

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

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

Москва, 14–18 ноября 2011 г.

Том IV

Москва
ГЕОС
2011

**ББК 26.221
Г35
УДК 551.35**

Геология морей и океанов: Материалы XIX Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. – М.: 2011. – 310 с.

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

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

Материалы опубликованы при финансовой поддержке Отделения наук о Земле РАН, Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 11-05-06052), издательства ГЕОС.

Ответственный редактор
Академик А.П. Лисицын

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

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

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

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

ISBN 975-5-89118-554-8
ББК 26.221

© ИО РАН 2011

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

Батурин Г.Н.¹, Емельянов Е.М.²

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, gbatur @ocean.ru;

²Атлантическое отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград)

Геохимия углеродистых осадков Балтийского моря

Baturin G.N.¹, Emelyanov E.M.²

(¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; ²Atlantic Branch of Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kalinigrad)

Geochemistry of carbonaceous sediments of the Baltic Sea

Обогащенные углеродом осадки современных морей и океанов представляют особый интерес для литологов и геохимиков как современные аналоги черных сланцев, широко распространенных в осадочных толщах разного возраста и являющихся во многих случаях источниками цветных и редких металлов. К их числу относятся, в частности, углеродистые осадки Балтийского моря, исследование которых было начато в конце XIX века [1] и продолжается в наше время при активном участии российских ученых. Но несмотря на значительное количество публикаций, посвященных этой теме [2-11], вопрос об их полном элементном составе изучен недостаточно, что ограничивает возможность их детального сопоставления с аналогичными осадками и породами из других районов.

Для восполнения этого пробела нами исследован основной и микроэлементный состав 5 представительных образцов углеродистых осадков из центральной части моря, что позволяет сопоставить полученные данные с составом обедненных органикой осадков Финского залива [11], а также углеродистых отложений морей и океанов разного возраста.

Материал для исследования собран авторами в 24 рейсе НИС “Профессор Штокман” (1989) и в 9 рейсе НИС “Академик Сергей Вавилов” (1991). Изученные осадки как основной акватории, так и Финского залива представлены глинистыми илами.

Определение элементного состава осадков (за исключением SiO_2 и $\text{C}_{\text{орг}}$) выполнено в Аналитическом сертификационном центре ВИМС методом ИСП-МС под руководством С.В. Кордюкова, а содержание вышеназванных двух элементов определяли химическим методом в аналитическом подразделении ИОРАН (аналитики Н.П. Толмачева, А.Б. Исаева, Е.О. Золотых).

Судя по результатам анализов (табл.1), главным различием макрокомпонентного состава илов основной акватории Балтийского моря и Финского залива является, во-первых, содержание органического углерода, составляющее в среднем соответственно 4.4% и 1%, и содержание оксида марганца, который распределяется противоположным образом – в среднем, соответственно, 0.13 и 1.75%.

В распределении остальных макроэлементов такой резкой разницы нет,

и выявляется довольно близкое содержание кремнезема (в среднем 60.9%), оксидов алюминия (13.5 и 11.7%), титана (0.65 и 0.48%), железа (7.0 и 6.9%). Кроме того, илы основной акватории незначительно обогащены магнием, натрием и калием, но обеднены кальцием и фосфором.

Исследованные микроэлементы разделены для удобства рассмотрения на рудные металлы и все редкие и рассеянные элементы (табл. 2).

Что касается рудных металлов, присутствующих в рассматриваемом материале в умеренных концентрациях, то углеродистые осадки обогащены относительно осадков Финского залива медью и ванадием в 4-4.5 раза, цинком и свинцом в 2-2.5 раза, никелем, молибденом и ураном в 1.5 раза.

Из прочих микроэлементов в углеродистых илах основной акватории накапливаются, относительно илов Финского залива, лишь пять – цезий, литий, сурьма, скандий и стронций, но не более чем в 2-2.5 раза.

Сопоставление микроэлементного состава углеродистых осадков Балтики с литостратиграфическими кларками, рассчитанными для углеродистых металлоносных сланцев мира [Кетрис, Юдович, 2009], показывает, что по содержанию рудных элементов первые довольно близки ко вторым. Балтийские илы обогащены относительно сланцевых кларков молибденом, свинцом и цинком в 1.5-2.5 раза, равноценны по содержанию кобальта, никеля и урана и лишь немного уступают по содержанию меди и ванадия. Для остальных микроэлементов характерно пестрое распределение, причем тренд к относительно повышенной концентрации (относительно сланцев) в балтийских углеродистых илах выявлен для литогенных элементов – лития, рубидия и тория, в то время как противоположный тренд характерен для серебра, мышьяка, висмута, кадмия, ртути, сурьмы, селена, стронция, таллия и циркония.

Наряду с этим полученные нами результаты можно сопоставить также со средними содержаниями элементов в осадочных породах [Виноградов, 1962]. Такое сопоставление расширяет круг элементов, которые в той или иной степени накапливаются в балтийских углеродистых илах относительно глобального геохимического фона: по рудным элементам степень обогащения достигает 10 раз для молибдена и 3-4 для свинца, цинка и урана; для микроэлементов степень обогащения составляет для висмута 50 раз, для кадмия - 6, селена - 4, серебра, мышьяка и сурьмы от 2 до 3.

В группу элементов, содержание которых в рассматриваемых илах совпадает со средним содержанием в осадочных породах, входят кобальт, медь, ванадий, бериллий, хром, литий, скандий, торий, таллий, висмут, кадмий, хром, цезий, галлий, литий, сурьма, скандий и вольфрам. Но они богаче молибденом в 5 раз и другими рудными элементами в 2-3 раза.

Более значительна группа элементов с относительно пониженной концентрацией: от 3 до 5 раз (Hg, Sr, Ta, W) и в 1.3 - 2 раза (Ni, Ba, Cs, Ga, Nb, Rb, Sn, Zr, Y и 14 редкоземельных элементов).

Наиболее близким аналогом углеродистых осадков Балтийского моря

являются сапропелевые илы другого внутриконтинентального бассейна - Черного моря, геохимия которых описана в работе [12]. Согласно этим данным, черноморские сапропели идентичны или близки к балтийским углеродистым осадкам по содержанию кобальта, серебра, мышьяка, бария, висмута, хрома, цезия, галлия, лития, сурьмы, селена, таллия и вольфрама, но богаче Mo в 5 раз и рудными элементами в 2-3 раза.

В пределах собственно Балтийского моря углеродистые пелитовые илы основного бассейна и близкие к ним по литологии, но обедненные органикой мелководные пелитовые илы Финского залива существенно различаются за счет обогащения первых рудными металлами-индикаторами аноксидной среды осадконакопления, включая: Mo, Cu, Ni, Pb, Zn, V, U, а также Sn и Bi.

Сопоставление этих осадков с углеродистыми аналогами из Черного моря и со средним составом осадочных пород свидетельствует, что рассмотренные отложения являются современными аналогами металлоносных черных сланцев, формировавшихся в аноксидных бассейнах мира начиная с докембрия.

Таблица 1. Основной химический состав осадков, %

Компо нент	№№ станций										Чер. мо- ре*
	Основная акватория						Финский залив				
	4195	31-2	573	575	576	Ср.	748	741	760	Ср.	
SiO ₂	42.4	-	58.7	50.2	81.7	76	67	55	60	61	27.7
Al ₂ O ₃	11	15	14	14	13	13. 5	12.8	7.2	11.7	10.6	9.3
TiO ₂	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6 5	0.5	0.4	0.5	0.5	3.67
Fe ₂ O ₃	7.4	6.8	7.2	7.1	6.7	7.0	5.2	13.4	2.1	7.0	3.52
MnO	0.06	0.07	0.09	0.25	0.20	0.1 3	0.43	4.38	0.45	1.75	0.025
CaO	0.9	1.3	1.4	1.1	1.0	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3	5.1
MgO	2.6	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	1.8	1.2	2.0	1.7	2.3
Na ₂ O	2.4	3.1	3.1	3.4	4.4	3.3	2.5	1.8	2.1	2.1	4.93
K ₂ O	2.9	4.6	4.3	3.5	4.0	3.9	3.4	1.9	2.8	2.7	1.52
S _{общ}	2.3	1.1	1.8	1.4	1.8	1.7	-	-	-	-	2.45
P ₂ O ₅	-	0.23	0.22	0.24	0.26	0.2 4	0.11	-	0.55	0.33	0.27
C _{орг}	4.2	3.9	4.	4.4	5.0	4.4	-	-	-	-	16.8

* древнечерноморские сапропели

Таблица 2. Содержание микроэлементов в осадках, г/т

Эл.	Морские бассейны									Сред. черн. сл.
	Балтика, № № станций						Финский залив			
	4195	31	573	575	576	Сред	От	До	Сред	
	Рудные элементы									
Co	19,4	15,5	19,8	20,3	23	20	8,6	60,5	20	18
Cu	81,1	43,9	76	51,4	48,7	60	5	42	15	140
Mo	73,9	13,4	51,9	5,7	11,9	32	7,8	54	24	14
Ni	60,5	53,2	60,6	57,3	55,2	57,4	15	87	34	67
Pb	42,4	63,9	78,4	68,8	60,2	62,7	10	40	25	25
Zn	180	257	386	241	193	252	32	284	90	160
V	141	114	127	137	126	129	13	96	28	180
U	20,4	7,6	13,2	4,6	5,9	8,3	4,3	8,3	6,7	9,9
	Прочие микроэлементы									
Ag	<0,05	0,37	0,45	0,22	0,19	0,26	0,26	0,56	0,39	1,7
As	32,1	14,7	23,6	18,9	26,3	23,1	6,6	105	49	58
Ba	554	525	512	431	418	528	500	5500	1250	630
Be	2,1	3	2,6	2/8	2,9	2,7	2,01	2,24	2,11	2,6
Bi	0,42	0,56	0,6	0,76	0,46	0,56	0,27	0,56	0,44	1,8
Cd	1,4	1,4	3,9	1,1	1,4	1,8	1,85	2,95	2,4	6,2
Cr	89,6	92,2	91,5	88,1	85	89,3	42	89	62	93
Cs	7	7	6,7	6,8	6,6	6,8	2,6	3,7	3,2	4,2
Ga	19,3	20	20,9	19,1	19,4	19,7	16,8	30,6	23	17
Hf	3,2	3,4	3,7	3,3	3,5	3,4	3,5	5,5	4,7	4,5
Hg	0,17	0,18	0,17	0,09	0,21	0,16	-	-	-	0,32
Li	38,8	56,4	53,6	52,9	53,8	51,5	18,8	30,8	26	37
Nb	11,2	12,8	12,9	12,2	12,4	12,2	9,5	14,9	12	15
Rb	143	139	145	133	131	138	97	162	127	76
Sb	1,8	2,7	5,8	3,1	3,4	3,4	0,7	2,1	1,4	5,3
Sc	14	13,6	13,2	13,1	12,7	13,3	5,6	7,6	6,4	12
Se	3,9	1,5	2,3	1,8	2	2,3	-	-	-	9,3
Sn	2,9	5,2	6,7	4,6	4,4	4,8	1,6	4	2,7	5,7
Sr	103	117	108	105	100	106	185	288	230	230
Ta	0,9	1	1,1	1	1	1	1	2,5	1,6	0,8
Th	12,5	14	14,6	13,1	13,2	13,4	11,3	21,1	16	7,8
Tl	1,3	0,95	1,6	0,92	0,94	1,1	0,8	1	0,9	2,2
W	1,7	2,2	2,8	2	2	2,1	1,9	2,7	2,2	2,7
Y	34,6	25,6	28,3	26,5	27,5	28,4	25,6	33,9	29	23
Zr	118	114	113	103	110	112	125	181	153	200

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grewingk C. Submarine exposure of eastern Baltic dolomite // Sitzungsberichte der Naturforscher-Gesellschaft der Universitet Dorpat. 1884. B.6. S. 83-87.
2. Gripenberg S. The study of the sediments of the North Baltic and adjoining seas // Merentutkimus Julk. Havsfors. Skrift. 1934. V. 96. 231 p.
3. Koszy F.F., Tomic E., Hecht F. Zur Geochemie des Urans in Ostseebecken // Geochim. et cosmochim. acta. 1957. V. 11. № 1/2. P. 86-102.
4. Горшкова Т.И. Осадки Балтийского моря // Тр. ВНИРО. 1960. Т. 42. С. 42-51.

