл фиксировали 1% раствором формалина с последующим окрашиванием флуорохромом DAPI. Для учета нано- и микропланктона 200 мл воды окрашивали флуорохромом примулином, фиксировали 3,6% раствором глутарового диальдегида и уже в Москве осаждали на

черные ядерные фильтры с диаметром пор 0,4 мкм. Препараты, а также концентрат из проб просматривали под микроскопом ЛЮМАМ-Р8 при увеличении $\times 400$ – 2500 . Обработка концентрата проб проводилась в камерах Ножотта (объем 0,06 мл) и Наумана (объем 0,8 мл). Объем клеток бактерий, водорослей, простейших и других представителей ледовой флоры и фауны рассчитывали, исходя из объема соответствующих стереометрических фигур. Биомасса организмов в углеродном эквиваленте была пересчитана исходя из их объемов. Более подробно методика описана в работе [2].

Концентрация бактериопланктона в снеге и во льду снежного генезиса составляла 261–356 тысяч клеток в 1 мл (10 – 30 мг С в 1 м³). Бактерии были относительно крупные, средний объем клеток варьировал в диапазоне $0,159$ – $0,374$ мкм³. Значительная часть бактерий находилась на частичках взвеси. Практически в равных долях встречались палочки (48–55%) и кокки (45–52%). Во льду водного генезиса (нижняя часть керна) концентрация бактериопланктона в одном случае была выше (463 тыс. кл/мл), в другом, ниже (121 тыс. кл/мл), чем в поверхностных слоях льда. Биомасса микроорганизмов, соответственно, менялась от 3 до 34 мг С в 1 м³. Средний объем клеток бактерий в разных кернах составлял $0,088$ – $0,316$ мкм³. Палочки и кокки варьировали в пределах 39–64% и 36–61%, соответственно, от суммарной численности бактерий.

Снег был заселен преимущественно кокколитофоридами и диатомеями при доминировании, соответственно, *Emiliana huxleyi* (103 тыс. кл/л или $6,2$ мгС/м³) и *Chaetoceros socialis* (11 тыс. кл/л или $0,64$ мгС/м³). Во льду снежного генезиса, безусловно, преобладали диатомовые водоросли (25–106 тыс. кл/л или $3,5$ – $25,3$ мг С/м³). Среди них наиболее массовыми были *Fossula arctica*, *Nitzschia frigida*, *Melosira arctica*, *Navicula* spp. Лед водного генезиса также был заселен практически исключительно диатомеями (51–272 тыс. кл/л или $15,7$ – $45,6$ мгС/м³). Наибольшего обилия достигали *Navicula* spp., постоянно встречались в пробах *Pauliella taeniata*, *Cyclotella* spp., *Fragillariopsis oceanica*, *Nitzschia frigida*, *Enthomoneis* spp.

Весенний лед устьевой зоны Северной Двины по своему строению и составу населяющих его доминирующих организмов существенно отличается от типичных беломорских ледовых биотопов вне зоны воздействия пресноводного стока. Свое влияние оказал и мощный паводок в теплом декабре 2006 г., когда речные воды растекались сверху по льду и, смешиваясь со снегом, в конечном итоге, формировали новые слои льда снежного генезиса. Вместе с речной водой поступало большое количество взвеси самого разного происхождения (о чем свидетельствуют экспериментальные данные) и сине-зеленых нитчатых водорослей, типичных для устьев рек и не характерных для льдов в открытых районах моря. Нитчатки *Anabaena* sp. и *Oscillatoria* sp. в пробах льда из устьевой зоны Северной Двины встречаются постоянно. С другой стороны, населяющие снег и верхние слои льда открытых районов, автотрофные жгутиковые (*Chlamydomonas* sp. и др.) край-

не редки. Немногочисленны и гетеротрофные представители жгутиковых форм, в том числе, и перединиевые водоросли. Инфузории и другие простейшие также крайне малочисленны, в пробах в основном встречаются домики тинтиннид. Нематоды, как правило, населяющие нижние слои льда водного генезиса, были немногочисленны и встречались, исключительно, в снеге и во льду снежного происхождения (25–1138 экз/л или 0,01–0,4 мгС/м³). Типичное для Белого моря весеннее «цветение» *Nitzschia frigida* на нижней поверхности льда отсутствовало, хотя именно в этой точке наблюдалось, например, в конце марта 2005 г. [3]. Весной 2007 г. массовое развитие *Nitzschia frigida* происходило во льду снежного генезиса, который был образован при участии речных вод, обогащенных взвесью органической и неорганической природы.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 07-05-00294 и 07-05-00691. Авторы признательны А.Ю. Богунову и М.В. Стойкину за помощь в проведении полевых работ.

1. Мельников И.А., Дикарев С.Н., Егоров В.Г., Колосова Е.Г., Житина Л.С. Структура прибрежной экосистемы льда в зоне взаимодействия река–море // Океанология. 2005. Т. 45. № 4. С. 542–550.

2. Сажин А.Ф., Ратькова Т.Н., Кособокова К.Н. Население прибрежного льда Белого моря в ранне-весенний период // Океанология. 2004. Т. 44. № 1. С. 92–100.

3. Шевченко В.П., Коробов А.Б. Экологическая ситуация в дельте реки Северная Двина в марте 2005 года // Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия «Прикладная геоэкология». Вып. 66. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. С. 176–187.

Detailed data of the sea-ice inhabitants of the White Sea in the Northern Dvina mouth zone in spring were obtained. Samples were collected after mighty flood in December, 2006. This flood exerts influence on structure of ice-community from bacteria, algae and other protists to nematodes. The sea-ice structures and ice dominating inhabitants were vastly differing from typical White Sea ice biotopes out of impact by river flow.

**В.М. Сорокин¹, М.Ю. Токарев¹, А.В. Старовойтов¹,
А.Н. Головкин¹, Г.В. Баскакова¹, М.Л. Чернышова¹,
В.Л. Лукша¹, А.Л. Мурашка¹, В.О. Мокиевский²**

(¹Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
e-mail: sorokin@geol.msu.ru; ²Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН)

**Строение и состав четвертичных отложений губы Нильма,
Белое море**

**V.M. Sorokin¹, M.J. Tokarev¹, A.V. Starovoytov¹,
A.N. Golovko¹, G.V. Baskakova¹, M.L. Chernishova¹,
V.L. Luksha¹, A.L. Murashka¹, V.O. Mokievsky²**

(¹Geology faculty of Moscow State University, Moscow;
²Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

**Structure and composition of the quaternary sediments
in the Nilma bay, the White Sea**

Проведены комплексные исследования мелководного шхерного участка Кандалакшского залива Белого моря в районе губы Нильма и пролива Великая Салма. Они включали высокоразрешающее сейсмоакустическое профилирование, изучение поверхности дна гидролокатором бокового обзора, эхолотированием, видеонаблюдением и пробоотбор осадков.

1. В строении дна выделено 4 сейсмоакустических комплекса. Нижний представляет собой акустический фундамент с расчлененной эрозионной поверхностью, сложенный архейскими породами, обнажающимися на окружающей суше. Он перекрыт моренными отложениями с типичным видом сейсмической записи, локальным распространением и изменчивой мощностью в несколько м. Третий снизу комплекс отличается слоистым строением, несогласным залеганием и максимальной мощностью до 10–15 м. В последнем случае в нем по характеру записи выделяется до 2 горизонтов. В пределах третьего комплекса, скорее всего, происходит последовательный переход водно-ледниковых (?) образований в ледниково-озерные (?) и озерно-морские (?). Самый верхний комплекс перекрывает с несогласием нижележащие отложения и отнесен к голоценовым морским осадкам, мощность которых не превышает 1–2 м.

2. Современный рельеф дна имеет сложное тектоническое и эрозионное ледниковое происхождение, сглаженное процессами осадконакопления, и характеризуется значительным расчленением. Размах глубин в г. Нильма достигает 60 м, в проливе В.Салма – более 100 м. В рельефе дна выделяются относительно выровненные глубоководные участки, наблюдаются вытянутые грядобразные, изометрические и удлиненные поднятия и ложбины различных размеров, крутые островные склоны и прочее.

3. Поверхностные осадки изучены на глубину до 70 см дночерпателем и трубой ГОИН. Проведено визуальное и микроскопическое описание, вы-

полнен гранулометрический и минеральный анализ, определены некоторые физико-механические свойства и содержание $S_{\text{орг}}$. В соответствии с классификацией Р. Фолка построена карта терригенных по составу типов современных осадков (песчаных илов и алевритов, илистых песков и алевритов, песков) и рассмотрено их распространение по площади дна г. Нильма. Особенность гранулометрического состава осадков проявляется в низком содержании мелкоалевритовой и глинистой фракций, что отражает их подчиненную роль в питании бассейна и активную гидродинамику среды, и примеси материала брекчиевой и щебнистой размерности вследствие ледового разноса. Минеральный состав осадков определяется петрографическим составом архейских пород фундамента Балтийского щита. Его особенностью является аркозовый состав обломочного материала и хлорит-гидрослюдистый состав глинистого вещества. Изученные осадки отличаются высоким содержанием преимущественно детритного органического вещества (до 4% $S_{\text{орг}}$), наличием остатков диатомовых водорослей и крайне низким содержанием биогенного карбоната.

4. Видеонаблюдение дна дополнило литологические исследования и показало более сложный характер распространения донных осадков. В центральной части г. Нильма с наиболее тонкозернистыми осадками поверхность дна однородна и несет следы жизнедеятельности бентосных организмов, определяющих наличие мелкомасштабных неровностей рельефа. При переходе к краевым более мелководным участкам дна, где распространены песчаные осадки, на его поверхности возрастает количество крупнообломочного материала (щебень, глыбы), скоплений водорослей и т.д. На поверхности гряд и на глубинах менее 20 м дно покрыто обломками пород различного размера с песчаным наполнителем.

5. По результатам гидролокации дна составлена мозаика, представляющая собой карту панорамного акустического изображения дна. Совместная интерпретация данных ГЛБО, видеонаблюдений и литологических материалов позволила выделить ряд участков с особенностями акустической картины дна, определяемыми изменениями рельефа и состава осадков.

The complex geological-geophysical analysis of a floor in the Nilma bay of western coast of the Kandalaksha gulf of the White Sea is carried out. Particularities of a quarternary sedimentary sequence, a composition of modern sediments, relief and nature of a bottom surface are discovered.

В.М. Сорокин, Э.Р. Исламова

(Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, e-mail: sorokin@geol.msu.ru)

Осадки пролива Великая Салма (Белое море)

V.M. Sorokin, E.S. Islamova

(Geology faculty of Moscow State University, Moscow)

Sediments in the Grand Salma channel (The White Sea)

Изучены осадки литорали и дна пролива В.Салма (карельский берег Кандалакшского залива) в районе биостанции биологического факультета МГУ, отложившиеся в обстановке сильных приливно-отливных течений.

Ширина литорали составляет 20–30 м, максимальная высота приливов превышает 2 м. В строении литорали выделяется три зоны. Верхняя зона шириной 2–3 м представляет собой фактически пляж и состоит из крупно песчаным, дресвяным и мелким щебнистым материалом, сложно дифференцированным волновыми движениями. Средняя, наиболее пологая и широкая зона выполнена преимущественно песком с хаотично расположенными пятнами дресвы и щебенки. Здесь же находится значительное количество мелкого и среднего глыбового материала. Преимущественно в верхней и средней части наблюдаются мелкомасштабные волновые знаки ряби и борозды течений. Нижняя зона представляет собой нагромождение глыб разного размера, покрытых почти непрерывной полосой водорослевых матов. Между камнями расположен разный по размерности песок.

Максимальная глубина пролива достигает 20–25 м. В рельефе, сформированном приливно-отливными течениями, выделяются 1–2 параллельные берегу ложбины с максимальной глубиной и разделяющие их гряды с превышением 5–10 м. На поперечном профиле ниже уровня отлива до глубины 5–10 м залегают пески с большим количеством обломков пород разного размера, являющихся субстратом зарослей ламинарий, образующих на дне почти непрерывную полосу шириной несколько десятков м, особенно на островном склоне. Мористее, на склонах ложбин и на грядах, лежит более мелкий осадок, представленный песком, илом с большим количеством мелкого каменного материала, водорослей, губок, моллюсков и других организмов. Ложбины, в наибольшей степени подверженные действию течений, являются зоной не осаднения осадков. Здесь на дне располагаются скопления крупных (до 10–15 см) раковин моллюсков, часто обросших баянусами и водорослями, живой бесскелетный бентос, обломки пород и т.д.

В целом изученный район представляет собой своеобразную фациальную область, осадконакопление в которой определяется сочетанием активной приливно-отливной гидродинамики, низкой волновой деятельности, суровых климатических условий. Строение осадочной толщи обусловлено геологическими процессами, связанными с четвертичными ледниковыми событиями.

Investigated region represents peculiar facies area, sedimentation in which one is determined by combination of active tidal hydrodynamics, low wave action, severe climatic conditions. The constitution of sedimentary strata is conditioned by geological processes, bound with quaternary glacial events.