5. Manheim A.T. A geochemical profile in the Baltic Sea // *Geochim. et cosmochim. acta*. 1961. V. 25. № 1. P. 52-70.
6. Батурин Г.Н. К вопросу о геохимии урана в Балтийском море // *Геохимия*. 1968. № 3. С. 377-383.
7. Блажчишин А.И. Геологическое строение и осадки Балтийского моря. Автореф. канд. дисс. Калининград. 1972. 32 с.
8. Геология Балтийского моря. Под ред. Гуделиса В.К., Емельянова Е.М. Вильнюс, 1976. 384 с.
9. Геохимия осадочного процесса в Балтийском море. Под ред. Емельянова Е.М., Лукашина В.Н. М.: Наука, 1986. 230 с.
10. Emelyanov E.M. Baltic Sea: Geology, Geochemistry, Paleoceanography, Pollution 1996. Kaliningrad: Yantarny Scaz, 1995. 120 p.
11. Батурин Г.Н. Геохимия железомарганцевых конкреций Финского залива // *Литология и полез. ископаемые*. 2009. № 5. С. 457-467.
12. Батурин Г.Н. Геохимия сапропелей Черного моря // *Геохимия*. 2011. № 5. С. 531-535.

The carbonaceous sediments of the Baltic Sea are enriched in Mo, Cu, Ni, Pb, Zn, V, and U relative to organic-poor sediments of the Bay of Finland. The geochemical comparison of these sediments with sapropelic deposits of the Black Sea along with average concentrations of elements in sedimentary rocks allows to conclude that described deposits of both these seas are recent variations of metalliferous black shales.

Белевич Т.А.¹, Семенова В.С.², Ильяш Л.В.¹

(¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 3438083@list.ru; ²Совет по морским млекопитающим, Москва)

**Прибрежный фитопланктон у лежбища моржей в
Чукотском море**

Belevich T.A.¹, Semenova V.S.², Ilyash L.V.¹

(¹Moscow State University, Moscow, ²Marine Mammal Council, Moscow)

**Coastal phytoplankton near walruses haulout in the Chukchi
Sea**

Сокращение ледового покрова арктических морей в летне-осенний период, вызванное климатическими изменениями, повлияло на сезонное распределение некоторых видов морских млекопитающих. Моржи – стадные животные и предпочитают отдыхать на льду небольшими группами, а в отсутствии льда вынуждены формировать скопления на берегу. При этом места выхода животных на берег не постоянны и зависят от кормовой базы. В местах кормежки моржей бентосные сообщества за 2-3 года беднеют, и животные меняют места отдыха. Всего на побережье Чукотского моря зафиксировано до 15 лежбищ этих крупных млекопитающих [1]. Обычно эти скопления не превышают 100 особей, однако мониторинг лежбищ тихоокеанского моржа в 2007-2009 гг. показал, что численность животных может достигать нескольких десятков тысяч [2]. Так, в 2008 г. на южном побережье Чукотского моря на мысе Кожевникова было зафиксировано большое береговое лежбище тихоокеанских моржей во время их осенней миграции [1]. Численность животных, прошедших через это лежбище за весь миграционный период, составила более 60 тыс. особей. Массовое скопление крупных млекопитающих может воздействовать не только на макробентос (кормовую базу), но и на другие звенья экосистемы прибрежных вод. В частности, продукты жизнедеятельности моржей при попадании в окружающую водную среду могут оказывать влияние на планктонные водоросли. Ранее исследования фитопланктона прибрежных вод у лежбищ не проводили. В настоящей работе представлены первые данные по обилию и составу фитопланктона в районе берегового лежбища тихоокеанских моржей в Чукотском море.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для работы послужили пробы фитопланктона, собранные в ходе мониторинга береговых лежбищ тихоокеанского моржа на южном побережье Чукотского моря – мыс Кожевникова (рис. 1) с 18.08 по 30.11.2008 г. и с 28.08 по 20.09.2009 г. Моржи находились на лежбище с 22.09 по 21.10 в 2008 г. и с 30.08 по 22.10 в 2009 г.

Пробы для исследования фитопланктона отбирали ведром в 1–2 м от берега у лежбища и в 300 м от лежбища. У лежбища пробы отбирали во

время ухода моржей на кормежку. Пробы объемом 1,5 л концентрировали методом обратной фильтрации и фиксировали раствором Люголя [3]. Численность водорослей определяли методом прямого счета в камере Ножотта (объемом 0,05 мл), используя микроскоп Микромед-3. Объемы клеток определяли методом геометрического подобия [4]. Клеточное содержание органического углерода рассчитывали по аллометрическим зависимостям [5]. При рассмотрении видового богатства фитопланктона надвидовые таксоны эукариот даны в соответствии с таксономической системой, приводимой в работе [6].



Рис. 1. Место отбора проб на южном побережье Чукотского моря

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фитопланктон исследованной акватории характеризовался большим видовым богатством (табл. 1). Также отмечены мелкие жгутиковые водоросли, не поддающиеся идентификации. Наибольшим числом видов были представлены диатомовые водоросли, что характерно для шельфовых морей Арктики [7]. Диатомовые были представлены как планктонными, так и бентосными формами (в основном представители рода *Navicula*). Значительное число бентосных диатомей обусловлено небольшой глубиной в местах отбора проб. Среди динофлагеллят отмечены как миксотрофные, так и гетеротрофные формы.

По наблюдениям в 2008 г. биомасса фитопланктона вне лежбища снижалась от сентября к ноябрю, однако в дни со штормовой погодой (6.10

и 3.11) наблюдалось существенное увеличение биомассы (рис. 2). До начала ноября основной вклад в суммарную биомассу давали диатомовые водоросли, затем доминирующей группой стали динофлагелляты. Преобладание динофлагеллят в поздне осенний период характерно и для других арктических морей [8, 9].

Таблица 1. Число видов и таксонов рангом ниже вида.

Надвидовые таксоны	2008 г. 18.08–30.11	2009 г. 28.08–20.09	Всего
Bacillariophyta	51	58	90
Dinzoa	13	11	21
Chrysophyceae	1	2	3
Chlorophyta	2	7	6
Cyanobacteria	3	3	4
Всего	68	81	127

Биомасса фитопланктона вне лежбища в сентябре была выше в 2009 г. (среднее $36,8 \pm 23,2$ мкг С/л), чем в 2008 г. (среднее $8,5 \pm 4,2$ мкг С/л). Различались и доминирующие виды (табл. 2).

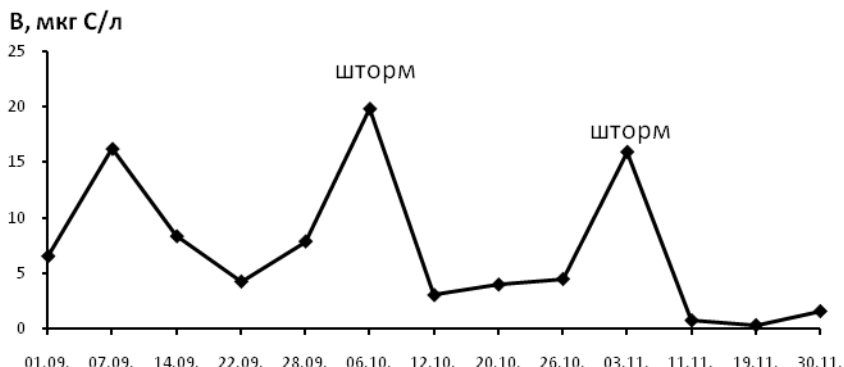


Рис. 2. Динамика биомассы фитопланктона в 300 м от лежбища в 2008 г.

Из шести параллельных наблюдений за фитопланктоном на лежбище и в отдалении от лежбища в четырех случаях биомасса фитопланктона была выше вне лежбища (табл. 2). Также в четырех случаях не совпадал и состав доминирующих видов водорослей.

Различия в обилии и структуре фитопланктона на лежбище и вне лежбища могут быть обусловлены следующими причинами. В воде у лежбища следует ожидать повышенного содержания мочевины (конечного

продукта азотного обмена у млекопитающих), которая в высокой концентрации токсична для планктонных водорослей [10]. Тогда как в отдалении от лежбища содержание мочевины из-за разбавления должно снижаться. Многие планктонные водоросли способны потреблять мочевину в качестве источника азота [10], особенно в условиях недостатка его минеральных форм. Лимитирование развития фитопланктона недостатком азота в позднелетний и осенний периоды показано для многих арктических морей [8, 9]. В отдалении от лежбища за счет потребления мочевины биомасса фитопланктона увеличивается. В такую схему укладываются и наблюдения 28.09 и 12.10 в 2008 г., когда биомасса фитопланктона была более высокой в районе лежбища. К 28.09 моржи находились на лежбище шесть дней и, по-видимому, за этот срок содержание мочевины в близлежащих водах еще не достигло высокой (подавляющей рост водорослей) концентрации, а наоборот, мочевина стимулировала рост фитопланктона. Шторм, прошедший 6 октября, мог способствовать снижению содержания мочевины ниже токсичного уровня.

Таблица 2. Биомасса фитопланктона (В, мкг С/л), доминирующие водоросли и их вклад в суммарную биомассу (цифры в скобках, %)

Дата	У лежбища		В 300 м от лежбища	
	В	Доминирующие формы	В	Доминирующие формы
28.09.2008	31,4	<i>Fragilaria islandica</i> (82)	7,9	<i>Fragilaria islandica</i> (30)
06.10. 2008	11,5	<i>Thalassiosira</i> spp. (22)	19,8	<i>Thalassiosira</i> spp. (22)
12.10. 2008	4,3	Цисты Dinzoa (22)	3,0	<i>Thalassiosira</i> spp. (30)
03.09.2009	25,2	<i>Fragilaria islandica</i> (14)	63,3	<i>Odontella pulchella</i> (24)
13.09.2009	11,7	<i>Odontella obtusa</i> (17)	19,6	<i>Odontella pulchella</i> (20)
20.09. 2009	11,7	Цисты Dinzoa (26)	27,7	<i>Odontella obtusa</i> (28)

Впервые выявленное нами влияние береговых скоплений крупных морских млекопитающих на структуру и обилие фитопланктонного сообщества дает основание полагать, что аналогичное воздействие существует и в районах ледовых лежищ моржей. Полученные результаты расширяют современные представления о биотических связях в арктических экосистемах, столь труднодоступных для научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болтунов А.Н., Никифоров В.В. Результаты береговых наблюдений за белыми медведями (*Ursus maritimus*) на востоке Российской Арктики в 2006-2009 гг. // Морские млекопитающие голарктики. Материалы VI международной конференции. Калининград: Капрос, 2010. С. 81-86.
2. Семенова В.С., Болтунов А.Н., Никифоров В.В. Береговое лежбище тихоокеанских моржей (*Odobenus rosmarus divirgens*) на м. Кожевникова, 2007-2009 гг. // Морские млекопитающие голарктики. Материалы VI международной конференции. Калининград: Капрос, 2010. С. 521-526.
3. Радченко И.Г., Капков В.И., Федоров В.Д. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона. М.: Мордвинцев, 2010. 60 с.
4. Hillebrand H., Durselen C. D., Kirschtel D., Pollinger U., Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // J. Phycol. 1999. V. 35. P. 403-424.
5. Menden-Deuer S., Lessard D.J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton // Limnol. Oceanogr. 2000. V. 45. P. 569-579.
6. Adl S.M., Simpson A. G.B., Farmer M.A., et al. The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists // J. Eukaryot. Microbiol. 2005. V. 52. P. 399-451.
7. Poulin M., Daugbjerg N., Gradinger R., Ilyash L., Ratkova T., Quillfeldt von C. The pan-Arctic biodiversity of marine pelagic and sea-ice unicellular eukaryotes: a first-attempt assessment // Marine Biodiversity. 2011. V. 41. № 1. P. 13-28.
8. Ильяш Л.В., Житина Л.С., Федоров В.Д. Фитопланктон Белого моря. М.: «Янус-К», 2003. 168 с.
9. Sakshaug E., Johnsen G., Kristiansen S., et al. Phytoplankton and primary production // Ecosystem Barents Sea. Trondheim: Tapir Academic Press, 2009. P. 167 – 208.
10. Antia N.J., Harrison J.P., Oliveira L. The role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology and ecology // Phycologia. 1991. V. 30. P. 1–89.

The response of phytoplankton structure and abundance to mass gathering of pacific walrus at coastal haulout was studied on the south coast of the Chukchi Sea in August-November 2008 and August-September 2009. Our results revealed that coastal haulouts exert influence on the structure and abundance of algae communities.

Бобров В.А.¹, Богуш А.А.¹, Леонова Г.А.¹, Краснобаев В.А.²

(¹Институт геологии и минералогии В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, bobr@igm.nsc.ru; ²Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, bioin@sifibr.irk.ru)

Проявления аномальных концентраций цинка и меди в торфянике верхового Выдринского болота (Южное Прибайкалье)

Bobrov V.A.¹, Bogush A.A.¹, Leonova G.A.¹, Krasnobaev V.A.²

(¹V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk; ²Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of Siberian Branch of RAS, Irkutsk)

Anomalous Concentrations of Zinc and Copper in Highmoor Peat Vydrinaya Bog (Southeast Coast of Lake Baikal)

Верховые болота представляют исключительный интерес в плане изучения геохимического фона земной поверхности, поскольку торфяная биомасса в них накапливается при незначительном потоке минерального вещества в составе атмосферных осадков, химические элементы в которых сосредоточены в твердой фазе аэрозоля. При таких условиях вклад минеральной компоненты в единице объема сформированного стратифицированного горизонта находится на уровне 0.2–0.4% весовой массы, что выражается 2–4% весовой массы сухого торфа. Слабое выщелачивание атмосферной водой (дождевой, снеговой) минерального вещества, выпавшего на болото, гарантирует сохранность химического состава минеральной компоненты стратифицированных горизонтов торфяной массы. В свою очередь, элементный состав стратифицированных горизонтов торфяника может дать ценную информацию об атмосферном аэрозоле различных временных периодов [1, 2].

Выдринское болото, по нашему мнению, является наиболее типичным представителем верховых болот в прибрежной юго-восточной полосе оз. Байкал. Объектом нашего исследования является Выдринское болото (координаты: 51° 29.56' с.ш., 104° 52.78' в.д.), расположенное на высоте 30 м над уровнем Байкала в правобережной устьевой части дельты р. Выдриной (Южное Прибайкалье). Рельеф правобережья дельты приподнят над левобережьем на высоту 200–250 м и сливается с южными склонами хребта Хамар-Дабан. Уровень грунтовой (болотной) воды соизмерим с таковым водной поверхности оз. Очки, расположенного в 100 м к югу от Выдринского болота и отгороженного от него 3-метровым по высоте суходолом с полноствольным лесом (сосна, береза, кедр). По определениям Л.А. Орловой (радиоуглеродное датирование, ИГМ СО РАН) наполнение озера органическим осадком (сапропелем) началось 11 тыс. лет назад одновременно с нарастанием торфяной залежи на болоте. Для обоих

объектов, и, прежде всего для торфяника, поступление минерального вещества и микроэлементов из атмосферы (дождь, снеговая вода, пыль) сохраняло приоритет на протяжении всего голоцена [3].

В процессе изучения торфяной залежи, вскрытой на Выдринском болоте, мы столкнулись с аномальными для верховых болот проявлениями концентрирования Zn и Cu, достигающими 600–500 г/т в расчете на сухое вещество в горизонтах раннего голоцена (360–440 см), сформировавшихся в период 11–8.5 тыс.л.н. (рис. 1). Средние значения концентраций Zn и Cu (24 и 31 г/т сух. в.) в горизонтах интервала 180–360 см (8.5–6 тыс.л.н.) значительно отличаются от таковых (233 и 111 г/т сух. в.) в горизонтах интервала 360–440 (11–8.5 тыс.л.н.). Обогащенность тяжелыми металлами атмосферного аэрозоля юго-восточного побережья Байкала выявлена на основе анализа снеговых проб во второй половине XX века [4, 5]. Близость железной и автомобильной дорог могла быть определяющим фактором повышенных концентраций Zn, достигающих 100 г/т сух. веса в верхних «деятельных» горизонтах торфяника Выдринского болота, с кратностью обогащения по отношению к консервативным элементам в 20–30 раз. При этом кратность обогащения Cu не превышала 8 раз.

Для объяснения менее интенсивного обогащения цинком и медью горизонтов торфяника 180–300 см (в 5–10 раз, рис. 1) следует принять предположение, что фракционирование химических элементов в атмосфере Байкальской котловины существовало в более раннем периоде голоцена и степень фракционирования была сопоставима с таковой в атмосфере западно-сибирской таежной зоны в последнее тысячелетие [2]. Тем не менее, трудно обосновать, что атмосферный источник является единственным питающим источником верховых болот. Вариант существования глубинного источника поставки цинка и меди с ещё большим основанием принимается для объяснения аномально высоких концентраций в нижних горизонтах торфяника. Сведения о выходе азотных и метановых термальных вод с температурой 75⁰С в зоне тектонических нарушений, проходящих вдоль южного склона хребта Хамар-Дабан, в устьевой части дельты р. Выдриной (район местоположения Выдринского болота) мы находим в [6]. Непосредственно для Выдринского болота предположение о глубинном источнике, функционирующем в настоящее время, строится на основе наблюдений в июне 2009 г. дневных температур воздуха, которые не превышали 15⁰С, а температура воды в озере не опускалась ниже 23–25⁰С.

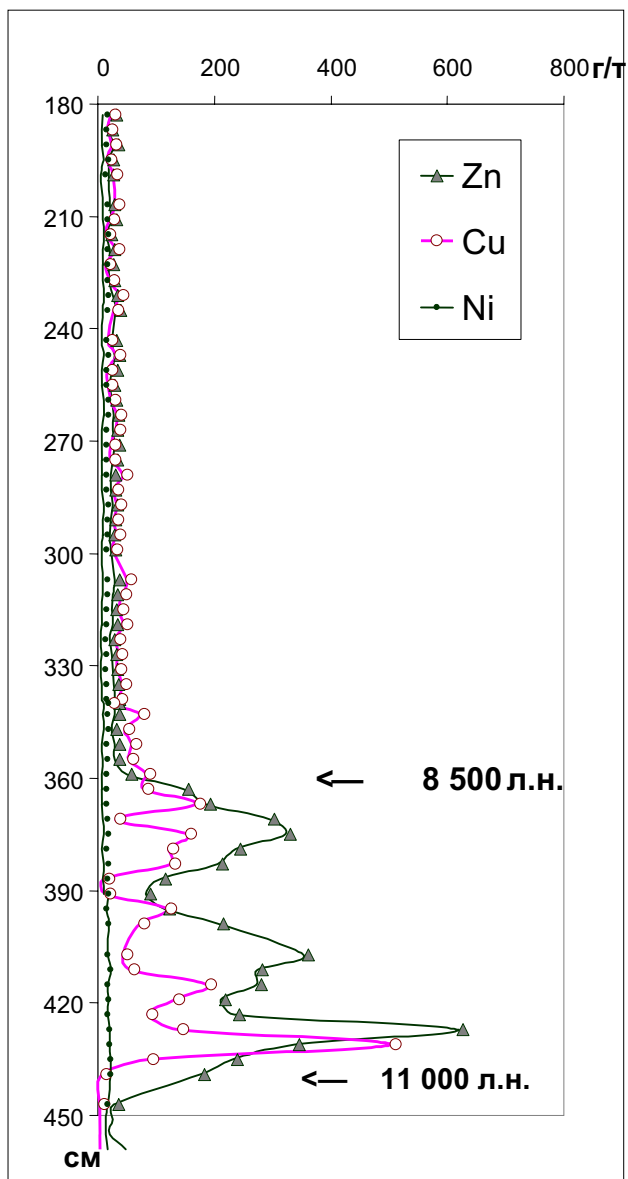


Рис. 1. Распределение Zn, Cu и Ni в сухом веществе торфа бурового керна торфяной залежи Выдринского болота

С целью выявления минеральных форм нахождения Zn и Cu образцы торфа из горизонтов торфяника с максимальными концентрациями этих элементов были исследованы с применением сканирующего электронного микроскопа «Leo 1430VP». Встроенный в электронный микроскоп полупроводниковый детектор позволяет регистрировать рентгеновское излучение химических элементов в диапазоне 0.2–10 кэВ. На фотографиях сканирующего электронного микроскопа видно, что Zn и Cu присутствуют внутри растительных клеток сфагнома в виде аутигенных минералов сульфидов микронной размерности. При более детальном исследовании показано, что кристаллы сульфидов представлены преимущественно сульфидами меди с примесью цинка, размер отдельных кристаллов варьирует от 0.5 до 3 мкм (рис. 2). Сульфиды меди и цинка отлагаются на внутренней мембране растительной клеточной оболочки, состоящей из органического вещества, в котором выявлено присутствие Ca, Si, S, Fe и Al.

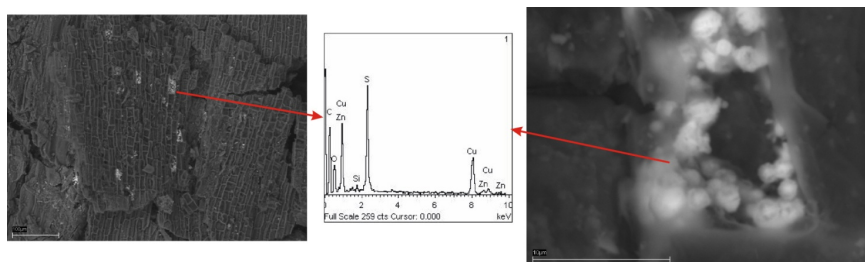


Рис. 2. Формирование сульфидов меди и цинка внутри клетки сфагнома

Можно предположить несколько путей формирования сульфидов. Это может быть связано с тем, что растительная клеточная оболочка обладает неровной поверхностью и на ней могут образовываться сорбционные центры или центры кристаллизации сульфидов. Адсорбция на клеточной мембране может быть как физической, так и химической, связанной с присутствием в клеточной оболочке отрицательно заряженных функциональных групп: PO_4^{3-} , COO^- , HS^- , OH^- . При определенных условиях, в нашем случае при восстановительных, например при разложении органического вещества или под действием сульфатредуцирующих бактерий, такие металлы, как цинк и медь, будут образовывать сульфиды. При потере растительной клеткой воды (процессы старения, отмирания, высыхания и т.п.) ионы элементов могут накапливаться в локальных участках цитоплазмы, в которых в какой то момент времени может произойти пересыщение раствора по определенному минералу, в нашем случае, по сульфидам меди и цинка.