**Д.А. Субетто^{1,2}, В.П. Шевченко³, Т.В. Сапелко²,
Д.Д. Кузнецов², А.В. Лудикова², Н.Н. Андреева⁴,
Г.Д. Субетто⁵**

(¹РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, e-mail: subetto@mail.ru; ²Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург; ³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; ⁴Геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; ⁵Факультет географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета)

**История озер Соловецкого архипелага и изменения уровня
Белого моря в голоцене. Предварительные результаты
палеолимнологических исследований 2006 г.**

**D.A. Subetto^{1,2}, V.P. Shevchenko³, T.V. Sapelko²,
D.D. Kuznetsov², A.V. Ludikova², N.N. Andreeva⁴,
G.D. Subetto⁵**

(¹Russian State Pedagogical University, St.-Petersburg, Russia; ²Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russia; ³P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow; ⁴Geological Faculty of Moscow State University; ⁵Faculty of Geography and Geoecology of St.-Petersburg State University)

**History of Solovetsky Archipelago lakes and the White Sea
level in Holocene. Preliminary results of 2006 paleolimnological
studies**

В связи с тем, что вопрос изменения уровня моря и генезиса озёр Соловецкого архипелага на разных этапах геологического развития по-прежнему слабо изучен и актуален, были проведены комплексные палеолимнологические исследования озер в рамках проекта «Система Белого моря» (руководитель – академик А.П. Лисицын).

Целью данного исследования является реконструкция природно-климатических обстановок Соловецкого архипелага в голоцене, включая историю озер и уровня режима Белого моря по палеолимнологическим данным.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- провести рекогносцировочные исследования и выбрать озера для палеолимнологических работ;
- отобрать керны донных отложений;
- выполнить литостратиграфические, геохимические и микропалеонтологические исследования кернов донных отложений
- реконструировать этапы развития озер;
- проанализировать имеющиеся литературные данные об особенностях строения рельефа Соловецкого архипелага и провести натурные наблюдения;

- реконструировать этапы изменений уровня Белого моря и построить палеогеографические карты.

В рамках научных исследований, проводимых Институтом озероведения РАН (г. Санкт-Петербург), Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва) и Соловецким государственным историко-архитектурным и природным музеем-заповедником, с 5 по 17 августа 2006 г. были выполнены рекогносцировочные работы по изучению донных отложений озёр Соловецкого архипелага. Многие вопросы, касающиеся истории первоначального заселения и последующего хозяйственного освоения островов, а также климатических изменений в данном регионе на протяжении последнего ледникового периода могут быть значительно прояснены с помощью палеолимнологических данных. Подобные работы на озерах Соловецкого архипелага ранее не проводились.

На Соловецких островах по сведениям из различных источников насчитывается свыше 400 озёр. Для пилотных работ были выбраны 3 озера на Большом Соловецком острове, расположенные на разных абсолютных отметках:

- 1). Святое озеро, расположенное непосредственно в поселке Соловецкий и отделенное от Белого моря узким перешейком, на котором находится монастырь. Абсолютная отметка зеркала озера 8 м над уровнем моря, максимальная глубина 11 м. Озеро служит конечным резервуаром всей озерно-канальной системы Большого Соловецкого острова, в которую включено более 50 озёр центральной части острова и имеет зарегулированный сток в море. Керн донных осадков был выбурен в точке с координатами 65°01,5' с.ш., 35°43,5' в.д.

- 2). Исаковское озеро, расположенное на 3 м над уровнем моря и через систему озёр имеющее сток в Сосновую губу Белого моря (точка бурения 1 – 65°05,7' с.ш., 35°35,8' в.д.; точка бурения 2 – 65°05,7' с.ш., 35°36,3' в.д.).

- 3). Озеро Большое Корзино, расположенное в центральной возвышенной части острова (17 м над уровнем моря) и входящее в озерно-канальную систему Большого Соловецкого острова (точка бурения – 65°03',5 с.ш., 25°38,5' в.д.).

Проботбор осуществлялся с плота посредством торфяного бура (длина пробоотборной части 1 м, диаметр 5 и 7,5 см). Было отобрано в общей сложности 13 кернов донных отложений длиной 1 м.

Выполненные палеолимнологические исследования показали, что все изученные озера – оз. Святое, оз. Бол. Корзино и оз. Исаковское – заливались в прошлом морскими водами. Нижние пачки донных отложений представлены глинистыми алевритами, алевритовыми песками с включением раковин моллюсков. Диатомовый анализ этих отложений из оз. Исаковское показал, что в них содержатся створки морских диатомовых водорослей. Переходный горизонт от морских к озерным отложениям фиксируется появлением черных гидротроилитовых прослоев ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и появлением со-

ловатоводных и пресноводных ископаемых диатомей (разрез донных отложений оз. Исаковского). Озерные отложения представлены сапропелями (гиттией) бурого цвета небольшой мощности, увеличивающейся от оз. Исаковского к оз. Святому и оз. Бол. Корзино, что связано соответственно с более ранним возрастом изоляции озер. Озерные отложения оз. Исаковского богаты ископаемыми створками пресноводных диатомовых водорослей. По данным нивелирования террас [1] и по результатам датирования [2], а так же по изученным кернам донных осадков, были построены три оригинальных гипсометрических карты Соловецкого архипелага для временных срезов 7200–6800, 5500–5000 лет назад и в современную эпоху с очертаниями берегов.

В будущем планируется провести более широкомасштабные исследования с изучением донных отложений озер на разных уровнях отметках и выполнить детальное лито-, био- и хроностратиграфические исследования с обязательным радиоуглеродным датированием, что позволит выполнить детальную реконструкцию этапов смены морских условий осадконакопления озерными и, соответственно, установить точную хронологию колебаний уровня Белого моря в голоцене, а также выявить роль изостатического и эвстатического компонентов в колебании уровня.

Авторы признательны сотрудникам Соловецкого государственного историко-архитектурного и природного музея-заповедника и лично А.Н.Соболеву за оказанную техническую и организационную помощь и академику А.П. Лисицыну за поддержку. Исследования были проведены при поддержке Программы 17 Президиума РАН (проект 4.4), Отделения наук о Земле РАН (проект “Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли”) и грантов РФФИ №07-05-01115 и № 07-05-00192.

1. *Никишин Н.А.* Развитие рельефа Соловецкого архипелага в голоцене. Отчет за 1981 г., научная справка. 22 с.

2. *Кошечкин Б.И.* Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1979. 160 с.

Paleolimnological studies were carried out in August 2006 in 3 lakes on Bolshoy Solovetsky Island, the White Sea (Svyatoye, Isakovskoye and Bolshoye Korzino lakes). It has been shown that in the past lakes had sea water and later they were isolated from the sea and filled by fresh water.

Н.Н. Филатов

(Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск,
e-mail: nfilatov@nwpi.krc.karelia.ru)

Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных изменений

N.N. Filatov

(Northern Water Problems Institute, RAS, Petrozavodsk)

The White Sea and their watershed under influences of climate and anthropogenic impact

В основу исследований по изучению Белого моря и водосбора положены работы ИВПС КарНЦ РАН последних десяти лет, выполненные совместно с коллегами из ряда организаций России (ИО РАН, ИВП РАН, ААНИИ, Санкт-Петербургский университет, ИЭ КарНЦ РАН, ИБ КарНЦ РАН, ВНИИ Охраны природы). В настоящей работе мы ставили перед собой задачу подойти к вопросу изучения моря и его водосбора как эколого-социально-экономической системы.

Рассмотрены особенности изменений водосбора и экосистемы Белого моря. Особое внимание уделено формированию водного и химического стока рек на водосборе, которые существенно зависят от его геологических особенностей и антропогенного влияния. Для определения нагрузки на водосбор и море выполнен широкий комплекс исследований, включающий оценку социально-экономических проблем на водосборе и разработку сценариев развития региона, с внедрением разнообразных индексов для использования их в моделях. Были получены сведения о социально-экономической ситуации на водосборе Белого моря вплоть до 2006 г. и выполнен анализ ее развития. Анализируются возможные сценарии развития региона. Определенные особенности социально-экономического развития региона приводят к соответствующим воздействиям на водосбор. Для отражения этого воздействия вводятся разнообразные индикаторы.

Проанализированы географические особенности водосбора, выявлены основные закономерности термогидродинамических процессов и явлений, оценено современное состояние и тенденции антропогенных воздействий на водосборе и изучено поступление биогенов. Определенное внимание уделяется исследованию изменений и изменчивости климата на водосборе и их влиянию на систему: водосбор-море. Для комплексного изучения моря и водосбора кроме натурных экспериментов на море, привлекаются методы математического моделирования и данные дистанционных наблюдений. В докладе сообщается о новых разработках математических моделей термогидродинамики и экосистемы моря. В частности, д.ф.-м.н. Е.В. Семеновым (ИО РАН) предложены новые подходы к разработке системы оперативного мониторинга моря (СОМ), а к.ф.-м.н. И.А. Нееловым (ААНИИ) и к.г.н. О.П.

Савчуком (Санкт-Петербургский и Стокгольмский университеты) на математических моделях проведены новые исследования реакции экосистемы моря на антропогенные и климатические изменения. В численных экспериментах по моделированию многолетнего хода экосистемы использовалась созданная И.А. Нееловым гидротермодинамическая модель с учетом ледяного покрова (см. Климат Карелии, 2004; Neelov & Savchuk, 2005; см. в кн. Filatov et al., 2005) и более полная по сравнению с ранее использованной в работе (Filatov et al., 2005) версия биогеохимической модели О.П. Савчука (см.: Savchuk, Wulff, 2007). В сценарных расчетах на моделях экосистемы моря используются данные об изменчивости гидрологического режима и климата водосбора, а также сведения о социально-экономическом развитии региона, которое отражается на состоянии окружающей среды, влияет на поступление биогенных и загрязняющих веществ с водосбора в Белое море, т.е. определяет особенности развития процесса эвтрофирования моря. В модельных сценариях используются сведения об изменениях климата на водосборе, которые учитываются при задании атмосферных воздействий и стока рек, впадающих в водоем. Изменения климата на водосборе изучены по данным длительных измерений, а сценарии изменения климата на перспективу получены по данным численных экспериментов на модели глобального климата ЕСНАМ4/ОРУС3. Расчеты на моделях показали, что как климатические изменения (при возможном потеплении и похолодании климата), так и антропогенные воздействия при оптимистическом сценарии развития региона (увеличение регионального валового продукта) интенсификации производств и соответствующем возрастании биогенной нагрузки не должны привести к заметным изменениям в экосистеме моря.

Полученные в результате проведенного исследования сведения дают основы для разработки мероприятий по улучшению качества водной среды моря, а также по снижению риска от чрезвычайных антропогенных экологических ситуаций, возрождению региона. Можно констатировать, что современное состояние вод и биоты Белого моря является по-прежнему перспективным для развития марикультуры, рыбного хозяйства, рекреации, водного транспорта, энергетики.

Результаты работы могут быть использованы для дальнейших экспериментов по изучению изменений водосбора и экосистемы Белого моря при других возможных сценариях развития, на более совершенных математических моделях с воспроизведением более высоких трофических уровней экосистемы. Мы надеемся, что выполненная нами работа будет востребована для совершенствования знаний об изменении экосистемы моря, разработке обоснованных подходов для рационального использования его ресурсов и их охране. Представляется, что это возможно осуществить на основе системного подхода, усилиями специалистов разных организаций (институтов, ведомств), объединенных общей идеей.

Проводимые ИВПС КарНЦ РАН работы являются частью системных исследований, выполняемых по проектам: «Система Белого моря» (рук. академик А.П. Лисицын, ФЦП «Мировой океан» (рук. – академик Г.Г. Матишов) и работам ЗИН РАН (рук. акад. А.Ф. Алимов и проф. В.Я. Бергер), а также комплексных исследований геологических, гидрофизических и химико-биологических процессов в эстуариях Белого моря (проекты РФФИ 03-05-64079; 03-05-64079а, рук. чл.-корр. РАН Ю.С. Долотов).

В последние два года работа выполняется в рамках проекта РФФИ (грант 06-05-64728-а).

А.Л. Чульцова, Л.Э. Скибинский

(Северо-западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Архангельск, e-mail: nwdioras@atnet.ru)

Распределение биогенных элементов в период летней межени в геобарьерной зоне «река Северная Двина – Двинской залив Белого моря»

A.L. Tchoultsova, L.A. Skibinskiy

(North-western Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk)

Distributing of biogenic elements in the period of summer mezheny in a geobar'erno area «of the Northern Dvina River – Dvinskoy bay of the White Sea»

В устьевых областях рек взаимодействуют две водные массы различного генезиса. В устье, где сток воды, наносов, растворённых веществ речного происхождения, поступает в моря и океаны, формируется природная геохимическая барьерная зона (ГБЗ). По А.И. Перельману «геохимические барьеры – это те участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, увеличение их концентрации»[1]. В ГБЗ «река – море», действие системы маргинального фильтра таково, что основная масса растворённых форм элементов преобразуется во взвешенные формы и осаждается на дно, а также разносится вдоль побережий. В итоге, преобладающая часть растворённого и взвешенного вещества остается в маргинальном фильтре и не поступает в море [2].