Таким образом, подвижные формы Zn и Cu поставляются, по-нашему предположению, глубинными термальными водами, доказательством существования которых служит относительно повышенная температура

воды оз. Очки и ее химический состав [3]. Отсутствие аномальных концентраций Zn и Cu в слое 180–300 см, тем не менее, не дает однозначного ответа о времени образования локальных скоплений сульфидов. Современная подпитка глубинными водами озера возможна и для торфяника, поскольку они имеют между собой одинаковый уровень стояния воды. Открытым остаются вопросы о времени образования сульфидов Zn и Cu в торфянике или за счет современной подпитки гидротермальными водами, или за счет их активизации в ранние периоды голоцена.

Вероятность образования тонкодисперсных сульфидов цинка и меди, возможно, является широкомасштабным явлением в болотах предгорных равнин, где наряду с атмосферной поставкой этих металлов дополнительным источником предполагаются грунтовые (гидротермальные) воды сульфатного состава. Исследование торфяника и озерных отложений на смежных участках юго-восточного побережья Байкала позволит найти ответ на возникающие вопросы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 08-05-00392, 11-05-00655 и 11-05-12038-офи-м-2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shotyk W., Cheburkin A.K., Appleby P.G. et al. Two thousand years of atmospheric arsenic, antimony and lead deposition in an ombrotrophic bog profile, Jura Mountains, Switzerland // *Earth and Planetary Science Letter*. 1966. V. 145. P. 1–7.
2. Гавшин В.М., Сухоруков Ф.В., Будашкина В.Д. и др. Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника // *Геохимия*. 2003. № 12. С. 1337–1344.
3. Бобров В.А., Леонова Г.А., Федорин М.А. и др. Элементный состав органогенных осадков озера Очки (Прибайкалье), сформировавшихся в голоцене // *Успехи органической геохимии: материалы Всерос. науч. конф.* / Под ред. А.Э. Конторовича. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2010. С. 40–44.
4. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1997. 234 с.
5. Ходжер Т.В. Исследование состава атмосферных выпадений и их воздействия на экосистемы Байкальской природной территории: Автореф. дис. ...д-ра геогр. наук. Москва, 2005. 44 с.
6. Атлас Байкала / Под ред. Г.И. Галазия. М.: Роскартография, 1993. 160 с.

The results obtained indicate that biogenic mineral formation plays a significant role in this system, which is a very important argument in the discussion on the ore genesis, in which physicochemical processes are normally favored, while the role of living matter is quite frequently disregarded.

**Богущ А.А.¹, Леонова Г.А.¹, Бобров В.А.¹, Кузьмина А.Е.²,
Кривоногов С.К.¹, Аношин Г.Н.¹, Тихова В.Д.³**

(¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, annakhol@gmail.com; ²Лимнологический институт СО РАН, Иркутск; ³Институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск)

Особенности биоминералообразования в торфах и сапропелях Байкальского региона

**Bogush A.A.¹, Leonova G.A.¹, Bobrov V.A.¹, Kuzmina A.E.²,
Krivonogov S.K.¹, Anoshin G.N.¹, Tikhova V.D.³**

(¹Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk; ²Limnological Institute SB RAS, Irkutsk; ³Institute of organic chemistry SB RAS, Novosibirsk)

Features of biomineralization in peat and sapropel at the Baikal region

Миграция химических элементов в биосфере осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой (O₂, CO₂, H₂S и т.д.) обусловлены живым веществом, как тем которое в настоящее время населяет данную систему, так и тем, которое действовало в биосфере в течение геологической истории. Данное очень важное положение А.И. Перельман предложил именовать законом Вернадского [1]. Вернадский В.И. исследовал природные процессы как единое целое, учитывая как биогенную, так и абиогенную составляющую [2, 3]. Одной из важных функций живого вещества является концентрационная, которая сначала была описана В.И. Вернадским и затем дополнялась важными результатами многих ученых [1, 4, 5]. Благодаря концентрационной функции живого вещества во многих живых организмах обособляются минеральные образования [6]. Роль живого вещества в миграции элементов огромна, но к сожалению не всегда учитывается при исследовании некоторых природных процессов, например, минералообразовании в органогенных средах таких как торфа, сапропели, угли, черные сланцы и т.п. Хорошо известно, что в органогенных средах очень часто происходит значительное концентрирование таких элементов как Cu, Zn, Ag, Au и т.п. [7-10], но до сих пор еще плохо изучены механизмы данного процесса, в особенности роль живого вещества.

В данной работе хотелось бы более подробно остановиться на некоторых особенностях биоминералообразования в торфах и сапропелях и тем самым показать огромную роль живого вещества при концентрировании элементов. Объектами исследования послужили торфяник Выдринского болота, находящийся на территории Байкальского биосферного заповедника в 3-х километрах от устья р. Выдринки, и сапропель озера Духовое (Восточная Сибирь, Прибайкалье). Работа была

выполнена на базе лаборатории «Геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии» Института Геологии и Минералогии имени В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск).

В горизонтах торфяника верхового болота Выдринское, датированного возрастом 11-10 тыс. л.н. выявлены аномально высокие концентрации цинка и меди, достигающие 3000-2000 г/т в расчете на сухую массу торфа. Показано, что данные элементы присутствуют внутри растительных клеток сфагнома в виде аутигенных сульфидов Zn и Cu с микронной размерностью [11]. Наиболее вероятным источником повышенных концентраций металлов, по нашему мнению, являются глубинные воды. Наряду с цинком и медью в торфянике Выдринского болота на глубине 390-410 см обнаружены частицы самородного серебра (рис. 1). На снимке сканирующего электронного микроскопа, полученном в режиме вторичных электронов, хорошо видно, что частицы серебра (5-7 мкм) образуются внутри органического вещества клеточной оболочки сфагнома, содержащей Ca, Al, S и Cu. Можно предположить следующий механизм концентрирования самородного Ag в мембране растительной клетки сфагнома (рис. 1). Ионы серебра из окружающей среды диффундируют в клеточную оболочку растения, где они могут легко восстанавливаться под влиянием органических компонентов мембраны, например полисахаридов, которые будут служить как восстановители. Таким образом, наночастицы Ag могут откладываться в растительной клеточной оболочке, а затем агрегироваться в более крупные частицы.

В настоящее время проводится геохимическое исследование 7-метрового керна сапропеля оз. Духовое поднятого методом ударного бурения. В разрезе прослеживается уплотнение материала к нижнему горизонту, вещество становится более однородным. В верхних горизонтах можно четко различить отдельные формы и виды фитопланктона, чего нельзя сделать в нижних слоях. Интересен и уникален факт образования отдельных кристаллов сульфидов железа с размером 5-10 мкм, которые относятся к ромбической сингонии с ромбо-дипирамидальной формой, в гладких сферических капсулах, являющихся цистами золотистых водорослей (*Chrysophyceae*), стенки которых состоят из органокремнистого материала и содержат Si, O, C, Ca, Al, S, Fe и Na. Хризофитовые водоросли образуют цисты (стоматоцисты) с кремнистыми оболочками, которые имеют размер от 2 до 30 мкм, но хорошо сохраняются в донных осадках по всему миру, начиная с мелового периода [12]. В исследованных пробах были обнаружены самые простые по строению цисты гр. 1 (сферические и гладкие), которые могут относиться к нескольким родам. Также были обнаружены цисты, относящиеся к гр. 9 (сферические с бородавчатыми выростами), но их таксономическая принадлежность пока не установлена [13]. Известно, что золотистые водоросли необычайно требовательны к содержанию железа в воде, которое используют для синтеза цитохрома. Возможно, этот факт

является важным для формирования сульфидов железа внутри цист. При восстановительных условиях и при потере воды, что характерно для цист, возможно пересыщение раствора по сульфиду железа, который и будет образовываться внутри сферических капсул. Формирование сульфида железа может быть связано также с сорбционными процессами, как это было описано выше для торфов. Пока можно предполагать, что цисты золотистых водорослей являются своеобразными «микрореакторами», в которых создаются условия для формирования микрокристаллов пирита.

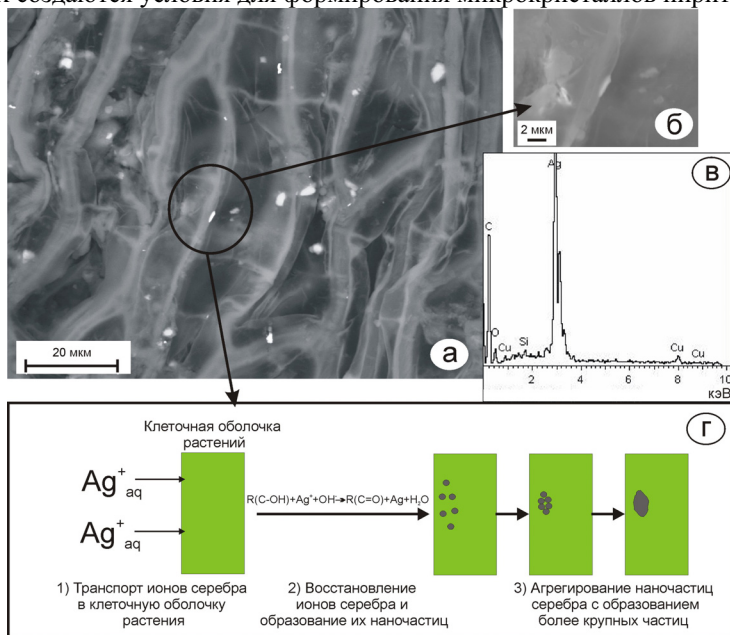


Рис. 1. Формирование самородного серебра в клеточной стенке сфагнума;
Примечание: а – СЭМ-снимок сфагнума с микрочастицами серебра; б – СЭМ-снимок микрочастицы серебра в режиме вторичных электронов; в – энергодисперсионный спектр микрочастиц серебра; г – схема образования микрочастиц серебра в клеточной стенке сфагнума

Полученные результаты показывают значительную роль биогенного минералообразования в торфах и сапропелях, что является очень важным результатом в дискуссии о генезисе рудообразования, в которой отдается предпочтение физико-химическим процессам и довольно часто не учитывается роль живого вещества. Также необходимо отметить, что факты формирования частиц металлического серебра внутри клеточной мембраны сфагнума и формирование микрокристаллов пирита в цистах золотистых водорослей установлены впервые.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 08-05-00392, 11-05-00655 и №11-05-12038-офи-м-2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979. 258 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера. Л.: Научное химико-техническое издательство, 1926.
3. Вернадский В.И. Избранные сочинения. М: Издательство АН СССР, 1960.
4. Полюнов Б.Б. Избранные труды. М.: Издательство АН СССР, 1956.
5. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 215 с.
6. Лапо А.В. Следы былых биосфер. М.: Знание, 1987. 208 с.
7. Бернатонис В.К. Роль органического вещества в процессах гипергенной миграции золота // Гидрогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых. Новосибирск: Наука, 1990. С. 122-124.
8. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Золото в углях // Литогенез и геохимия осадочных формаций Тимано-Уральского региона (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН; Вып. 116), 2004, № 5. С. 80-109.
9. Арбузов С.И., Рихванов Л.П., Маслов С.Г., Архипов В.С., Павлов З.И. Аномальные концентрации золота в бурых углях и торфах Юго-Восточной части Западно-Сибирской плиты // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 7. С. 25-30.
10. Беляев В.К., Педаш Е.Т. Малые элементы в углях и вмещающих породах Шубаркольского месторождения // Разведка и охрана недр. 1989. № 11. С. 12-16.
11. Бобров В.А., Богущ А.А., Леонова Г.А., Краснобаев В.А., Аношин Г.Н. Аномальные проявления концентраций цинка и меди в торфянике верхового болота Южного Прибайкалья // Доклады Академии Наук. 2011. Т. 439. № 6. С. 784–788.
12. Cronberg G. Chrysophycean stomatocysts and scales in lake sediments: a review // Chrysophytes aspects and problems. Eds Kristiansen J., Andersen R.A. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1986. P. 281–315.
13. Фирсова А.Д., Кузьмина А.Е., Томберг И.В., Потемкина Т.Г., Лихошвай Е.В. Сезонная динамика формирования стоматоцист хризифитовых водорослей в планктоне южного Байкала // Известия РАН. Серия биологическая. 2008. № 5. С. 589-596.

Some aspects of biomineralization in peat and sapropel at the Baikal region were considered. The obtained results show an important role of biogenic mineral formation in the investigated peat and sapropel. That is a very important argument in the discussion about ore genesis in which physicochemical processes are normally favoured, while the role of living matter is quite frequently disregarded.

Гарькуша Д.Н.^{1,2}, Федоров Ю.А.¹

(¹Южный Федеральный Университет, ²Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, gardim1@yandex.ru; fed29@mail.ru)

Метан в донных отложениях Азовского моря и устьевой области реки Дон

Garkusha D.N.^{1,2}, Fedorov Yu.A.¹

(¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, ²Hydrochemical institute, Rostov-on-Don)

Methane in the bottom sediments of the Sea of Azov and the Don River mouth area

Многолетние исследования авторов [1-7], проведенные на реках, озерах, в эстуариях и морях России и сопредельных стран, позволили получить огромный фактический материал, имеющий большое теоретическое и прикладное значение. Эти работы приобрели особую актуальность сейчас, когда метан признан мировым научным сообществом в качестве одного из главных парниковых газов. Наши исследования, которые длятся уже свыше 15 лет, посвящены изучению в водных экосистемах особенностей и закономерностей образования и пространственно-временного распределения метана, его миграции, трансформации и эмиссии в атмосферу. За это время отобрано и проанализировано несколько тысяч проб воды и донных отложений морей и эстуариев, рек, мелких ручьев, озер, прудов и водохранилищ. Анализ отечественных и зарубежных публикаций, связанных с данной тематикой, указывает на особую уникальность наших исследований, выразившуюся в систематичности проведения наблюдений на некоторых водных объектах в течение более 10-летнего периода времени. Такими водными объектами являются, в том числе, река Дон и Азовское море, изучение распределения содержания метана в воде и донных отложениях которых начато нами еще в 1995 году. Постановка экспериментов, отбор, транспортировка, хранение проб и последующее определение в них концентрации метана парофазным газохроматографическим методом осуществлялись по методикам, описанным в работе [7].

Пространственно-временное распределение содержания метана в отложениях устьевой области р. Дон и Азовского моря неравномерно. Неоднородность распределения ярко проявляется как по площади их акватории, так и по вертикальному разрезу осадков. Наибольшая амплитуда колебания значений отмечается в верхних горизонтах отложений до 15-20 сантиметров, что связано с большим влиянием на эти слои гидрохимических, климатических и метеорологических факторов.

От верховья устьевое участка р. Дон к морскому краю дельты содержание метана в самом верхнем слое донных отложений возрастает (рисунок). Особенно заметное увеличение его концентраций отмечается в

низовье Дона на участке от г. Аксай до впадения в залив, что обусловлено существенным снижением скорости течения водотока и в силу этого формированием более тонких фракций грунтов, а также мощным антропогенным прессингом городов (прежде всего г. Ростова-на-Дону), расположенных в пределах Аксайско-Азовского участка реки. В зоне смешения речных вод с более минерализованными водами Таганрогского залива при солёности 1,0-2,0 ‰ наблюдается резкий спад концентрации метана в верхнем слое осадков, после чего его количество по направлению к устью залива снижается менее значительно. Еще один достаточно резкий спад в 2-3 раза содержания метана в донных отложениях отмечается при выходе из залива в открытую часть Азовского моря при солёности 11-12 ‰.

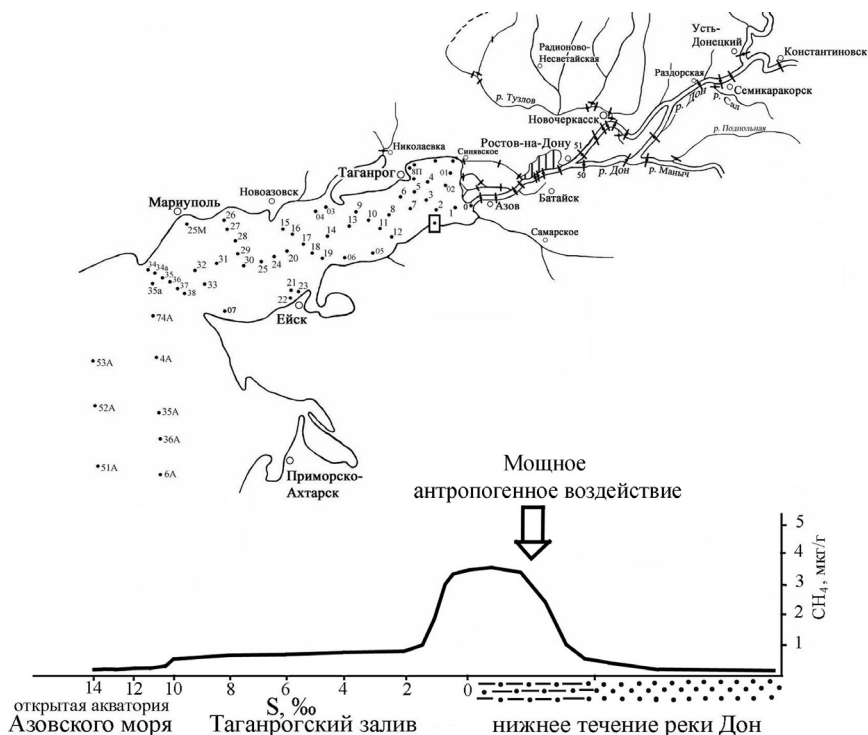


Рис. Схема расположения станций и график распределения содержания метана по профилю «Нижний Дон – Таганрогский залив – открытая акватория Азовского моря» в верхнем 0-5 см слое донных отложений

Характер изменения содержания метана при возрастании солёности указывает на то, что данное явление обусловлено не только разбавлением речного стока морскими водами, но и снижением интенсивности

продуцирования метана в верхних горизонтах донных отложений морей и зон смешения, что согласуется с работами [2, 7, 8-10]. Последнее связано с тем, что в зонах смешения река – море происходит переход от пресноводной структуры зональности микробиологических процессов в донных осадках к морской, характеризующейся более мощной зоной сульфатредукции, отделяющей ниже расположенную зону метангенерации от поверхности дна.

На описанную картину распределения метана существенное влияние оказывает мощный техногенный прессинг городов, а также загрязненные притоки, в зоне воздействия которых четко фиксируется резкое повышение содержания метана.

В результате сопоставления рельефа дна Таганрогского залива с распределением метана в отложениях выявлено [1], что на участках, расположенных как на удалении от антропогенных источников загрязнения, так и вблизи их, зоны максимальной генерации метана четко фиксируются в местах перегибов гипсографической кривой рельефа дна, где гидродинамическая активность значительно снижается, и накапливаются более тонкие терригенные осадки. Пространственно эта зона максимальных концентраций метана оконтуривается границей раздела обломочных песчано-алевритовых осадков и глинистых илов. С этими выводами согласуются результаты исследований, направленных на изучение влияния литологического фактора на распределение метана. Так, было установлено [1,7], что минимальные концентрации этого газа приурочены к песчаным отложениям. По мере возрастания процентного содержания глинистого материала в отложениях отмечается увеличение количества метана. Однако в Таганрогском заливе при содержании глинистого материала 80 % и более фиксируется резкое падение концентрации газа, что может быть объяснено увеличением степени деградации органических веществ в глубоководных глинистых илах и, как следствие повышения глубины проникновения кислорода в осадки, увеличения их окислительно-восстановительного потенциала и обусловленное этим снижение скорости образования газа.

В донных отложениях реки Дон и Азовского моря, как правило, содержание метана увеличивается от поверхностного слоя к нижележащему. Максимальный пик концентраций обычно наблюдается на глубинах более 5 см. Меньшие концентрации метана в поверхностном 5 см слое отложений обусловлены как более высоким окислительно-восстановительным потенциалом, так и некоторым энергетическим преимуществом процесса сульфатредукции над метаногенезом, в результате чего в отложениях устанавливается, так называемая биогеохимическая зональность: сверху протекают аэробные процессы, ниже – анаэробные, причем, как правило, активное метанобразование наблюдается под горизонтом интенсивного восстановления сульфатов. На участках, подверженных значительному загрязнению органическими веществами и

характеризующихся низкими концентрациями кислорода у дна, уже в 0-5 см слое донных отложений одновременно с интенсивной сульфатредукцией наблюдается активный метаногенез, что подтверждается наличием здесь пиков максимумов концентраций, как сероводорода, так и метана. Сделан вывод [1], что поступление в отложения повышенных количеств органических веществ способствует неконкурентному одновременному и интенсивному протеканию процессов сульфатредукции и метаногенеза.

В целом наблюдается тенденция увеличения по профилю “р. Дон – восточный район залива – центральный – западный район”, а также от периферии прибрежных участков к центральной части залива мощности верхнего слоя осадков, в котором фиксируются невысокие концентрации метана.

При изучении взаимосвязи уровня содержания метана с наиболее важными гидрохимическими показателями качества вод и загрязняющими ингредиентами, установлены достоверные прямолинейные зависимости между содержанием метана и концентрациями $C_{орг}$, нефтепродуктов, биогенных элементов, величинами ХПК и БПК, обратные зависимости между содержаниями метана с одной стороны и растворенного в воде кислорода, величинами pH и Eh с другой [1,7,11]. Весь комплекс проведенных работ показывает, что распределение содержания метана в верхнем слое отложений нижнего течения реки Дон и Азовского моря в пространстве и во времени контролируется главным образом количеством органических веществ в отложениях, их лабильностью и содержанием кислорода у дна. Важным фактором, контролирующим содержание метана, является также температура [1,7]. С вышеперечисленными факторами и связан сезонный ход содержания метана, для которого характерны три пика повышенных концентраций: весенний, летний и зимний.

Установлена доминирующая роль донных отложений в формировании уровня содержания и распределения метана в водной толще [1], о чем свидетельствует наличие тесных прямолинейных зависимостей между содержаниями метана в верхнем горизонте отложений и в водной толще, обусловленных существованием диффузионных потоков метана в направлении от больших концентраций к меньшим.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-8030.2010.5, РФФИ (проект № 09-05-00337) и ГК № 02.740.11.0334.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А. Метан в устьевой области реки Дон. Ростов-на-Дону – Москва: ЗАО «Ростиздат», 2010. 181с.
2. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Хромов М.И. Метан в воде и донных отложениях устьевой области Северной Двины (Белое море) // Океанология. 2010. Т.50. № 4. С. 534-547.
3. Федоров Ю.А., Никаноров А.М., Тамбиева Н.С. Первые данные о

распределении содержания биогенного метана в воде и донных отложениях оз. Байкал // ДАН РАН. 1997. Т. 353. № 3. С. 394-397.

4. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н. Влияние природных и антропогенных факторов и процессов на распределение концентрации метана в воде и донных отложениях Ладожского озера // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2006. № 5. С. 412-424.

5. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н. Метан как показатель экологического состояния пресноводных водоемов (на примере озер Валдай и Ужин) // Метеорология и гидрология. 2004. № 6. С. 88-96.

6. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н. Метан: эколого-географические закономерности распределения и образования в воде озер, водохранилищ, рек, эстуариев, морей и океанов // Труды XII съезда Русского географического общества Т.5. СПб., 2005. С. 291-296.

7. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах. Ростов-н/Д-Москва: ЗАО "Ростиздат", 2005. 329 с.