С 2003 по 2006 г.г., в августе, Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН, в рамках программы «Система Белого моря», проводились научные экспедиции на НИС «Профессор Штокман» в Белом море под руководством академика А. П. Лисицына. Одним из объектов исследования был

маргинальный фильтр (МФ) реки Северной Двины, на примере Маймаксанского рукава, где по пути следования судна в Белое море, отбирались пробы воды с поверхности реки. Определялись величины концентрации фосфатного фосфора, нитритного азота и кремния по общепринятым методикам [3, 4, 5]. Для определения концентрации фосфатного фосфора использовался метод Морфи–Райли; нитритной формы азота – метод Бендшнайдера–Робинсона; растворённого кремния – метод Королёва, по голубому кремнево-молибденовому комплексу.

По полученным экспедиционным материалам, были построены графики распределения биогенных элементов в МФ Маймаксанского рукава реки Северной Двины в период летней межени (рис. 1, 2, 3).

Анализ полученных данных выявляет тенденцию увеличения концентраций фосфатного фосфора и нитритного азота вдоль большей части зоны смешения и затем, резкое уменьшение на коротком участке, при приближении к морской границе ГБЗ. В разные годы, в зависимости от водности, изменялся градиент уменьшения величин концентраций фосфатного фосфора и нитритного азота. В 2006 г. наблюдалась наибольшая изменчивость фосфатного фосфора (от максимальных значений – 54 до минимальных значений – 7 мкг/л) и нитритного азота (от максимальных значений–10 до минимальных значений – 0,4 мкг/л). Удаление фосфатного фосфора и нитритного

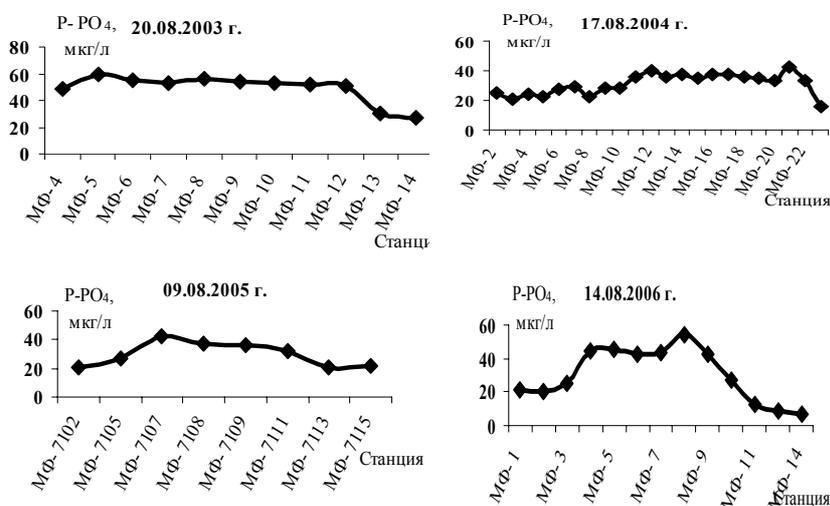


Рис. 1. Содержание фосфатного фосфора в поверхностном слое воды МФ Северной Двины в летнюю межень в 2003–2006 гг.

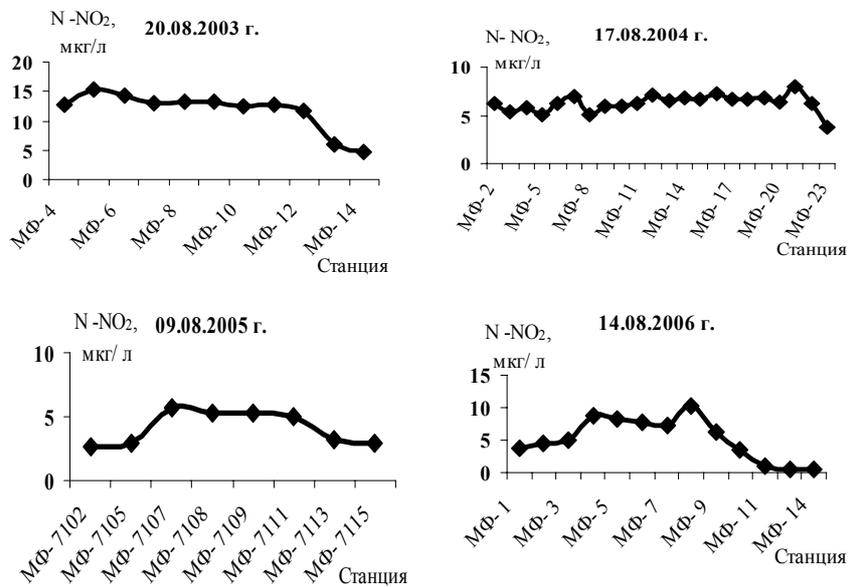


Рис. 2. Содержание нитритного азота в поверхностном слое воды МФ Северной Двины в летнюю межень в 2003–2006 гг.

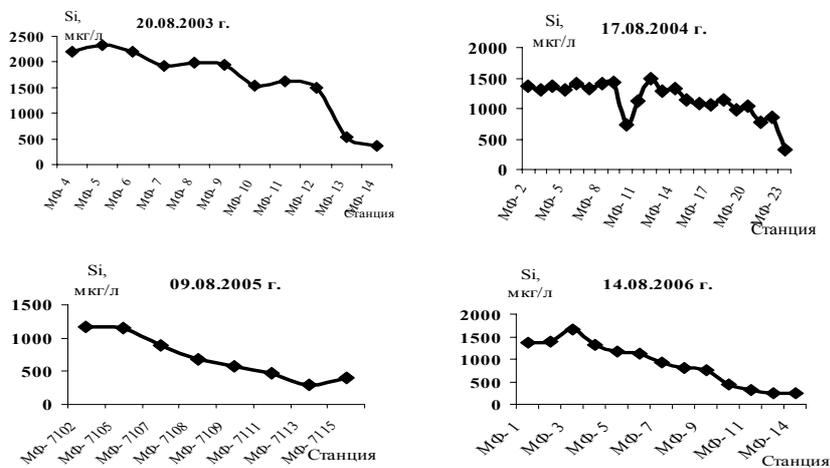


Рис. 3. Содержание кремния в поверхностном слое воды МФ Северной Двины в летнюю межень в 2003–2006 гг.

азота на морской границе ГБЗ происходит в результате потребления фитопланктонным сообществом и биоседиментации. Величины концентраций кремния снижались постепенно, вдоль всей зоны смешения, к морской границе и были наибольшими в 2003 г. (2200 мкг/л), наименьшими – в 2005 г. (1200 мкг/л).

Авторы благодарят всех участников научных экспедиций на НИС «Пр. Штокман».

1. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: «Астрель-2000», 1999. 768 с.

2. *Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. Т. 34. № 5. 1994. 737 с.

3. РД 52. 10. 243 – 92. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб. 1993. 264 с.

4. Современные методы гидрохимических исследований океана // АН СССР. Институт океанологии им. П.П. Ширшова. М., 1992. 200 с.

5. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового Океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

In this abstract the distribution of biogenic elements along the area of mixing of the Northern Dvina River – Dvinskoy bay of the White Sea is examined.

**В.П. Шевченко¹, В.А. Бобров², Ф.А. Романенко³,
Р.А. Алиев⁴, В.В. Гордеев¹, Л.Л. Демина¹,
Ю.П. Колмогоров², Е.А. Новичкова¹, О.С. Олюнина³,
О.Н. Успенская⁵**

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, vshevch@ocean.ru;

²Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск;

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва; ⁴НИИ ядерной физики им. Скобелева МГУ, Москва;

⁵Институт овощеводства РАН, Москва)

**Геохимия озерно-болотных отложений полуострова Киндо,
побережье Северной Карелии**

**V.P. Shevchenko¹, V.A. Bobrov², F.A. Romanenko³, R.A. Aliev⁴,
V.V. Gordeev¹, L.L. Demina¹, Y.P. Kolmogorov²,
E.A. Novichkova¹, O.S. Olyunina³, O.N. Uspenskaya⁵**

¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; ²Institute of geology and mineralogy, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; ³Moscow State University, Geographical Faculty; ⁴Skobeltzin Institute of Nuclear Physics, Moscow; ⁵Institute of Vegetable Cultivation, Russian Academy of Sciences, Moscow)

**Geochemistry of lake and bog deposits of Kindo Peninsula,
Northern Karelia nearshore zone**

Химический состав торфяных залежей в большой степени зависит от атмосферной поставки в них многих элементов, что особенно актуально для верховых (олиготрофных) болот. Согласно А.И. Перельману [1], торфяные болота совмещают разные типы геохимических барьеров: восстановительный, кислый, сорбционный, биологический, механический. Существующая литература по геохимии карельских торфов немногочисленна, особенно по побережью Белого моря [2, 3].

Авторами изучен состав проб торфа, отобранных на полуострове Киндо (Кандалакшский залив) экспедицией географического факультета МГУ в начале июня 2004 г. [4]. Пробы были отобраны болотным буром Гиллера-1, затем высушены и озолены. Радиоактивность ¹³⁷Cs определена с помощью гамма-спектрометра с полупроводниковым детектором Canberra GR3818, элементный состав – методами нейтронно-активационного анализа, рентгенофлуоресцентного анализа с применением синхротронного излучения и атомно-абсорбционного анализа по известной [5] методике. Наиболее детально изучен состав отложений скважин 11 (66°32,717' с.ш., 33°06,333' в.д., 72 м над уровнем моря) и 4 (66°32,552' с.ш., 33°08,257' в.д., 27,5 м над уровнем моря), пройденных в днищах заболоченных озёрных котловин.

Результаты ботанического анализа отложений скв. 11 свидетельствуют о существенной смене условий осадконакопления в озерно-болотных экосистемах п-ова Киндо в послеледниковое время. Нижняя часть разреза на глу-

бинах от 5 до 3,2 м представлена сапропелями, выше до поверхности залегают торф. При его образовании условия были в основном мезотрофные, хотя в отдельные периоды времени трофность болота менялась.

Активность ^{137}Cs в поверхностном 5-см слое (моховая подушка, состоящая в основном из сфагновых мхов) скважины 11 составляет 36 Бк/кг. Это значение находится на фоновом уровне и значительно ниже активности этого техногенного радионуклида во мхах и почвах Европейской части России [6]. Активность ^{137}Cs быстро падает до величин менее 1 Бк/кг в слое 0,30–0,35 м, но в слое 0,60–0,65 м скачкообразно возрастает до 7,5 Бк/кг, вероятно, в результате подтока грунтовых вод на этом горизонте, и глубже снова быстро уменьшается до 0,6 Бк/кг в слое 0,95–1,00 м.

Содержание меди и никеля в торфе скважин 4 и 11 в 4–5 раза, а в отдельных слоях и на порядок выше, чем в торфяниках Томской области [5] и Южной Карелии [2, 3]. Для кадмия и свинца, опасных для окружающей среды, характерен дальний перенос с мельчайшими аэрозольными частицами. Содержание их в наших пробах в несколько раз ниже, чем в Томской области, поэтому в отношении этих элементов можно считать север Карелии чистым фоновым районом. Содержание хрома в карельском торфянике примерно в 2 раза ниже, чем в Западной Сибири, железа – примерно в 5 раз ниже, чем в торфяниках Томской области.

Для оценки роли различных источников в формировании химического состава озерно-болотных отложений были рассчитаны коэффициенты обогащения (КО) химическими элементами относительно среднего состава земной коры по формуле:

$$\text{КО} = (\text{Эл./Sc})_{\text{проба}} / (\text{Эл./Sc})_{\text{земн. кора}}$$

где Эл. и Sc – содержания интересующего нас элемента и скандия в пробе и земной коре [7] соответственно.

Для большей части химических элементов значения КО близки к 1, что свидетельствует о том, что основным источником вещества, оседающего из атмосферы и поступающего с грунтовыми водами, является материал выветривания земной коры. КО для Ni в разных слоях варьирует от 2 до 4, Cu – от 5 до 20, La – от 4 до 20, Ce – от 3 до 21.

Одной из возможных причин более высокого содержания меди и никеля в изученном нами болоте является антропогенное загрязнение аэрозолями, переносимыми из района города Мончегорск и посёлка Никель, расположенных в северо-западной части Кольского полуострова. Там находятся медно-никелевые комбинаты – мощный источник загрязнения атмосферы и окружающей среды в целом. Незначительное обогащение озерно-болотных отложений La и Ce, по-видимому, связано с поступлением редкоземельных элементов из окружающих метаморфических пород Беломорского пояса Балтийского щита [8].

Авторы благодарят коллег, принимавших участие в полевых и лабораторных исследованиях, за помощь, и академика А.П. Лисицына за поддерж-

ку. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 4.4 Программы № 17 Президиума РАН, проекта “Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли”, бюджетного финансирования Московского университета, проектов РФФИ №№ 07-05-00691 и 05-05-64872, гранта НШ-2236.2006.5, российско-германской Лаборатории им. О.Ю. Шмидта.

1. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М., 1975. 342 с.
2. *Максимов А.И., Егорова Г.Ф., Степаненкова В.А., Ширяева Т.А.* Геохимическая характеристика торфяных залежей // Методы исследований болотных экосистем таежной зоны / Отв. ред. О.Л. Кузнецов. Л.: Наука, 1991. С. 97–110.
3. *Максимов А.И.* Содержание макро- и микроэлементов в торфяных залежах болотных экосистем вблизи месторождения Падма // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. С. 72–81.
4. *Олюнина О.С., Романенко Ф.А., Головнина Е.А.* Постледниковое поднятие Карельского берега Белого моря: предварительные результаты изучения береговых торфяников // Геология морей и океанов. Тез. докл. XVI Международной научной школы по морской геологии. М.: ГЕОС, 2005. Т. 1. С. 91–92.
5. *Гавшин В.М., Сухоруков Ф.В., Будашкина В.В. и др.* Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника // Геохимия. 2003. № 12. С. 1337–1344.
6. *Киселев Г.П., Крячюнас В.В., Киселева И.М. и др.* Природная радиоактивность территории Европейского Севера и ее антропогенные изменения // Геоэкология. 2005. № 3. С. 205–218.
7. *Taylor S.R.* The abundance of chemical elements in the continental crust – a new table // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1964. V. 28. P. 1273–1285.
8. *Терехов Е.Н.* Особенности распределения редкоземельных элементов в корундсодержащих и других метасоматитах периода подъема к поверхности метаморфических пород Беломорского пояса (Балтийский щит) // Геохимия. 2007. № 4. С. 411–428.

Radioactivity of ^{137}Cs and elemental composition of lake and bog deposits from Kindo Peninsula (Northern Karelian coast of the White Sea) has been studied. The radioactivity of ^{137}Cs and contents of most trace elements in the upper part of deposits (peat) is at the background level.

Л.С. Широкова¹, О.С. Покровский², В.А. Гоголицын³

(¹Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, e-mail: LShirocova@yandex.ru; ²Лаборатория механизма и транспорта в геологии, Обсерватория Миди-Пириней, НЦНИ, 14 Авеню Эдуард Белин, Тулуза, 31400 Франция (oleg@lmtg.obs-mip.fr); ³Северо-западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Архангельск).

Влияние литологии подстилающих пород, гидрологической обстановки и форм нахождения микроэлементов и органического вещества на микробиологические характеристики рек водосбора Белого моря

L.S. Shirokova¹, O.S. Pokrovsky², V.A. Gogolitzin³

(¹Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of Russian Academy of Sciences; ²Laboratory of Mechanisms and Transport in Geology, University of Toulouse, France; ³NW Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences)

Influence of rock composition, hydrology and speciation of trace elements and organic carbon on river microbial population in the White Sea basin

Изучение количественных характеристик популяций водных микроорганизмов является важной задачей природной микробиологии, направленной на выявление функциональных связей между экологическими параметрами среды и микробными сообществами экосистем. В настоящей работе впервые сделана попытка комплексного количественного сопоставления концентраций и форм нахождения микро(олиго)элементов и органического вещества с микробиологическими параметрами рек водосбора Белого моря на различных литологических обстановках и в разные гидрологические сезоны. Ожидается, что установление наличия или простое тестирование подобных связей быть полезным для количественной феноменологической модели биогеохимического функционирования арктических и субарктических систем.

Объектом исследования служили большое и малые реки Архангельской области (Сев. Двина, Пинега и притоки), дренирующие осадочные (карбонаты, гипсы) и ледниковые (силикатные) отложения, а также малые реки Северной Карелии (Нац. парк Паанаярви), дренирующие изверженные основные (р. Палайоки и притоки) и кислые (р. Нурис) породы. Было изучено два основных гидрологических сезона (весеннее половодье на водосборе р. Пинега) и летняя межень в Архангельской области и в Карелии. В ходе полевых работ проводился отбор проб с измерением на месте температуры, pH, Eh, [O₂], и фильтрация проб через ацетат-целлюлозные фильтры (0.22 и 5 микрон) а также ультрафильтрация через мембранные фильтры 1 кДальтон (~ 1 нм), 10 кДа и 100 кДа, и диализ через полупроницаемые полиэтиленовые мембраны Спектра Пор 7 (1 кДа и 10 кДа). В посевах, инкубируемых

при температуре 20°C, проводился учет автохтонного эвтрофных (ЭБ) (на стандартном питательном агаре), факультативно-олиготрофных (ФОБ) (на среде Горбенко), олиготрофных (ОБ) (на среде Дифко), факультативно-анаэробных (на тиогликолевой среде с добавлением стерильного вазелинового масла) бактерий, дрожжеподобных грибов; времени удвоения и дыхания бактериопланктона. Таксономический состав водорослей связан с трофическим статусом водной экосистемы. Альгофлора рек Нурис и Палайоки, представлена видами диатомовых водорослей (Bacillariophyta). Экосистемы можно охарактеризовать как олиготрофные. Наиболее часто встречен в данных экосистемах планктонный вид *Tabellaria flocculosa* (Roth.). Так же отмечены панцири бентосных форм диатомовых водорослей, среди которых преобладают рр. *Navicula* и *Pinnularia*. Обычны представители рр. *Synedra*, *Eunotia*, *Nitzschia*, *Epitemia*. О поступлении болотных кислых вод в реки свидетельствует обнаружение десмидиевых водорослей (*Cosmarium sp.*). В качестве отличий можно отметить нахождение детрита в р.Нурис. Здесь же был встречен психрофильный вид, характерный для северных горных районов *Achnathes coarctata* (Vreb.), так как часть водосбора Нуриса дренируется малыми ручьями, берущими начало на высоте 400–500 м. В реке Палайоки обнаружены единичные экземпляры сине-зеленых водорослей *Merismopedia sp.*

В ходе работ выявлены существенные вариации бактериопланктона речной воды Северной Карелии между двумя контрастными объектами. В частности, более низкие концентрации эколого-трофических групп бактериопланктона наблюдаются в реке Нурис по сравнению с рекой Палайоки, имеющей в 5–10 раз более высокие концентрации растворенного железа и органического вещества. Содержание факультативно-анаэробных бактерий также выше в Палайоки (70 кл/мл), по сравнению с рекой Нурис (25 кл/мл), что неудивительно, учитывая высокий вклад в Палайоки болотных (восстановленных) вод с высокой концентрацией органического вещества и интенсивное высвобождение двухвалентного железа из пироксенов подстилающих основных изверженных пород. В то же время, функциональные характеристики бактериопланктона указывают на более высокую физиологическую активность данного сообщества в экосистеме реки Нурис. В частности, более активны процессы бактериальной деструкции органического вещества (вклад бактериопланктона в общую деструкцию составил 91%, в то время как в реке Палайоки данный вклад оценен 42%). Скорость размножения гетеротрофного бактериопланктона в Нурисе также выше, поскольку время генерации значительно меньше и составило 13 часов по сравнению с рекой Палайоки (47,3 часов). Эти наблюдения можно сопоставить с отношением олигоэлементов и микроэлементов в истинно растворенной форме (менее 1 кДа) к концентрациям в коллоидной форме (1 кДа – 0,22 микрон) много выше в Нурисе по сравнению с Палайоки, и таким образом, биологическая доступность их в первой реке выше. Это может быть объяснено существенно гранитным характером литологии водосбора реки Нурис, содержащим

мало минералов, богатых железом, способном перейти из пород в почвенный раствор/грунтовые воды, питающие реку и создать высокие концентрации железо-органических коллоидов, препятствующих развитию бактериопланктона. Соответственно, деструкционные процессы оказались существенно интенсивнее в реке большего водосбора и большей освещенности (Нурис).

Исследования водосбора реки Пинега (Архангельская область) предоставили возможность тестирования связи между микроэлементным составом речных вод разной, очень контрастной литологической обстановки (гипсы, карбонаты, гранитная морена) и микробиологическими характеристиками системы. В частности, установлены повышенные концентрации основных эколого-трофических групп бактериопланктона на реках, дренирующих гипсоносные породы с участием карбонатов (р. Сотка) по сравнению с реками дренирующими только гипсы полтинской свиты (Полта и Келда). В заключение, настоящая работа открывает возможность количественной оценки параметров, контролирующей микробиологические процессы водных экосистем в различные гидрологические периоды. Соотношения между коллоидными и истинно растворенными формами микроэлементов, железа и растворенного органического вещества являются важными факторами интенсивности продукционно-деструкционных процессов и во многом могут контролировать разнообразие различных групп микроорганизмов природных вод. Литологический состав подстилающих пород и, соответственно, общий солевой состав вод могут представляться вторичными факторами в функционировании микробных сообществ поверхностных вод суши.

This work allows, for the first time, testing the relationship between microbiological diversity and intensity of production/destruction process and chemical composition of watersheds draining rocks of variable lithology in different hydrological seasons. Proportion of colloidal forms of oligoelements and DOC concentrations seem to be the primary factors in regulation of microbial parameters whereas the lithology of underlain rocks is less important.

**O.S. Pokrovsky¹, J. Viers¹, E.V. Vasukova¹, V.P. Shevchenko²,
L.S. Shirokova³, M.D. Kravchishina², A.Yu. Bogunov⁴**

(¹Laboratory of Mechanisms and Transport in Geology, University of Toulouse, France, e-mail: oleg@lmtg.obs-mip.fr; ²P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; ³Institute of Ecological Problems of North, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia; ⁴Arkhangelsk Branch of “Rosmorpport” State Enterprise, Arkhangelsk)

Trace element and organic matter speciation in the White Sea basin (Severnaya Dvina and Pinega rivers)

**О.С. Покровский¹, Ж. Виерс¹, Е.В. Васюкова¹,
В.П. Шевченко², Л.С. Широкова³, М.Д. Кравчишина²,
А.Ю. Богунов⁴**

(¹Лаборатория механики и транспорта в геологии, Университет Тулузы, Франция;
²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; ³Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск;
⁴Архангельский филиал ФГУП “Росморпорт”, Архангельск)

Формы нахождения микроэлементов и органического вещества в водосборном бассейне Белого моря (реки Северная Двина и Пинега)

Boreal zones of Russian Arctic are likely to play a crucial role in the regulation of trace elements (TE) input in the ocean at the high latitudes. In contrast to relatively good knowledge of Western European arctic environments, located in relatively warm climate on the Baltic sea coast, within the area subjected to some anthropogenic influence, our understanding of geochemistry of small watersheds located at the coast of Arctic ocean and the White Sea, remains extremely poor. The nature of dissolved organic matter, iron and aluminium colloids and the estuarine profiles of TE in this region may be very different from that of the “model” Kalix river while these relatively easy accessible watersheds of the White Sea should be representative for the large zones of the Russian Arctic.

High concentration of Dissolved Organic Matter (DOM) and thus, colloidal status of most of TE is the most important characteristic feature of the geochemistry of TE in European Russian Arctic zone. To get the first-order understanding of colloidal transport and speciation of TE here, speciation of organic carbon (OC) and about 40 major and trace elements (TE) in Severnaya Dvina and Pinega rivers in three different seasons: “unusual” flood in December 2006, winter base flow in February, spring flood in May 2007 and summer base flow in August 2007 has been investigated using size fractionation techniques. The main motivation for this study was to assess the variations in TE speciation among watersheds of different contrasting lithology in different hydrological periods. To this end, samples were filtered in the field through a progressively decreasing pore size (5 μm , 2.5 μm , 0.22 μm , 100 kD, 10 kD and 1 kD) using the frontal filtration and ul-

trafiltration technique and *in-situ* dialysis through 10 kD and 1 kD membranes with subsequent analysis by ICP-MS.

In (ultra)filtrates and dialysates, Fe and OC are poorly correlated: iron concentration gradually decreases upon filtration from 5 μm to 1 kD whereas the major part of OC is concentrated in the < 1–10 kD fraction. This reveals the presence of two pools of colloids composed of organic-rich and Fe-rich particles. All major anions and silica are present in “dissolved” forms passed through 1 kD membrane. According to their behaviour during filtration and association with these two types of colloids, three groups of elements can be distinguished: (i) species that are not affected by ultrafiltration and are present in the form of true dissolved inorganic species (Ca, Mg, Li, Na, K, Cs, Si, B, Sc, Sb, Mo) or weak organic complexes (Ca, Mg, Rb, Sn); (ii) elements present in the fraction smaller than 1–10 kD prone to form inorganic or organic complexes (Ni, Zn, Cu, Cd, Ge, As, Ba, W and, for some rivers, Cr, U), and (iii) elements strongly associated with colloidal iron in all ultrafiltrates and dialysates with 30–50% being concentrated in large (>10 kD) colloids (Mn, Al, Ga, REE, Pb, V, Cr, Ti, Zr, Th, U, Co, Sr, Y, Nb, Hf, Ta, Bi).

Concentration of organic carbon in Sev. Dvina are twice lower during base flow compare to flood (Figure); however, this difference is only pronounced for large fractions (0.22 μm – 10 kDa). Organic carbon concentration in small colloidal (1 kDa – 10 kDa) and truly dissolved (< 1 kDa) fractions is almost independent on season and hydrological situation. These observations indicate the presence of two pools of organic matter: allochthonous large-size colloids formed by lixiviation from upper soil horizons and autochthonous (aquatic) small molecular-size substances, probably linked to bacterial and phytoplankton exudates. While the proportion of the formers is highly seasonally dependent, the contribution of the latter remain relatively constant over the year. It is important to note that, similar to other boreal regions (i.e., Zakharova et al., 2007), the rock signatures are poorly pronounced in spring period and, during this time, proportion of colloidal (Fe-organic) forms is the highest. The similarity of TE speciation in colloids from high-water (unique) period in December 2006 and in spring flood (May 2007) suggest their similar origin (soil surface waters and litter degradation products). In contrast, one can observe lower amount of colloids in summer base flow period and clear signature of bedrocks.