8. Лапин И.А., Аникеев В.В., Винников Ю.Я. и др. Биогеохимические аспекты поведения растворенного органического вещества в эстуарии реки Раздольная – Амурский залив Японского моря // Океанология. 1990. Т. 30. Вып. 2. С. 234-240.

9. Леин А.Ю., Русанов И.И., Саввичев А.С. и др. Биогеохимические процессы циклов серы и углерода в Карском море // Геохимия. 1996. № 11. С. 1027-1044.

10. Намсараев Б.Б., Русанов И.И., Мицкевич И.Н. и др. Бактериальное окисление метана в эстуарии реки Енисей и Карском море // Океанология. 1995. Т. 35. № 1. С. 88-93.

11. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О., Кизицкий Р.М. Теоретические аспекты связи метаногенеза с загрязнением воды и донных отложений веществами неорганической и органической природы // Изв. ВУЗов. Сев.-Кав. регион. Сер. Естеств. науки. № 4. 2000. С. 68-73.

The results of long-term investigations aimed at the study of peculiarities and regularities of the methane distribution in the bottom sediments of the Sea of Azov and the Don River mouth area are presented.

Гурский Ю.Н.¹, Розанов А.Г.², Гудкова Е.А.¹

(¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, ²Геологический факультет, yurgur@list.ru, ²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва)

Поведение химических элементов в осадках Черного моря к югу от Керченского пролива

Gursky Yu.N.¹, Rozanov A.G.², Gudkova E.A.¹

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

²Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

The behavior of chemical elements of the Black Sea sediments to the facies profile to the south of the Kerch Strait

Материал, представленный в докладе, был собран в 100-м рейсе НИС «Штокман» в 2009 г. в СВ части Черного моря на фациальном профиле из 5 станций к югу от Керченского пролива. В геоморфологическом отношении он охватывает шельф от 100 м, континентальный склон, его подножие и глубоководную впадину, причем, одна станция (№ 48, рис. 1) была отобрана на максимальной глубине Черного моря – 2253 м.

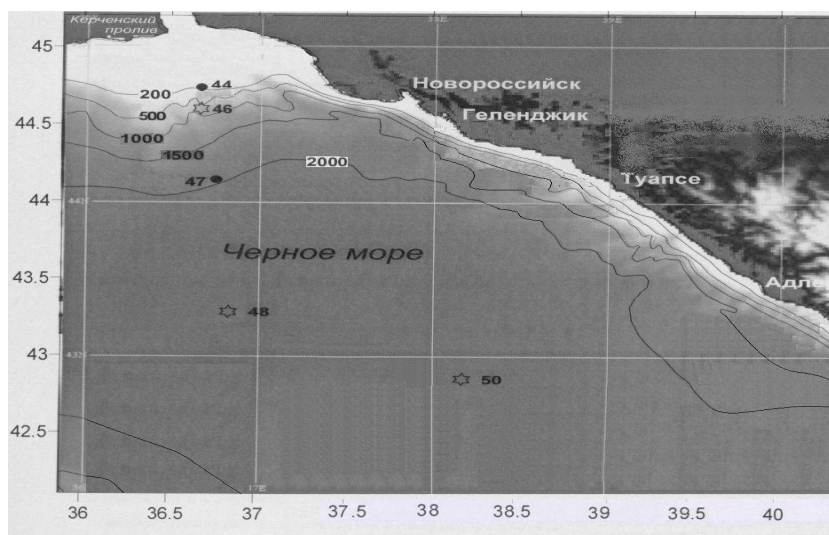


Рис. 1. Расположение станций в северо-восточной части Черного моря

В осадках представлены все три стратиграфических горизонта донных отложений Черного моря: современные (с.о.), древнечерноморские (д.ч.) и новозвксинские (н.э.). В литологическом отношении также был получен разнообразный и представительный материал: от песчаных и алевритовых осадков с ракушечником и серого глинистого ила до микрослоистых тонких разностей глинисто-кокколитового и глинисто-сапропелевого ила, а в

новоэвксине – глинистого ила с характерными сульфидными прослоями. По влажности и плотности отобранные осадки изменялись от сильно обводненных полужидких илов до плотнейших глинистых и сульфидных образований с низкой влажностью, почти сухих. Столь же велико разнообразие изученных осадков по цвету – от белых кокколитовых до черных гидротроилитовых илов. А по окислительно-восстановительным характеристикам величины E_h изменялись от +280 до -230 мВ.

Пробы осадков, вскрытых до 3 м глубины, отобраны из колонок на 50 горизонтах. В них было изучено распределение 10 металлов посредством атомно-абсорбционного анализа, часто с параллельными определениями. Предварительно исследовали литологию осадков, определили величины E_h , $C_{орг}$ и $CaCO_3$. В результате был получен большой, представительный и весьма разнообразный материал по малоизученной в геохимическом отношении северо-восточной части Черного моря.

Рассмотрим результаты проведенного исследования. Прежние данные по химическому составу осадков Черного моря были получены в основном в западной и СЗ частях моря [1, 2, 4, 6]. В докладе будет показано сравнение с литературными данными, а здесь мы приводим лишь экстремальные и средние содержания элементов по результатам нашего изучения (табл. 1):

Таблица 1. Содержание элементов в осадках Черного моря.
 $C_{орг}$, $CaCO_3$, Al, Fe в %, остальные элементы в мкг/г, или $10^{-4}\%$

Химический состав	Средние значения	Минимальные значения	Максимальные значения
$C_{орг}$	2,69	0,22	8,95
$CaCO_3$	25,52	1,25	55,02
Co	1,8	0,15	5,2
Sb	2,7	0,15	21,75
As	24,32	4,75	125,7
Cr	37,94	7,3	56
Al	5,59	1,94	8,2
Fe	3,74	1,7	5,65
Mn	501,39	235	1200
Cu	45,26	21	110
Ni	43,74	3	88
Pb	104,33	66	178

Тем не менее, при сравнении их с материалами из других районов Черного моря, можно утверждать, что по главным породообразующим элементам, таким как алюминий, железо, марганец мы имеем вполне сопоставимые с литературными данными результаты. Лишь для с.о. наши данные по Al и Fe в 1,5-3 раза превышают данные [2], что связано с их

более высокой, чем наши пробы, карбонатностью. Медь, никель и мышьяк дают сопоставимые результаты по с.о. и н.э. осадкам, но в д.ч. отложениях Cu и Ni понижены в 1,5-2 раза из-за меньшего количества у нас образцов с высоким содержанием ОВ.

Большинство других элементов, таких как Pb, Sb, As, Cr дают в голоценовых осадках сопоставимые с литературными данными результаты, а в новозвксине (верхний плейстоцен) они примерно вдвое ниже. Сурьма от равных концентраций иногда снижается на порядок. Sb, As испытывают большие колебания от слоя к слою в колонках, иногда на порядок и более, что связано с литологической неоднородностью осадков. Особое место занимает кобальт. Его концентрации при сравнении с кларками и литературными данными по осадкам Черного моря по всем стратиграфическим горизонтам обнаруживают величины, пониженные примерно на порядок. Хочется выразить надежду, что это связано не с аналитическими, а с природными флюктуациями.

Наши данные отражают основные особенности седиментации в Черном море: накопление ОВ в д.ч. осадках впадины и высокую карбонатность с.о. Это отражается на поведении макро- и микроэлементов.

В новозвксине, в осадках, образовавшихся в бассейне с пониженной соленостью, карбонатностью и малым количеством ОВ, повышен фон главных элементов – лидеров, связанных с терригенными осадками: Al, Fe, Mn. Количество Cu, Ni и Pb здесь понижено, что указывает на их связь с «группой углерода» – Сорг и CaCO_3 . Это отражает влияние климата – низкие температуры и понижение уровня моря при последнем оледенении на 90 м. В древнечерноморских осадках повышено содержание меди и никеля, связанных с ОВ, а в осадках глубоководной впадины – мышьяка.

Содержание свинца повышено в современных отложениях, особенно в верхних слоях. Виден рост количества Pb при приближении к берегу. Максимум Pb = 14 мкг/г (29 мкг/г на б/к вещество) отмечен на шельфе (ст. 44, гор. 0-2). Здесь возможно влияние керченского железорудного района и техногенных загрязнений, связанных с активным судоходством. Также на шельфе и континентальном склоне в верхних слоях повышено содержание Mn и Co. Накопление марганца у поверхности обычно связано с диагенетическим перераспределением Mn^{+2} . В фациальном отношении замечено, что медь и никель в большей степени накапливаются в осадках глубоководной впадины, а мышьяк, хром и кобальт – на континентальном склоне. В древнечерноморских отложениях помимо меди и никеля, явно связанных с ОВ сапропелевых илов, повышено содержание Pb, As, Sb.

В южной части фациального профиля на ст. 50 из глубоководной впадины (глуб. 2140 м) между плотными сапропелевыми и глинисто-сапропелевыми слоями были обнаружены сильно обводненные илы с примесью алеврита, песка и металлоносными прослоями, что отражает необычное явление, не связанное с нормальным процессом седиментации.

Высказано предположение о проявлении здесь грязевого вулканизма [3], с которым может быть связано резкое повышение концентраций широкого спектра макро- и микроэлементов (Al, Fe, Mn, Pb, Sb, As, Co, Cr), как в самих обводненных илах, так и на плотностных барьерах в толще древнечерноморских отложений большой мощности (>2,2 м).

Для выявления геохимических закономерностей поведения и взаимосвязи отдельных химических элементов в донных отложениях Черного моря был использован один из современных методов статистической обработки материалов - метод факторного анализа [5]. Помимо данных по химическому составу в расчет были включены усредненные данные по глубине горизонта и данные по литологии осадков с помощью условных цифровых кодов (Табл. 2).

Таблица 2. Факторы и факторные нагрузки

Признаки	I	II	III	IV	V
Горизонт	0,161	-0,079	-0,099	-0,545	-0,171
Сорг	0,802	0,265	0,176	0,073	-0,073
CaCO ₃	-0,324	0,414	0,082	0,236	0,423
Co	0,18	-0,048	0,542	0,01	0,37
Sb	0,146	-0,501	0,052	0,132	-0,005
As	0,103	-0,014	0,021	0,043	-0,445
Cr	-0,224	-0,607	0,078	-0,091	0,009
Al	-0,109	-0,457	-0,331	-0,403	-0,179
Fe	-0,019	-0,654	0,078	-0,217	-0,099
Mn	0,003	-0,044	-0,128	-0,665	0,245
Cu	0,842	0,029	-0,034	-0,094	-0,202
Ni	0,818	-0,128	-0,027	-0,08	0,02
Pb	0,067	0,008	-0,667	-0,084	0,134
Eh	-0,088	-0,064	-0,244	0,474	0,023
Литология	-0,171	-0,126	0,347	-0,374	-0,117
Σ дисперсия, %	46,844	27,881	4,895	3,475	3,08

По результатам факторного анализа данных по натуральному осадку выявлено 5 факторов, среди которых два первых определяют 3/4 (75%) всей суммарной дисперсии признаков. Причем, первый (I) – главный фактор охватывает 47% суммарной дисперсии, а второй (II) – около 28%. Первый – медно-никелевый фактор указывает на четко выраженную связь Cu и Ni с

содержанием ОВ (по $C_{орг}$) в осадках (факторные нагрузки $>0,8$), что наиболее ярко в проявлено д.ч. сапропелевых илах. II фактор отражает взаимосвязь Fe, Cr, Sb, Al с терригенной частью осадка. В наибольшей степени этот фактор проявлен в д.-ч. мягких серых глинистых илах на континентальном склоне и у его подножия. III фактор ($<5\% \sum$ дисперсии) в основном описывает поведение свинца. Максимальное проявление этого фактора связано с накоплением Pb в низах колонки ст. 50 и на шельфе близ поверхности осадков. Такое поведение свинца может быть связано отчасти с антропогенным загрязнением, а на ст. 50 – с возможным проявлением грязевого вулканизма. Фактор указывает также на антагонизм в поведении Pb и Co, т.к. они входят в фактор с противоположными знаками.

IV - марганцевый фактор отражает связь Mn с Al, глубиной в колонках и литологией. Этот фактор хорошо проявлен в новоэвксине, в глинистых илах на плотностных и окислительно-восстановительных барьерах, а также в верхних горизонтах осадков. Пятый (V) фактор описывает поведение мышьяка. Накопление мышьяка связано с пониженной карбонатностью осадков. Co, напротив, в большей степени связан с карбонатными илами.

Результаты факторного анализа по бескарбонатному веществу, как и соответствующие парные корреляции и дендрограммы, подтвердили все основные закономерности, полученные при обобщении материалов по натуральным осадкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков И.И. Основные закономерности распределения химических элементов в толще глубоководных осадков Черного моря // Литология и полезные ископаемые. 1973. № 2. С. 3-22.
2. Гавшин В.М. и др. Геохимия литогенеза в условиях сероводородного заражения (Черное море) // Новосибирск: Наука. 1988. 194 с.
3. Иванов М.К., Басов Е.И. Позднечетвертичный грязевой вулканизм в Черном море // Литология и полезные ископаемые. 1996. № 2. С. 215-222.
4. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И. Геохимия Черного моря. Киев: Наук. Думка, 1982. 144 с.
5. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / Под ред. А.П.Соловова. М.: Недра, 1990. 335 с.
6. Hirst D.M. Geochemistry of sediments from eleven Black sea cores // The Black sea – geology, chemistry and biology. Tulsa (Okl.), 1974.

Based on materials of the 100th cruise of the "Professor Shtokman" in the NE part of the Black Sea the distribution of Al, Fe, Mn, Cu, Ni, Pb, Cr, As, Sb, Co, Corg, $CaCO_3$ in sediments was studied. Factor analysis helped identify patterns of behavior of the elements related to the lithology, stratigraphy and facial features of the sediments.

Демина Л.Л., Оськина Н.С.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, demina@ocean.ru; nsoskina@mail.ru)

Микроэлементы в процессах карбонатной биоминерализации в океане (на примере сообществ фораминифер Атлантического океана)

Demina L.L., Oskina N.S.

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

Trace metals and carbonate biomineralization (the Atlantic foraminiferal assemblages as an example)

Планктонные фораминиферы, являясь одноклеточными микроорганизмами-эукариотами (Protozoa), служат основным звеном в экспорте CaCO_3 из поверхностных вод на дно океана, где они формируют биогенные донные осадки [1]. В Атлантическом океане, где площадь дна с глубиной лизоклина относительно невелика, карбонатные донные осадки имеют наибольшее распространение по сравнению с другими океанами [2]. Отличительная черта планктонных фораминифер от других групп планктона – высокая пористость их раковин или отношение площади поверхности к объему, что обеспечивает их важную роль в адсорбционных процессах в океане. Микроэлементы, поглощенные из морской воды кальцитовыми раковинами фораминифер в ходе метаболизма, сохраняются в донных осадках, отражая геохимические условия окружающей среды. Однако публикаций по взаимодействию микроэлементов с карбонатообразующими организмами все еще недостаточно [3-6 и др.] для более полного понимания роли планктонных фораминифер в биогенной миграции и седиментации в океане, и необходимы новые данные по элементному составу раковин. В данном сообщении приводятся результаты изучения большой группы элементов в раковинах планктонных кальцитовых фораминифер, выделенных из донных осадков Атлантического океана.

Образцы донных осадков были получены в экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Станции располагались в четырех климатических зонах Атлантического океана: экваториальной, тропической, субтропической и умеренной: от 48° с.ш. до 22° ю.ш. и от 63° з.д. до 14° в.д. Донные осадки представлены фораминиферовыми и кокколитофоридовыми илами в интервале глубин от 1000 до 3000 м голоценового и верхнеплейстоценового возраста. Раковины планктонных фораминифер были изучены во фракциях осадков крупнее 50 μm (фракция >0,1мм), полученных как из поверхностных слоев (гор. 0-5 см), так и из колонок длиной до 200 см. Раковины фораминифер выделялись из сухих осадков весом 40-60 г с использованием светового микроскопа Leica WILD M3C под

10-кратным увеличением. Навески (10-50 мг) после истирания разлагались в 2 мл окислительной смеси (69% HNO_3 и 30% H_2O_2 , 1:1) в тefлоновых сосудах микроволновой системы MWS-2 Speed wave (Berghof, Germany), перед анализом пробы разбавлялись 1:10 деионизованной водой. Химические элементы (Ca, Sr, Ba, Na, K, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Cd, Hg, Pb, Se, Sb) были проанализированы в 36 пробах методами пламенной и электротермической атомной абсорбции, инструментального нейтронно-активационного анализа и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Правильность анализов контролировалась международными стандартными образцами – NIST SRM 2976 (mussel tissue), IAEA MA-A2/T fish flesh and GSD-7.

Полученные результаты для раковин из поверхностных осадков приведены в таблице. Для оценки коэффициентов накопления элементов ($K_{\text{нак}}$) здесь же указаны средние значения для воды океана. Расчет $K_{\text{нак}} = \text{Эл./Сфор.} / \text{Эл./Ca вода океана}$ (мольные отношения).

Таблица. Среднее содержание элементов в сухом веществе раковин фораминифер из поверхностных осадков Атлантики

Элемент, единица измерения	Раковины фораминифер (n=22)	Вода океана [7], нг л^{-1}	$K_{\text{нак}}$
K, %	0,70	$390 \cdot 10^6$	0,02
Na, %	0,25	$10,8 \cdot 10^9$	0,002
Ca, %	31,6	$448 \cdot 10^6$	1
Sr, мкг г^{-1}	255	$7,8 \cdot 10^6$	0,04
Ba, мкг г^{-1}	148	$15 \cdot 10^3$	10
Fe, %	0,30	250	$2 \cdot 10^4$
Mn, мкг г^{-1}	169	72	$8 \cdot 10^3$
Cr, мкг г^{-1}	8,86	250	$5 \cdot 10^1$
Co, мкг г^{-1}	2,26	1,2	$3 \cdot 10^3$
Ni, мкг г^{-1}	15,45	530	$4 \cdot 10^1$
Cu, мкг г^{-1}	35,9	210	$2 \cdot 10^2$
Zn, мкг г^{-1}	57,2	320	$2 \cdot 10^2$
Pb, мкг г^{-1}	3,6	2,7	$2 \cdot 10^3$
Cd, мкг г^{-1}	0,25	79	$4 \cdot 10^1$
Hg, мкг г^{-1}	0,054	0,42	$1 \cdot 10^3$
Ag, мкг г^{-1}	0,13	2,5	$5 \cdot 10^1$
As, мкг г^{-1}	2,31	1700	2
Se, мкг г^{-1}	1,43	100	10
Sb, мкг г^{-1}	1,41	150	8

На основе таблицы построены ряды по убыванию концентрации химических элементов в раковинах и воде океана. Вода: $\text{Na} > \text{Ca}$, $\text{K} > \text{Sr} > \text{Ba} > \text{As} > \text{N} > \text{Zn} > \text{Fe}, \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Sb}$, $\text{Se} > \text{Mn}, \text{Cd} > \text{Pb}, \text{Ag} > \text{Co} > \text{Hg}$.

Раковины фораминифер: $\text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{Fe} > \text{Sr} > \text{Mn}, \text{Ba} > \text{Zn} > \text{Cu}, \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Co}$,

$Pb > As, Se, Sb > Cd > Ag > Hg$.

Можно предположить, что несовпадение порядка расположения химических элементов в этих рядах свидетельствует о том, что они поглощаются раковинами не пропорционально их концентрации в воде, а в соответствии с биохимическими потребностями кальцифицирующих организмов и геохимическими свойствами самих элементов (в первую очередь, адсорбционные возможности и ионные радиусы). Адсорбционные свойства кальцитовых планктонных фораминифер являются чрезвычайно высокими благодаря большой пористости раковин. Са, имеющий $K_{нак} = 1$, находится в состоянии химического равновесия с водой. По величине $K_{нак}$ в фораминиферных раковинах все элементы можно разделить на три группы: 1) $K_{нак} < 1$ – элементы, не накапливающиеся, это К, Na, Sr; 2) $K_{нак}$ от 1 до 10 – слабо накапливающиеся, это As, Se, Sb, Ba; 3) $K_{нак} > 10$ – сильно накапливающиеся, это Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag. Максимальные значения $K_{нак}$ ($>10^3$) характерны не только для Co, Mn and Fe, т.е. эссенциальных, биохимически важных металлов, но и для токсичных металлов – свинца и ртути. Последнее может свидетельствовать о преимущественно адсорбционном механизме накопления этих металлов. Распределение некоторых элементов в раковинах из поверхностных осадков Атлантики на широтном разрезе вдоль 2°с.ш. показано на рис.1.

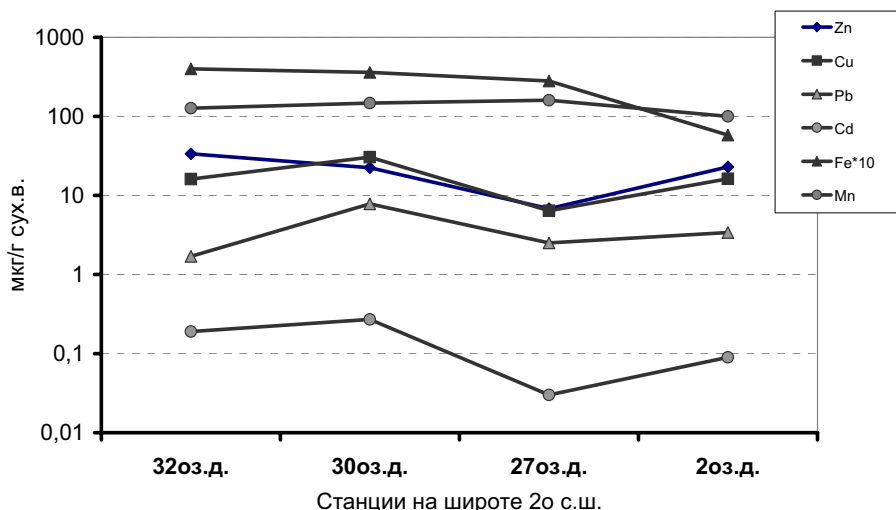


Рис. 1. Распределение Zn, Cu, Pb, Cd, Fe и Mn в фораминиферах ($> 0,1\text{мм}$) поверхностного слоя донных осадков на широтном разрезе в Атлантике

На рис. 1 можно заметить тенденцию к увеличению накопления Fe (почти в 10 раз) в раковинах из осадков, отобранных ближе к центру океана,

т.е. к рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта, где располагаются высокотемпературные гидротермальные источники. Для остальных элементов этот тренд выглядит слабее или отсутствует.

О временной изменчивости поведения металлов можно судить на основании их распределения в колонке станции К-5, вскрывшей голоценовые и верхнеплейстоценовые (ниже горизонта 45 см) осадки (рис. 2).