The last part of this study is devoted to isotopic signatures of copper and zinc in rivers during different periods. The goal of this part was to assess the lithology versus Fe/organic colloids control on metal isotope fractionation in order to calibrate the isotopic tools for tracing element sources and migration pathways in the hydrosphere. This work is in progress.

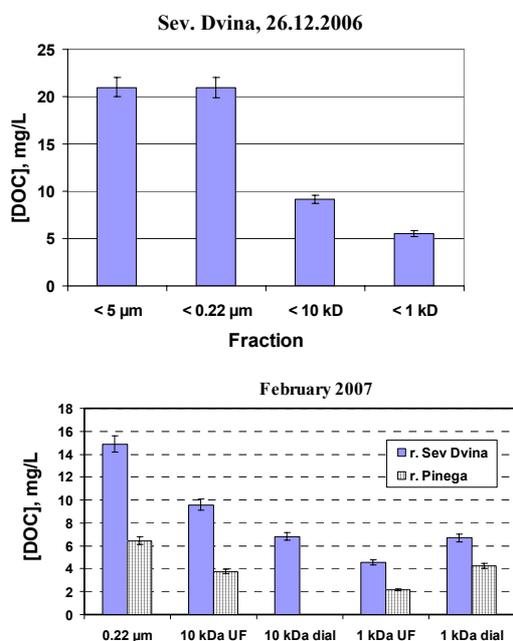


Fig. Speciation of organic carbon in different fractions of river water.

Zakharova E.A., Pokrovsky O.S., Dupre B., Gaillardet J., Efimova L. Chemical weathering of silicate rocks in Karelia region and Kola peninsula, NW Russia: assessing the effect of rock composition, wetlands and vegetation // *Chemical Geology*. 2007. V. 242. P. 255–277.

В докладе представлены результаты исследования особенностей распределения 40 макро- и микроэлементов и органического углерода в воде рек Северная Двина и Пинега в разные сезоны: аномальный декабрьский паводок 2006 г., зимняя межень конца февраля – начала марта 2007 г. и весенний паводок (май 2007 г.).

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Айбулатов Д.Н.	4	Гоголицын В.А.	298
Алексеева Т.Н.	214	Головко А.Н.	282
Алиев Р.А.	216, 295	Горбацкий В.В.	13, 63
Андреева Н.Н.	286	Гордеев В.В.	105, 295
Бабаков А.Н.	13, 63	Гордейчук Т.Н.	126
Бадюков Д.Д.	182	Горленко В.М.	158
Балуев А.С.	218, 273	Горшкова О.М.	104, 105
Бархутова Д.Д.	158	Горюнова Н.В.	15
Баскакова Г.В.	282	Гриценко В.А.	18
Батова Г.И.	169	Гурский Ю.Н.	20
Башенхаева Н.В.	187	Дагурова О.П.	158
Бекетов Е.В.	88	Дара О.М.	109, 214
Бердников С.В.	221	Демина Л.Л.	106, 109, 295
Бизин М.А.	37, 66	Демичева Е.А.	69
Бобров В.А.	7, 147, 150, 295	Денисенко Н.В.	227
Богачева М.П.	131	Денисов В.И.	23, 112
Богданова Н.Н.	200	Джин Я.К.	88
Богунув А.Ю.	301	Долотов Ю.С.	227
Богущ А.А.	91, 150	Доманов М.М.	28, 115, 129
Босин А.А.	126	Дружкова Е.И.	51
Бурюхаев С.П.	158	Дударев О.В.	117, 120
Васюкова Е.В.	233, 301	Евзеров В.Я.	242
Вершинин А.В.	94, 96, 123	Егоров А.В.	94, 96, 123
Веслополова Е.Ф.	248	Жамойда В.А.	63
Ветров А.А.	98	Журавлев В.А.	218
Виерс Ж.	301	Завернина Н.Н.	230
Виноградова А.А.	11, 224	Замбер Н.С.	233, 236, 239
Власова Л.Н.	131	Захарков С.П.	126
Водяная Е.Г.	115	Захарова Е.Е.	172
Воронцова О.Н.	134	Зацепин А.Г.	18
Галкин С.В.	106	Здоровеннов Р.Э.	227
Гарькуша Д.Н.	101	Зернова В.В.	28, 129
Герасимова М.В.	51	Зыков Д.С.	218
		Ивлиева О.В.	26

Ильинский В.В.	155	Литвиненко И.В.	167, 169
Ильяш Л.В.	276	Логвина Е.А.	88
Исламова Э.Р.	284	Лудикова А.В.	286
Карабанов Е.Б.	117	Лукашин В.Н.	41
Келлер Н.Б.	109	Лукша В.Л.	282
Киселев Г.П.	236, 239	Лучшева Л.Н.	251
Киселева И.М.	236	Люцарев С.В.	104
Клювиткин А.А.	28, 31, 34, 257	Ляпин А.Н.	257
Клювиткина Т.С.	28	Мазуренко Л.Л.	88
Кобылянский В.В.	115	Максименков Л.О.	224
Кодина Л.А.	131	Малахов М.И.	42, 45, 48
Коженкова С.И.	200	Малахова Г.Ю.	42, 45, 48
Кокрятская Н.М.	134	Мартынова Д.М.	260
Колмогоров Ю.П.	295	Матвеева Т.В.	88
Колодяжный С.Ю.	214	Мелентьев В.В.	262
Колька В.В.	238	Минами Х.	88
Коновалов Д.А.	142	Митяев М.В.	51
Коробейник Г.С.	131	Мицкевич И.Н.	248
Короткова Т.А.	167	Мишуков В.Ф.	161
Космач Д.А.	117	Мокиевский В.О.	282
Кособокова К.Н.	137, 138	Морозов Е.А.	264
Кравчишина М.Д.	245, 248, 257, 301	Мошарова И.В.	155
Краснушкин А.В.	104, 105	Мурашка А.Л.	282
Кропачев Ю.П.	63	Намсараев Б.Б.	158
Кудрявцева Е.А.	139	Намсараев З.Б.	158
Кузнецов А.Н.	72, 112	Насекина А.А.	267
Кузнецов Д.Д.	286	Немировская И.А.	54, 270
Кузнецов И.С.	208	Немова Н.Н.	227
Кузьмина Т.Г.	115, 251	Нерода А.С.	161
Курченко В.Ю.	75	Низов С.С.	18
Куршева А.В.	142	Новигатский А.Н.	31, 34, 54, 212, 251, 257
Кутчева И.П.	227	Новичкова Е.А.	295
Куценогий К.П.	37, 66	Обрезкова М.С.	120
Лаврушин В.Ю.	153	Овсепян А.Э.	190
Леин А.Ю.	144, 251	Олюнина О.С.	295
Ленец Е.Н.	72	Орешкин В.Н.	57
Леонов А.В.	254	Оськина Н.С.	109
Леонова Г.А.	91, 147, 150	Пахомова С.В.	164
Летягина Е.А.	153	Пересыпкин В.И.	98
Лисицын А.П.	81, 248	Петрова В.И.	167, 169

Петтерссон Л.Х.	262	Столетова А.С.	66
Пименов Н.В.	172	Субетго Г.Д.	286
Пипко И.И.	174	Субетго Д.А.	286
Погарский Ф.А.	224	Сутурин А.Н.	176
Подымов О.И.	208	Тарасенко Г.В.	69
Поздняков С.А.	233	Татаринов А.В.	158
Покровский О.С.	233, 298, 301	Терехов Е.Н.	218, 273
Политова Н.В.	34, 257	Тищенко П.Я.	120
Попова С.А.	37	Токарев В.Г.	131
Потёмкина Т.Г.	176	Токарев М.Ю.	282
Пращкина Е.М.	104	Толстикова А.В.	227
Пржиялговский Е.С.	214, 269	Томберг И.В.	187
Примаков И.М.	264	Трофимов М.Е.	72
Прусакова Т.С.	172	Успенская О.Н.	295
Пугач С.П.	174	Уткин И.В.	117, 120
Радченко И.Г.	276	Федоров Ю.А.	72, 101, 190
Ратькова Т.Н.	279	Федосеева-	
Репина И.А.	174	Бандолина Е.В.	105
Рехачева Н.	239	Филатов Н.Н.	227, 289
Римский-Корсаков Н.А.	227	Филатова В.А.	195
Розанов А.Г.	94, 96, 123	Филатова Т.Б.	193, 195
Романенко Ф.А.	295	Филиппов А.С.	31, 257
Романкевич Е.А.	98, 105	Хаймина О.В.	264
Романова Н.Д.	279	Хромов М.И.	101
Савенко А.В.	179, 182	Цыганкова А.Е.	221
Савенко В.С.	185	Чанкина О.В.	37
Сажин А.Ф.	279	Чаркин А.Н.	98, 117, 120
Салюк А.Н.	174	Часовников В.К.	197
Сапелко Т.В.	286	Чельшева М.В.	197
Свининников А.И.	115	Черкашев Г.А.	167
Семилетов И.П.	98, 117, 120, 174	Черноок В.И.	262
Сивков В.В.	13, 60, 63, 172	Черноусов С.Я.	23, 112
Скибинский Л.Э.	292	Филатов Н.Н.	227, 289
Скибицкая Н.А.	205	Филатова В.А.	195
Смоляков Б.С.	37	Филатова Т.Б.	193, 195
Сорокин В.М.	282, 284	Филиппов А.С.	31, 257
Сорокикова Л.М.	187	Хаймина О.В.	264
Спивак Э.А.	117	Хромов М.И.	101
Старовойтов А.В.	282	Цыганкова А.Е.	221
Степанова Т.В.	167	Чанкина О.В.	37
		Чаркин А.Н.	98, 117, 120
		Часовников В.К.	197
		Чельшева М.В.	197

Черкашев Г.А.	167
Черноок В.И.	262
Черноусов С.Я.	23, 112
Чернышова М.Л.	282
Честнова М.О.	172
Чечко В.А.	63, 75
Чичерина О.В.	254
Чубаренко Б.В.	63
Чудаев О.В.	78
Чудаева В.А.	78
Чульцова А.Л.	288
Шевченко В.П.	15, 37, 54, 66, 81, 216, 227, 232, 248, 257, 279, 286, 295, 301
Широкова Л.С.	298, 301
Шоджи Х.	88
Шулькин В.М.	197
Щербакова М.Н.	200
Юрченко С.Г.	78
Яковлева О.П.	202
Якушев Е.В.	31, 164, 194, 205
Armstrong S.	117
Bakker M.	208
Blom J.	208
De Vaag H.J.W.	208
De Porto H.	208
Klunder M.	208
Laan P.	208
Ober S.	208
Sarthou G.	208
Schilling J.	208
Smit M.	208
Thiede J.	86
Timmermans K.R.	208

СОДЕРЖАНИЕ

Нанотехнологии и потоки вещества и энергии (атмо-, крио-, гидро-, лито-, седиментосферы)

<i>Д.Н. Айбулатов</i> Новые данные о суммарной поставке осадочного материала в СЛО реками	4
<i>В.А. Бобров</i> Оценка атмосферных потоков химических элементов на основе микроэлементного анализа торфяных залежей верховых болот Западной Сибири	7
<i>А.А. Виноградова</i> Загрязнение окружающей среды северных морей России от промышленных комплексов Заполярья (атмосферный перенос тяжелых металлов)	10
<i>В.В. Горбачук, А.Н. Бабаков, В.В. Сивков</i> Гидро- и литодинамические процессы в восточной части Гданьского бассейна Балтийского моря по данным автономных донных станций	13
<i>Н.В. Горюнова, В.П. Шевченко</i> Элементный состав эоловой взвеси над морями Российской Арктики	15
<i>В.А. Гриценко, А.Г. Зацепин, С.С. Низов</i> Вихре-волновой режим распространения вдольсклоновых течений и ресуспензия донных осадков	18
<i>Ю.Н. Гурский</i> Парагенетические эколого-геохимические функции литосферы	20
<i>В.И. Денисов, С.Я. Черноусов</i> Потоки взвешенного вещества в области шельфа Черного моря (итоги 20-летних исследований)	23
<i>О.В. Ивлиева</i> Поступления осадочного материала на акваторию Азовского моря в последние 50 лет	26
<i>А.А. Клювиткин, В.В. Зернова, М.М. Доманов, Т.С. Клювиткина</i> Распределение взвеси и фитопланктона в Южной Атлантике в ноябре–декабре 2004 г.	28
<i>А.А. Клювиткин, А.Н. Новигатский, А.С. Филиппов, Е.В. Якушев</i> Взвешенное вещество и потоки осадочного материала на кислородно/бескислородном интерфейсе Черного моря	31
<i>А.А. Клювиткин, Н.В. Политова, А.Н. Новигатский</i> Атмосферные аэрозоли в аридных зонах Атлантического океана в марте-апреле 2005 г.	34
<i>К.П. Куценогий, О.В. Чанкина, М.А. Бизин, С.А. Попова, Б.С. Смоляков, В.П. Шевченко</i> Пространственно-временная изменчивость химического состава атмосферных аэрозолей над акваторией Белого моря и континентом	37

<i>В.Н. Лукашин</i> Исследование седиментационной системы контурных течений на континентальных склонах	40
<i>М.И. Малахов, Г.Ю. Малахова</i> Магнито-реологическая модель литогенетических структур пелагической области океана – I (атмосфера и гидросфера: стадия седиментогенеза, этап председиментогенеза)	42
<i>М.И. Малахов, Г.Ю. Малахова</i> Магнито-реологическая модель литогенетических структур пелагической области океана – II (литосфера: стадия седиментогенеза, этапы протосингенеза и сингенеза)	45
<i>М.И. Малахов, Г.Ю. Малахова</i> Магнито-реологическая модель литогенетических структур пелагической области океана – III (литосфера: стадия диагенеза, этапы протодиагенеза, раннего и позднего диагенеза)	48
<i>М.В. Митяев, М. В. Герасимова, Е.И. Дружкова</i> Поток осадочного вещества в губе Дальнезеленецкая Баренцева моря (июль-сентябрь 2006 г.)	51
<i>И.А. Немировская, В.П. Шевченко, А.Н. Новигатский</i> Органические соединения в снежно-ледовом покрове арктических районов	54
<i>В.Н. Орешкин</i> Развитие методов электротермического атомно-абсорбционного и атомно-флуоресцентного анализа морских объектов	57
<i>В.В. Сивков</i> Исследования контуритов и дрейфов в Атлантическом океане	60
<i>В.В. Сивков, А.Н. Бабаков, В.В. Горбацкий, В.А. Жамойда, Ю.П. Кропачев, В.А. Чечко, Б.В. Чубаренко</i> Особенности современных морфо- и литодинамических процессов на подводном склоне Куршской косы (юго-восточная Балтика)	63
<i>А.С. Столетова, В.П. Шевченко, М.А. Бизин, К.П. Куценогий</i> Пути эолового переноса вещества в районе мыса Картеш, Белое море	66
<i>Г.В. Тарасенко, Е.А. Демичева</i> Шаровые конкреции палеоокеана Тетис, их роль в познании планеты Земля и новых энергий	69
<i>Ю.А. Федоров, А.Н. Кузнецов, М.Е. Трофимов, Е.Н. Ленец</i> Cs-137 и Pb-210 в колонках донных отложений Азовского моря как индикаторы хронологии осадконакопления	72
<i>В.А. Чечко, В.Ю. Курченко</i> Об организации постоянных наблюдений (мониторинга) за трансграничными потоками аэрозолей на Вислинской косе (Балтийское море)	75
<i>В.А. Чудаева, О.В. Чудаев, С.Г. Юрченко</i> Концентрации и вынос микроэлементов с речным стоком в Японское море с территории Приморья	78

<i>В.П. Шевченко, А.П. Лисицын</i> Эоловый и ледовый перенос и потоки вещества в Арктике	81
<i>Jörn Thiede</i> German Marine Geosciences during the 4th International Polar Year	86

Биогеохимические процессы в морях и океанах

<i>Е.В. Бекетов, Т.В. Матвеева, Л.Л. Мазуренко, Х. Шоджи, Х. Минами, Я.К. Джин, Е.А. Логвина</i> Некоторые особенности состава поровых вод из отложений газогидратоносных очагов разгрузки флюидов в северо-западной части впадины Дерюгина (результаты экспедиции 2006 по проекту CHAOS III)	88
<i>А.А. Богущ, Г.А. Леонова</i> Формы нахождения химических элементов в неорганической подсистеме поверхностных вод эстуария реки Онега	91
<i>А.В. Вершинин, А.В. Егоров, А.Г. Розанов</i> Потоки растворенных форм химических элементов из донных осадков Гданьского залива Балтийского моря	94
<i>А.В. Вершинин, А.В. Егоров, А.Г. Розанов</i> Исследования потоков растворенных форм химических элементов в Голубой бухте Черного моря	96
<i>А.А. Ветров, В.И. Пересыпкин, И.П. Семилетов, Е.А. Романкевич, А.Н. Чаркин</i> Генезис органического вещества донных осадков Восточно-Сибирского моря	98
<i>Д.Н. Гарькуша, Ю.А. Федоров, М.И. Хромов</i> Оценка речного стока метана в моря Европейской территории России	101
<i>О.М. Горшкова, А.В. Краснушкин, С.В. Люцарев, Е.М. Пращикина</i> Наночастицы растворенного органического вещества вод р. Москвы	104
<i>О.М. Горшкова, В.Ю. Гордеев, А.В. Краснушкин, Е.А. Романкевич, Е.В. Федосеева-Бандолина</i> Некоторые гидрохимические параметры и наночастицы растворенного органического вещества вод оз. Байкал и других водоемов Байкальского региона	105
<i>Л.Л. Демина, С.В. Галкин</i> Роль трофической структуры гидротермальной донной фауны в процессах биоаккумуляции тяжелых металлов	106
<i>Л.Л. Демина, Н.С. Оськина, Н.Б. Келлер, О.М. Дара</i> Особенности биоминерализации глубоководных кораллов	109
<i>В.И. Денисов, С.Я. Черноусов, А.Н. Кузнецов</i> Распределение Рb, Си и Hg в различных природных компонентах шельфа Черного моря (район мыса Утриш)	112

<i>М.М. Доманов, А.И. Свининников, В.В. Кобылянский, Т.Г. Кузмина, Е.Г. Водяная</i> Тяжёлые металлы в поверхностных осадках впадины Дерюгина (Охотское море)	115
<i>О.В. Дударев, А.Н. Чаркин, И.П. Семилетов, Е.Б. Карабанов, S. Armstrong, Д.А. Космач, Э.А. Спивак, И.В. Уткин</i> Осадконакопление в устьевой области реки Лены	117
<i>О.В. Дударев, А.Н. Чаркин, И.П. Семилетов, П.Я. Тищенко, М.С. Обрезкова, И.В. Уткин</i> Масштабы изменчивости состава взвеси в системе «река Амур – Охотское и Японское моря»	120
<i>А.В. Егоров, А.Г. Розанов, А.В. Вершинин</i> Использование многоцелевой автономной океанологической станции (Лендер ИО РАН) для исследования химических потоков через поверхность морского дна	123
<i>С.П. Захарков, А.А. Босин, Т.Н. Гордейчук</i> Связь современной продуктивности с концентрацией органического вещества и хлорина в поверхностных осадках Охотского моря	126
<i>В.В. Зернова, М.М. Доманов</i> Арктобореальный фитопланктон в надшельфовой зоне Камчатки и Сахалина	129
<i>Л.А. Кодина, В.Г. Токарев, Г.С. Коробейник, Л.Н. Власова, М.П. Богачева</i> Образование газовых углеводородов C ₂ ⁺ в раннем диagenезе органического вещества в водной толще Карского моря	131
<i>Н.М. Кокрятская, О.Н. Воронцова</i> Восстановленная сера и органический углерод в донных осадках устья Северной Двины	134
<i>К.Н. Кособокова</i> Зоопланктон в седиментационных ловушках – метод изучения популяционной динамики планктонных популяций	137
<i>К.Н. Кособокова</i> Вклад зоопланктона в процессы биоседиментации в мезопелагиали Арктического бассейна	138
<i>Е.А. Кудрявцева</i> Пространственная неоднородность первичной продукции и бактериальной деструкции органического вещества в Гданьском бассейне Балтийского моря	139
<i>А.В. Куршева, Д.А. Коновалов</i> Геохимическая интерпретация данных спектрофлуориметрического изучения ароматических углеводородов в донных отложениях арктических акваторий	142
<i>А.Ю. Лешн</i> Резервуар метана и скорость метанотрофии в водной толще и осадках арктических морей	144
<i>Г.А. Леонова, В.А. Бобров</i> Методические особенности исследования микроэлементного состава планктона	147
<i>Г.А. Леонова, В.А. Бобров, А.А. Богуш</i> Особенности биологического накопления микроэлементов континентальным, эстуарным и морским планктоном	150

<i>Е.А. Летягина, В.Ю. Лаврушин</i> Литолого-геохимические свойства осадка и газовый состав поровых вод полигона Кабо Верде	153
<i>И.В. Мошарова, В.В. Ильинский</i> Об обнаружении в Байдарацкой губе Карского моря ПХБ-толерантных и ПХБ-трансформирующих гетеротрофных бактерий	155
<i>Б.Б. Намсараев, С.П. Бурюхаев, З.Б. Намсараев, Д.Д. Бархутова, О.П. Дагурова, В.М. Горленко, А.В. Татаринов</i> Геохимическая активность микробного сообщества в гидротермах западной окраины Тихого океана и Байкальской рифтовой зоны	158
<i>А.С. Нерода, В.Ф. Мишуков</i> Влияние атмосферного явления "KOSA" на химический состав атмосферы г. Владивостока	161
<i>С.В. Пахомова, Е.В. Якушев</i> О возможном механизме формирования верхнего минимума и нижнего максимума фосфатов на сероводородной границе Чёрного моря	164
<i>В.И. Петрова, Т.А. Короткова, И.В. Литвиненко, Т.В. Степанова, Г.А. Черкашев</i> Органическое вещество донных отложений гидротермального поля Ашадзе-1 (13 ⁰ с.ш., САХ)	167
<i>В.И. Петрова, Г.И. Батова, И.В. Литвиненко</i> Органическое вещество донных отложений глубоководной части СЛЮ	169
<i>Н.В. Пименов, М.О. Честнова, Т.С. Прусакова, Е.Е. Захарова, В.В. Сивков</i> Микробиологические и биогеохимические процессы в районе покмарка в Гданьской впадине Балтийского моря	172
<i>И.И. Пипко, И.П. Семилетов, С.П. Пугач, И.А. Ретина, А.Н. Салюк</i> Потоки СО ₂ в системе океан-атмосфера на шельфе Восточно-Сибирского моря	174
<i>Т.Г. Потёмкина, А.Н. Сутурин</i> Особенности ландшафтных обстановок береговой зоны озера Байкал	176
<i>А.В. Савенко</i> Оценка степени насыщения вод устьевой области Волги по карбонату кальция	179
<i>А.В. Савенко, Д.Д. Бадюков</i> Трансформация стока биогенных элементов и кальция в зоне смешения вод р. Черной и Севастопольского залива	182
<i>В.С. Савенко</i> Аутигенное силикатообразование в океане как источник атмосферной углекислоты	185
<i>Л.М. Сороковикова, И.В. Томберг, Н.В. Башенхаева</i> Динамика химического состава в зоне смешения речных и озерных вод (р. Селенга – оз. Байкал)	187
<i>Ю.А. Федоров, А.Э. Овсеян</i> О соотношении валовой и метилртути в донных отложениях устьевой области р. Северная Двина	190

<i>Т.Б. Филатова</i> Сезонные изменения содержания растворённого кислорода в водах Азовского моря и прибрежной части Чёрного моря весной и летом 2007 г.	193
<i>Т.Б. Филатова, В.А. Филатова</i> Рекомендации по хранению проб воды для определения концентраций биогенных веществ	195
<i>М.В. Чельшьева, Е.В. Якушев, В.К. Часовников</i> Оценка скоростей трансформации азота и фосфора в редокс-слое Чёрного моря	197
<i>В.М. Шулькин, Н.Н. Богданова, С.И. Коженкова</i> Сезонная изменчивость содержания металлов в прибрежно-морских вод (зал. Петра Великого, Японское море)	200
<i>М.Н. Щербакова</i> Пеллетовые известняки – продукты биофильтрации?	203
<i>О.П. Яковлева, Н.А. Скибицкая</i> Биогеохимические особенности формирования месторождений углеводородов в погребенных рифогенных (биогермных) постройках	205
<i>Е.В. Якушев, И.С. Кузнецов, О.И. Подымов</i> Моделирование влияния кислородсодержащих интрузий на биогеохимическую структуру Готландской котловины Балтийского моря	208
<i>H.J.W. De Baar, K.R. Timmermans, P. Laan, H. de Porto, J. Blom, S. Ober, M. Bakker, J. Schilling, G. Sarthou, M. Smit, M. Klunder</i> Titan: a New Facility for Ultraclean Sampling of Trace Elements and Isotopes in the Deep Oceans in the International GeoTraces Program	211

Система Белого моря, 4-D исследования

<i>Т.Н. Алексеева, О.М. Дара</i> Гранулометрический состав осадков центральной части Белого моря	214
<i>Р.А. Алиев, В.П. Шевченко, А.Н. Новигатский</i> Вертикальные профили ²¹⁰ Pb и ¹³⁷ Cs в донных отложениях Белого, Баренцева и Карского морей	216
<i>А.С. Балувев, В.А. Журавлев, Д.С. Зыков, С.Ю. Колодяжный, Е.С. Пржиялговский, Е.Н. Терехов</i> Тектоническая карта Белого моря и прилегающих территорий	218
<i>С.В. Бердников, А.Е. Цыганкова</i> Региональные особенности распределения соединений меди в морских экосистемах с активной абразией (на примере Белого моря)	221
<i>А.А. Виноградова, Л.О. Максименков, Ф.А. Погарский</i> Антропогенная нагрузка на природную среду акватории Белого моря со стороны промышленных объектов Мурманской области (атмосферный канал)	224

<i>Ю.С. Долотов, Н.Н. Филатов, Н.А. Римский-Корсаков, В.П. Шевченко, Р.Э. Здорвеннов, И.П. Кутчева, Н.В. Денисенко, Н.Н. Немова, А.В. Толстиков</i> Комплексные исследования физических, химических, геологических и биологических процессов в эстуариях и прибрежной зоне Белого моря	227
<i>Н.Н. Завершина</i> Тенденции загрязнения природной среды Архангельской агломерации в 2002–2006 гг.	230
<i>Н.С. Замбер, В.П. Шевченко, С.А. Поздняков, О.С. Покровский, Е.В. Васюкова</i> Влияние эолового переноса загрязняющих веществ на состояние окружающей среды в районе г. Костомукша, Карелия	233
<i>Г.П. Киселев, Н.С. Замбер, И.М. Киселева</i> Гамма-активные изотопы в компонентах природной среды Государственного природного заповедника «Костомукшский»	236
<i>Г.П. Киселев, Н.С. Замбер, Н. Рехачева</i> Радон компонентов природной среды Государственного природного заповедника «Костомукшский»	239
<i>В.В. Колька, В.Я. Евзеров</i> Неотектонические перемещения и палеогеография Беломорской котловины в позднеледниковье и голоцене	242
<i>М.Д. Кравчишина</i> Гранулометрический состав водной взвеси Белого моря	245
<i>М.Д. Кравчишина, И.Н. Мицкевич, Е.Ф. Веслополова, В.П. Шевченко, А.П. Лисицын</i> О взаимосвязи взвеси и микроорганизмов в водах Белого моря	248
<i>Т.Г. Кузьмина, А.Ю. Леин, Л.Н. Лучшева, А.С. Новигатский</i> Валовый состав поверхностных осадков Белого моря	251
<i>А.В. Леонов, О.В. Чичерина</i> Математическое моделирование условий трансформации биогенных веществ в экосистеме Белого моря	254
<i>А.Н. Ляпин, А.Н. Новигатский, М.Д. Кравчишина, А.А. Клювиткин, Н.В. Политова, А.С. Филиппов, В.П. Шевченко</i> Особенности распределения взвешенного материала в Белом море	257
<i>Д.М. Мартынова</i> Роль трех массовых холодноводных видов копепод в потоке органического вещества в Белом море	260
<i>В.В. Мелентьев, В.И. Черноок, Л.Х. Петтерссон</i> Атлас льда Белого моря: 4-D исследования параметров, пригодных для устойчивого развития экосистемы и благополучия морских млекопитающих	262
<i>Е.А. Морозов, И.М. Примаков, О.В. Хаймина</i> Исследование влияния гидродинамики на пространственное распределение беломорского зоопланктона	264

<i>А.А. Насекина</i> Весеннее половодье 2007 г. в устьевой зоне р. Северная Двина	267
<i>И.А. Немировская</i> Природные и антропогенные углеводороды в экосистеме Белого моря	270
<i>Е.С. Пржиялговский, А.С. Балувев, Е.Н. Терехов</i> Пострифейская пропагация Онежско-Кандалакшского палеорифта	273
<i>И.Г. Радченко, Л.В. Ильяш</i> Вариабельность видового состава и обилия фитопланктона Белого моря в поздне-летний период	276
<i>А.Ф. Сажин, Т.Н. Ратькова, В.П. Шевченко, Н.Д. Романова</i> На- селение весеннего льда Белого моря в устьевой зоне Северной Двины	279
<i>В.М. Сорокин, М.Ю. Токарев, А.В. Старовойтов, А.Н. Головки, Г.В. Баскакова, М.Л. Чернышова, В.Л. Лукша, А.Л. Мурашка, В.О. Мокиевский</i> Строение и состав четвертичных отложений губы Нильма, Белое море	282
<i>В.М. Сорокин, Э.Р. Исламова</i> Осадки пролива Великая Салма (Белое море)	284
<i>Д.А. Субетто, В.П. Шевченко, Т.В. Сапелко, Д.Д. Кузнецов, А.В. Лудикова, Н.Н. Андреева, Г.Д. Субетто</i> История озер Соловецкого архипелага и изменения уровня Белого моря в голоцене. Предварительные результаты палеолимнологических исследований 2006 г.	286
<i>Н.Н. Филатов</i> Белое море и водосбор под влиянием климати- ческих и антропогенных изменений	289
<i>А.Л. Чульцова, Л.Э. Скибинский</i> Распределение биогенных элементов в период летней межени в геобарьерной зоне «река Северная Двина - Двинской залив Белого моря»	292
<i>В.П. Шевченко, В.А. Бобров, Ф.А. Романенко, Р.А. Алиев, В.В. Гордеев, Л.Л. Демина, Ю.П. Колмогоров, Е.А. Новичкова, О.С. Олюнина, О.Н. Успенская</i> Геохимия торфяных залежей по- луострова Киндо, беломорское побережье Северной Карелии	295
<i>Л.С. Широкова, О.С. Покровский, В.А. Гоголицын</i> Влияние лито- логии подстилающих пород, гидрологической обстановки и форм нахождения микроэлементов и органического вещества на микро- биологические характеристики рек водосбора Белого моря	298
<i>О.С. Покровский, Ж. Виерс, Е.В. Васюкова, В.П. Шевченко, Л.С. Широкова, М.Д. Кравчишина, А.Ю. Богунов</i> Формы нахож- дения микроэлементов и органического вещества в водосборном бассейне Белого моря (реки Северная Двина и Пинега)	301
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	304

CONTENTS

Nanotechnologies and mass and energy fluxes (atmo-, cryo-, hydro-, litho-, sedimentospheres)

<i>D.N. Aibulatov</i> The estimation of the particulate matter flow of the unstudied rivers of the Russian Arctic	4
<i>V.A. Bobrov</i> Determination of fluxes of chemical elements from the atmosphere to the surface imploing microelements in peat from West-Siberian upland swamps	7
<i>A.A. Vinogradova</i> Environment pollution of the Russian Arctic Seas from Russian polar industry (atmospheric transport of heavy metals)	10
<i>V.V. Gorbatskiy, A.N. Babakov, V.V. Sivkov</i> Features of lithodynamical processes in offshore zone of SE Baltic Sea by autonomic bottom stations data	13
<i>N.V. Goryunova, V.P. Shevchenko</i> Elemental composition of aeolian matter in the Russian Arctic Seas	15
<i>V.A., Gritsenko, A.G. Zatsepin, S.S. Nizov</i> Wave-vortical regime of along slope current propogation and resuspension of bottom sediments	18
<i>Yu.N. Gursky</i> Paragenetic ecology-geochemical function of Lithosphere	20
<i>V.I. Denisov, S.Y. Chernousov</i> Fluxes of Suspended Matter on the Black Sea Shelf (Summary of 20-years' Investigations)	23
<i>O.V. Ivlieva</i> Accumulation of sedimentary material on the Azov Sea coast within 50 years	26
<i>A.A. Klyuvitkin, V.V. Zernova, M.M. Domanov, T.S. Klyuvitkina</i> Distribution of suspended particulate matter and phytoplankton in the Southern Atlantic in November–December 2004	28
<i>A.A. Klyuvitkin, A.N. Novigatsky, A.S. Filippov, E.V. Yakushev</i> Suspended particulate matter and particle fluxes at the oxic/anoxic interface of the Black Sea	31
<i>A.A. Klyuvitkin, N.V. Politova, A.N. Novigatsky</i> Atmospheric aerosols in the arid areas of the Atlantic Ocean in March–April 2005	34
<i>K.P. Koutsenogii, O.V. Chankina, M.A. Bizin, S.A. Popova, B.S. Smolyakov, V.P. Shevchenko</i> Spatial and temporary variability of the chemical composition of atmospheric aerosols above the White Sea and continent	37
<i>V.N. Lukashin</i> Study of the sedimentation system of the contour currents at the Bear Island continental slope	40

<i>M.I. Malakhov, G.Yu. Malakhova</i> Magnetorheological model of lithogenetic structures of the ocean pelagic region – I (atmosphere and hydrosphere: the stage of sedimentological genesis, step of pre-sedimentological genesis)	42
<i>M.I. Malakhov, G.Yu. Malakhova</i> Magnetorheological model of lithogenetic structures of the ocean pelagic region – II (lithosphere: the stage of sedimentological genesis, steps of protosyngensis and syngensis)	45
<i>M.I. Malakhov, G.Yu. Malakhova</i> Magnetorheological model of lithogenetic structures of the ocean pelagic region – III (lithosphere: the stage of diagenesis, steps of protodiagenesis, of the early and late diagenesis)	48
<i>M.V. Mityaev, M.V. Gerasimova, E.I. Druzhkova</i> Vertical particle fluxes in the Dalnezelenetskaya Bay of the Barents Sea (July–September 2006)	51
<i>I.A. Nemirovskaya, V.P. Shevchenko, A.N. Novigatsky</i> Organic compounds in snow-ice cover of the Arctic regions	54
<i>V.N. Oreshkin</i> Development of electrothermal atomic absorption and atomic fluorescence analysis of sea samples	57
<i>V.V. Sivkov</i> Contourites and drifts investigations in the Atlantic Ocean	60
<i>V.V. Sivkov, V.A. Zhamoïda, Yu.P. Kropatchev, A.N. Babakov, V.V. Gorbatskiy, V.A. Chechko, B.V. Chubarenko</i> Features of recent morpho- and litodynamical processes on the underwater slope of the Curonian Spit (South-Eastern Baltic)	63
<i>A.S. Stoletova, V.P. Shevchenko, M.A. Bizin, K.P. Koutsenogii</i> Pathways of aeolian transport of matter to the Cape Kartesh area, the White Sea	66
<i>G.V. Tarasenko, E.A. Demicheva</i> Ball concretion of paleo-ocean Tetis, their role in cognition of the planet Land and new energy	69
<i>Y.A. Fedorov, A.N. Kouznetsov, M.E. Trofimov, E.N. Lenets</i> Cs-137 and Pb-210 in the Sediment Cores of the Sea of Azov as the Indicators of Sedimentation Chronology	72
<i>V.A. Chechko, V.Y. Kurchenko</i> Organization of continuous observations (monitoring) of transborder aerosol fluxes at the Vistula Spit (the Baltic Sea)	75
<i>V.A. Chudaeva, O.V. Chudaev, S.G. Yurchenko</i> Concentrations and flux of microelements to the Sea of Japan from Primorye rivers	78
<i>V.P. Shevchenko, A.P. Lisitzin</i> Aeolian and ice transport and fluxes of sedimentary matter in the Arctic	81
<i>Jörn Thiede</i> German Marine Geosciences during the 4th International Polar Year	86

Biogeochemical processes in seas and oceans

<i>E.V. Beketov, T.V. Matveeva, L.L. Mazurenko, H. Shoji, H. Minami, Y.K. Jin, E.A. Logvina</i> Some features in composition of sediment-pore waters from hydrate-bearing seepage structures at the Deriugin Basin (results from 2006 expedition in the frame of CHAOS III project)	88
<i>A.A. Bogush, G.A. Leonova</i> Chemical elements species into inorganic subsystem of estuarial surface waters of the Onega River	91
<i>A.V. Vershinin, A.V. Egorov, A.G. Rozanov</i> Fluxes of dissolved chemical forms from the sediments of the Gulf of Gdansk of the Baltic Sea	94
<i>A.V. Vershinin, A.V. Egorov, A.G. Rozanov</i> Investigations of fluxes of dissolved chemical forms for the Blue Bay of the Black Sea	96
<i>A.A. Vetrov, V.I. Peresyphkin, I.P. Semiletov, E.A. Romankevich, A.N. Charkin</i> Genesis of organic matter of bottom sediments from the East-Siberian Sea	98
<i>D.N. Garkusha, Yu.A. Fedorov, M.I. Khromov</i> Estimation of the methane discharge with the river outflow into the European seas of Russia	101
<i>O.M. Gorshkova, A.V. Krasnushkin, S.V. Lyutsarev, E.M. Prashikina</i> Dissolved organic matter nanoparticles of Moscow river waters	104
<i>O.M. Gorshkova, V.J. Gordeev, A.V. Krasnushkin, E.A. Romankevich, E.V. Fedoseeva-Bandolina</i> Some hydrochemical parameters and DOM nanoparticles for water lake Baikal and other reservoirs of the Baikal region	105
<i>L.L. Demina, S.V. Galkin</i> Role of the Hydrothermal Bottom Fauna? Trophic Structure in Bioaccumulation of the Heavy Metals	106
<i>L.L. Demina, N.S. Oskina, N.B. Keller, O.M. Dara</i> Peculiarities of the Deep-Sea Corals' Biomineralization	109
<i>V.I. Denisov, S.Y. Chernousov, A.N. Kouznetzov</i> Distribution of Pb, Cu and Hg in Different Natural Components of the Black Sea Shelf (Utrish Cape Area)	112
<i>M.M. Domanov, A.I. Svininnikov, V.V. Kobylansky, T.G. Kuzmina, E.G. Vodyanaya</i> Heavy metals in surface sediments of Derugin basin (Okhotsk Sea)	115
<i>O.V. Dudarev, A.N. Charkin, I.P. Semiletov, E.B. Karabanov, S. Armstrong, D.A. Kosmach, E.A. Spivak, I.V. Utkin</i> Sediment accumulation within the Lena River mouth region	117
<i>O.V. Dudarev, A.N. Charkin, I.P. Semiletov, P.Y. Tizhenko, M.S. Obrezkova, I.V. Utkin</i> Heterogeneity scales of the particulate matter composition in the «Amur River – Okhotsk and Japan seas» system	120

<i>A.V. Egorov, A.G. Rozanov, A.V. Vershinin</i> Use of multi-purpose antonomic oceanography station for research of chemical flows through a sea bottom	123
<i>S.P. Zakharkov, A.A. Bosin, T.N. Gordeichuk</i> The relationship modern production with concentration organic matter and chlorine in surface sediments in the Sea of Okhotsk	126
<i>V.V. Zernova, M.M. Domanov</i> Arcto-boreal phytoplankton community in overshelf zones of Kamchatka and Sakhalin	129
<i>L.A. Kodina, V.G. Tokarev, G.S. Korobeinik, L.N. Vlasova, M.P. Bogacheva</i> Origin of gaseous hydrocarbons C ₂ ⁺ in the Kara Sea as a consequence of early diagenetic alteration of organic matter in the water body	131
<i>N.M. Kokryatskaya, O.N. Vorontsova</i> Reduced sulfur and organic carbon in the sediments of the North Dvina estuary	134
<i>K.N. Kosobokova</i> Zooplankton swimmers in the sediment traps – a tool to investigate the population dynamics of the plankton populations	137
<i>K.N. Kosobokova</i> Contribution of zooplankton to biosedimentation processes in the mesopelagic zone of the Arctic Ocean	138
<i>E.A. Kudryavtzeva</i> Spatial inhomogeneity of primary production and bacterial destruction of organic matter in the Gdansk basin of the Baltic Sea	139
<i>A.V. Kurshева, D.A. Kononov</i> Geochemical Data Interpretation of Spectral Fluorescence Analysis of Aromatic Hydrocarbons in Bottom Sediments of Arctic Water Areas	142
<i>A.Yu. Lein</i> Reservoir of the methane and the methanotrophic rate in the arctic seas water column and sediments	144
<i>G.A. Leonova, V.A. Bobrov</i> Methodical features of trace elements research of plankton	147
<i>G.A. Leonova, V.A. Bobrov, A.A. Bogush</i> Features of biological accumulation of trace elements by continental, estuarial and sea plankton	150
<i>E.A. Letyagina, V.Yu. Lavrushin</i> General Litologic and Geochemical Characters of the Sediments and Gas structure poral waters on Cabo Verde	153
<i>I.V. Mosharova, V.V. Il'inskii</i> Isolation of the PCB-tolerant and PCB-transforming heterotrophic bacteria in the Baydarazkay bay of the Kara Sea	155
<i>B.B. Namsaraev, S.P. Buryukhaev, Z.B. Namsaraev, D.D. Barkhutova, O.P. Dagurova, V.M. Gorlenko, A.V. Tatarinov</i> Geochemical activity microbial community in hydrotherms of Western Pacific and Baikal rift zone	158

<i>A.S.Neroda, V.F.Mishukov</i> Effect of KOSA atmospheric phenomena on chemical composition of air over Vladivostok	161
<i>S.V. Pakhomova, E.V. Yakushev</i> On the possible mechanism of formation of the shallow minimum and deep maximum of phosphate at the sulfide boundary of the Black Sea	164
<i>V.I. Petrova, T.A. Korotkova, I.V. Litvinenko, T.V. Stepanova, G.A. Cherkashev</i> Organic matter of the bottom sediments from hydrothermal field Ashadze-1 (13 ⁰ N, Mid-Atlantic Ridge)	167
<i>V.I. Petrova, G.I. Batova, I.V. Litvinenko</i> Organic matter of the deep bottom sediments in the Arctic Ocean	169
<i>N.V. Pimenov, M.O. Chestnova, T.S. Prusakova, E.E. Zacharova, V.V. Sivkov</i> Microbial and biogeochemical processes at the pockmark area in the Gdansk Deep of the Baltic Sea	172
<i>I.I. Pipko, I.P. Semiletov, S.P. Pugach, I.I. Repina, A.N. Salyuk</i> CO ₂ fluxes in the ocean-atmosphere system on the East-Siberian Sea shelf . . .	174
<i>T.G. Potemkina, A.N. Suturin</i> Characteristics of landscape environments of Lake Baikal coastal zone	176
<i>A.V. Savenko</i> Estimation of water saturation degree on the calcium carbonate in the Volga mouth area	179
<i>A.V. Savenko, D.D. Badyukov</i> Transformation of biogenic elements and calcium runoff in the Chernaya River and Sevastopol Bay mixing zone	182
<i>V.S. Savenko</i> Autigenic silicates formation in the ocean as the source of atmospheric carbonic acid	185
<i>L.M. Sorokovikova, I.V. Tomberg, N.V. Bashenkaeva</i> Dynamics of the water chemistry within the zone of fluvial and lake waters mixing (the Selenga River – Lake Baikal)	187
<i>Yu.A. Fedorov, A.E. Ovsepyan</i> To the ratio of total mercury and methylmercury in bottom sediments of the Northern Dvina estuary	190
<i>T.B. Filatova</i> Seasonal Changes of Dissolved Oxygen Concentration in waters of Sea of Azov and the Coastal Part of the Black Sea during Spring and Summer 2007	193
<i>T.B. Filatova, V.A. Filatova</i> The Recommendations to the Storage of Water Samples for the Determination of Biogenic Matter Concentration	195
<i>M.V. Chelysheva, E.V. Yakushev, V.K. Chasovnikov</i> Estimating of the rates of N and P transformation in the redox layer of the Black Sea	197
<i>V.M. Shulkin, N.N. Bogdanova, S.I. Kozhenkova</i> Seasonal variability of the trace metals in the coastal waters (Peter The Great Bay, Sea of Japan)	200

<i>M.N. Shcherbakova</i> The pellete limestones are products of the filtration?	203
<i>O.P. Yakovleva, N.A. Skibitskaya</i> Biogeochemical features of hydrocarbon deposits' forming in buried reefgenic (biohermic) constructions	205
<i>E.V. Yakushev, I.S. Kuznetsov, O.I. Podymov</i> Modeling of the influence of oxygenated inflows on the biogeochemical structure of the Gotland Deep, Baltic Sea	208
<i>H.J.W. De Baar, K.R. Timmermans, P. Laan, H. de Porto, J. Blom, S. Ober, M. Bakker, J. Schilling, G. Sarthou, M. Smit, M. Klunder</i> Titan: a New Facility for Ultraclean Sampling of Trace Elements and Isotopes in the Deep Oceans in the International GeoTraces Program	211

White Sea System, 4-D investigations

<i>T.N. Alekseeva, O.M. Dara</i> Grain-size composition of the sediments in central part of White Sea	214
<i>R.A. Aliev, V.P. Shevchenko, A.N. Novigatsky</i> Vertical profiles of ²¹⁰ Pb and ¹³⁷ Cs in bottom sediments of the White, Barents and Kara seas	216
<i>A.S. Baluev, V.A. Zhuravlev, D.S. Zykov, S.Yu. Kolodyazhny, E.S. Przhiyalgovsky, E.N. Terechov</i> Tectonic Map of the White Sea and Adjoining Territories	218
<i>S.V. Berdnikov, A.E. Tsygankova</i> Regional features of copper compounds distribution in marine ecosystems with active abrasion (for example of the White Sea)	221
<i>A.A. Vinogradova, L.O. Maksimenkov, F.A. Pogarskii</i> Anthropogenic loading to the environment of the White Sea from the industry of Murmansk region (atmospheric channel)	224
<i>Yu.S. Dolotov, N.N. Filatov, N.A. Rimskii-Korsakov, V.P. Shevchenko, R.E. Zdorovenov, I.P. Kutcheva, N.V. Denisenko, N.N. Nemova, A.V. Tolstikov</i> Multidisciplinary studies of physical, chemical, geological and biological processes in estuaries and coastal zone of the White Sea	227
<i>N.N. Zavernina</i> Tendencies of the Arkhangelsk agglomeration environment pollution	230
<i>N.S. Zamber, V.P. Shevchenko, S.A. Pozdnyakov, O.S. Pokrovsky, E.V. Vasyukova</i> Influence of aeolian transport of pollutants on the environment in vicinity of Kostomuksha, Karelia	233

<i>G.P. Kiselev, N.S. Zamber, I.M. Kiseleva</i> Gamma-active isotopes in components of an environment of the State natural reserve "Kostomuksha"	236
<i>G.P. Kiselev, N.S. Zamber, N. Rekhacheva</i> Radon of the environmental components of the State natural reserve "Kostomuksha"	239
<i>V.V. Kolka, V.Ya. Evzerov</i> Neotectonic transfer and paleogeography of White Sea depression in the Late Glacial period and Holocene	242
<i>M.D. Kravchishina</i> Grain size distribution of suspended particulate matter in the White Sea	245
<i>M.D. Kravchishina, I.N. Mitzkevich, E.F. Veslopolova, V.P. Shevchenko, A.P. Lisitzin</i> About the relationship between suspended particulate matter and microorganisms in the White Sea waters	248
<i>T.G. Kuz'mina, A.Y. Lein, L.N. Luchsheva, A.S. Novigatskiy</i> Major elements of the surface sediments of the White Sea	251
<i>A.V. Leonov, O.V. Chicherina</i> Mathematical Modeling of Biogenic Substance Transformation in the White Sea Ecosystem	254
<i>A.N. Lyapin, A.N. Novigatskiy, M.D. Kravchishina, A.A. Klyvitkin, N.V. Politova, A.S. Filippov, V.P. Shevchenko</i> Features of distribution of the suspended particulated matter in the White Sea	257
<i>D.M. Martynova</i> Role of three abundant cold-water copepod species in organic matter flux in the White Sea	260
<i>V.V. Melentyev, V.I. Chernook, L.H. Pettersson</i> Ice atlas of the White Sea: 4-D investigations of the parameters valid for sustainable development and marine animals' welfare	262
<i>E.A. Morozov, I.M. Primakov, O.V. Khaimina</i> Investigation of the hydrodynamics influence on the spatial distribution of the White Sea zooplankton	264
<i>A.A. Nasekina</i> Spring 2007 flood in the Northern Dvina mouth zone	267
<i>I.A. Nemirovskaya</i> Natural and anthropogenic hydrocarbons in the ecosystem of the White Sea	270
<i>E.S. Przhivalgovskiy, A.S. Baluev, E.N. Terekhov</i> Onega-Kandalaksha Rift Propagation later on Riphean	273
<i>I.G. Radchenko, L.V. Ilyash</i> Variability of Species Composition and Abundance of the White Sea Phytoplankton in Late Summer	276
<i>A.F. Sazhin, T.N. Rat'kova, V.P. Shevchenko, N.D. Romanova</i> Inhabitants of the White Sea spring ice in the Northern Dvina mouth zone	279
<i>V.M. Sorokin, M.J. Tokarev, A.V. Starovoytov, A.N. Golovko, G.V. Baskakova, M.L. Chernishova, V.L. Luksha, A.L. Murashka, V.O. Mokievskiy</i> Structure and composition of the quaternary sediments in the Nilma bay, the White Sea	282

<i>V.M. Sorokin, E.S. Islamova</i> Sediments in the Grand Salma channel (The White Sea)	284
<i>D.A. Subetto, V.P. Shevchenko, T.V. Sapelko, D.D. Kuznetsov, A.V. Ludikova, N.N. Andreeva, G.D. Subetto</i> History of Solovetsky Archipelago lakes and the White Sea level in Holocene. Preliminary results of 2006 paleolimnological studies	286
<i>N.N. Filatov</i> The White Sea and their watershed under influences of climate and anthropogenic impact	289
<i>A.L. Tchoultsova, L.A. Skibinskiy</i> Distributing of biogenic elements in the period of summer mezheny in a geobar'ernoy area «of the Northern Dvina River- Dvinskoy bay of the White Sea»	292
<i>V.P. Shevchenko, V.A. Bobrov, F.A. Romanenko, R.A. Aliev, V.V. Gordeev, L.L. Demina, Y.P. Kolmogorov, E.A. Novichkova, O.S. Olyunina, O.N. Uspenskaya</i> Geochemistry of lake and bog deposits of Kindo Peninsula, Northern Karelia nearshore zone	295
<i>L.S. Shirokova, O.S. Pokrovsky, V.A. Gogolitzin</i> Influence of rock composition, hydrology and speciation of trace elements and organic carbon on river microbial population in the White Sea basin	298
<i>O.S. Pokrovsky, J. Viers, E.V. Vasukova, V.P. Shevchenko, L.S. Shirokova, M.D. Kravchishina, A.Yu. Bogunov</i> Trace element and organic matter speciation in the White Sea basin (Severnaya Dvina and Pinega rivers)	301

Научное издание

**ГЕОЛОГИЯ
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

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

Москва, 12–16 ноября 2007 г.

Том III

Подписано к печати 18.10.2007.
Формат 62х94 1/16. Бумага офсет № 1, 80 г/м².
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Уч.-изд. 20,25 п.л.
Тираж 400 экз.
Тип. ВТИИ. Москва, зак. № .

Издательство ГЕОС
125315, Москва, 1-й Амбулаторный пр., 7/3-114.
Тел./факс: (095) 152-19-14, тел. 230-80-92.
E-mail: geos@ginras.ru



Фото из www.ocean.ru



Фото В.П. Шевченко