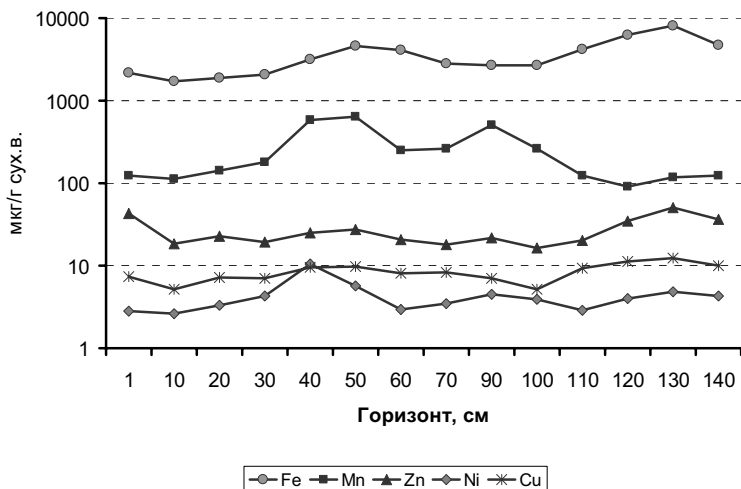


Рис. 2. Временная изменчивость металлов в раковинах фораминифер (> 0,1мм) на станции К-5 (2°30'с.ш., 27°03'з.д.) в центральной Атлантике

Для полной интерпретации этих данных будет проведено их сопоставление с минералогическими, геохимическими, гранулометрическими характеристиками; однако уже сейчас можно заключить, что раковины фораминифер четко реагируют на изменение концентрации металлов во вмещающей их среде донных осадков, обусловленной как процессами диагенеза, так и сменой источников их поступления. Наиболее показательным элементом в этом случае, как и во множестве других, выступает Mn – наиболее геохимически подвижный металл, четко записывающий в донных осадках историю редокс-процессов.

Работа поддержана грантом РФФИ, № 11-05-01118-а “Роль карбонатной биоминерализации в накоплении металлов во взвеси и донных осадках океана”, а также грантом Президентской программы поддержки ведущих научных школ под рук. акад. А.П. Лисицына (проект № НШ-3714.2010.5 «Процессы современного и древнего седиментогенеза в морях и океанах»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука. 1978. 438 с.
2. Емельянов Е.М. Седиментация в бассейне Атлантического океана. М.: Наука. 1982. 190 с.
3. Boyle E.A. Cadmium, zinc and barium in foraminifera tests // *Earth Planetary Science Letters*. 1981. V. 53. No 1. P. 11-35.
4. Wefer G., Berger W.H., Bijma J., Fischer G. Clues to ocean history: a brief overview of proxies // *Use of Proxies in Paleoceanography*. ed.by Fischer G., Wefer G. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hong Kong, London, Milan, Paris, Singapore, Tokyo. 1999. P. 1-68.
5. Martin P.A., Lea D.W. A simple evaluation of cleaning procedures on fossil benthic foraminiferal Mg/Ca. *Geochemical Geophysical Geosystems* // 2002. V. 3. P. 8401. doi: 10.1029/2001GC000280.
6. Munsel D., Kramar U., Dissard D., Nehrke G., Berner Z., Bijma J., Reichert G.-J., Neumann T. Heavy metal uptake in foraminiferal calcite: results of multi-element culture experiments // *Biogeosciences Discussions*. 2010. V. 7. P. 953-977.
7. Li Y.H. Distribution patterns of the elements in the ocean: a synthesis // *Geochimica Cosmochimica Acta*. 1991. V. 55. P. 3223-3240.

Based on the new data on the chemical composition of planktonic foraminiferal tests from the Atlantic Ocean sediments we may suggest their high bioaccumulation capacity and spatial-temporal variations in response to the environmental changes.

Демина Л.Л.¹, Мартынова Д.М.², Будько Д.Ф.³

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, ldemina@ocean.ru;

²Зоологический институт РАН, С.-Петербург, daria.martynova@gmail.com;

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Dmitry.B-1990@yandex.ru)

К вопросу о факторах, определяющих биоаккумуляцию тяжелых металлов в морских экосистемах

Demina L.L.¹, Martynova D.M.², Budko D.F.³

¹P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; ²Zoological Institute RAS,

St. Petersburg; ³Lomonosov Moscow State University, Moscow)

About factors that control the trace metal bioaccumulation in marine ecosystems

Необходимость постоянного слежения за экологическим состоянием морской среды обуславливает исследование основных факторов, которые контролируют процессы накопления токсичных соединений, в частности, тяжелых металлов, морской биотой. Интенсивность биоогенной миграции металлов определяется уровнями их поглощения биосообществами, которые зависят от таких параметров экосистемы как биопродукция, биомасса, продолжительность биоциклов. Немаловажную роль играет биодоступная форма металлов, которая усваивается организмами; причем, биодоступность определяется соотношением физико-химических форм нахождения металлов в морской воде, она уменьшается в присутствии природных органических хелаторов, усвояемость которых организмами намного ниже по сравнению с ионами. С другой стороны, фито- и зоопланктон служат источниками растворенного органического вещества (ОВ), которое образует металлорганические комплексы с повышенной растворимостью. Первичные продуценты фотосинтетического ОВ – фитопланктон и макрофиты – интенсивно поглощают ионы и неорганические комплексы металлов. Для зоопланктона – консумента фитопланктона, безвыборочного фильтратора и сестонофага – биодоступная форма не имеет решающего значения. Двустворчатые моллюски (фильтраторы, сестоно- и детритофаги) усваивают наряду с растворенной и коллоидной формой также тонкую взвесь и мелкодисперсные донные осадки для моллюсков.

Цель данной работы – изучение биоаккумуляции ряда тяжелых металлов (As, Cd, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb и Hg) в разных группах организмов Белого моря в связи с уровнями С орг в этих компонентах. Прибрежная зона мыса Картеш относится к районам с минимальной антропогенной нагрузкой и поэтому может использоваться в качестве фоновой области при исследованиях уровня антропогенного загрязнения тяжелыми металлами [1]. В работе исследовались наиболее представительные группы планктонных организмов: рачковый зоопланктон (фитофаги),

щетинкочелюстные *Sagitta elegans*, амфиподы *Hyperiididae*; бентосные формы: представители типа Porifera, макрофиты *Laminaria spp.*, *Fucus vesiculosus*, *Zostera marina* и красные водоросли *Ahmfeltia plicata*, а также наиболее массовые сублиторальные двусторчатые моллюски *Mytilus edulis*. Авторам удалось исследовать несколько образцов фекальных пеллет зоопланктона. Пробы были отобраны мористее м. Картеш (о-ва Кемь-Луды) в течение двух полевых сезонов – в ноябре 2008 г. и августе 2011 г. Сестон и зоопланктон фильтровали последовательно через капроновые сита с размером ячеей 20, 100 и 200 мкм, и концентрировали на стекловолокнистых фильтрах (диаметр пор 1 мкм). Все образцы сушили при 60°C. Подробности химической пробоподготовки и анализа изложены в работах [2, 3].

Результаты исследований показывают, что содержание группы металлов в организмах характеризуется значительной вариабельностью, составляющей 6 порядков величин – от $n \cdot 10^4$ мкг/г сух.в. (Fe) до $n \cdot 10^{-2}$ мкг/г сух.в. (Hg). В порядке убывания содержания во всех организмах металлы располагаются в следующем ряду: Fe > Zn > As > Mn > Cu > Pb > Cd > Hg, что отражает в первом приближении последовательность концентраций этих металлов в морской воде.

В табл. 1 приведены средние содержания металлов в разных биотических компонентах экосистемы: в рачковом зоопланктоне (фитофаги), щетинкочелюстных *Sagitta elegans*, амфиподах *Hyperiididae*. В наиболее крупном и хищном таксоне зоопланктона – амфипode *Hyperiididae* (длина особи достигает 50-100 мм) отмечено повышенное накопление Fe, As, Cd и Hg, в копеподовом зоопланктоне повышено содержание Zn, в то время как в таксоне *Sagitta elegans* - Mn и Pb.

Таблица 1. Микроэлементы (мкг/г сух.в.) в некоторых видах зоопланктона литорали м. Картеш, Кандалакшский залив Белого моря

Название	As	Cd	Cu	Zn	Mn	Fe	Pb	Hg
<i>Hyperiididae</i> (n=5)	29,5± 3,78	5,32± 1,25	16,5± 2,76	91± 6	0,21± 0,05	594± 106	6,36± 1,58	0,338± 0,087
<i>Copepoda</i> (n=7)	0,55± 0,2	0,50± 0,12	15,2± 1,3	338± 16	2,95± 1,2	503± 121	2,3± 0,27	0,055± 0,022
<i>Sagitta elegans</i> (n=10)	2,2± 1,5	0,36± 0,13	7,45± 3,3	205± 15	9,75± 5,7	141± 28	12,9± 6,2	0,117± 0,004

Это иллюстрирует известный факт о том, что разные организмы обладают разными способностями к аккумуляции металлов, однако по причине недостаточности статистических данных сделать выводы о влиянии видового состава зоопланктона на уровни бионакопления некоторых микроэлементов не представляется возможным.

Содержание органического углерода ($C_{орг}$) обнаруживает определенную

пространственную изменчивость. Максимальное значение $C_{орг}$ (46,2 %) обнаружено в центре Кандалакшского залива, где зафиксирован минимум валовой первичной продукции на август 2004 г., но высокая биомасса зоопланктона, а также повышенное значение РОВ и ВОВ. Минимум $C_{орг}$ (27,7%) найден в сестоне Бассейна, среднее значение ($n=57$) составляет $34,2 \pm 5,0\%$. В целом отмечаются две области повышенных содержаний $C_{орг}$, совпадающих с высокими значениями валовой первичной продукции, которые обусловлены поставкой биогенных элементов речным стоком Северной Двины и циклоническим круговоротом, вызывающим подъем обогащенных биогенными элементами глубинных вод: 1) внешняя часть Двинского залива ($>30\% C_{орг}$) и юго-восточная периферия циклонического круговорота ($> 40\% C_{орг}$). Схемы пространственного распределения $C_{орг}$ и микроэлементов в планктоне имеют сходные черты, хотя статистическая обработка данных не обнаруживает значимой корреляционной связи всех изученных нами микроэлементов с содержанием $C_{орг}$.

Оценку накопления микроэлементов в сестоне Белого моря в зависимости от содержания $C_{орг}$ проведем, используя среднее мольное отношение (Элемент / $C_{орг}$) $\cdot 10^{-4}$ в различных акваториях Белого моря (табл. 2). Данные табл. 2 показывают, что наибольшее обогащение микроэлементами относительно $C_{орг}$, отмечено в Двинском заливе, причем наиболее сильно это выражено для Fe, Cu, Co и Pb. Это можно объяснить тем, что взвешенное вещество в эстуарных зонах, как известно, обогащено гидроксидами железа и органоминеральным детритом, обладающими повышенными сорбционными свойствами в отношении микроэлементов. Напомним, что среднее содержание $C_{орг}$ в сухом веществе океанского фитопланктона принято равным 50%. Как видно из табл. 2, по данным [De la Rocha, 2004], в океанском фитопланктоне отношение Элем./ $C_{орг}$ для Fe, Cu и Ni колеблется в широких пределах (до двух-трех порядков величин). Рассчитанные нами для Белого моря значения (Элемент / $C_{орг}$) для Fe, Cu, Mn и Ni по порядку величин сопоставимы с таковыми для открытого океана, тогда как для Zn и Cd – примерно в 10 раз выше. Исходя из того, что среднее содержание $C_{орг}$ в океанском фитопланктоне и сестоне Белого моря различаются всего в 1,5 раза, можно предположить, что накопление этих элементов в сестоне Белого моря происходит в результате не только и не столько биопродуцирования, сколько физико-химических процессов, главным образом, адсорбции на мелкодисперсных частицах. В то же время отметим, что рассчитанные нами коэффициенты концентрирования металлов по отношению к воде ($K_{нак}$) колеблются от 10^3 (Hg) до 10^5 (Cu), что близко к $K_{нак}$ фосфора – одного из главных биогенных элементов.

Выявить влияние уровня содержания $C_{орг}$ на биоаккумуляцию металлов в разных группах океанских организмов: планктоне, макрофитах и моллюсках шельфа – можно с помощью отношения Элемент/ $C_{орг} 10^{-4}$.

Таблица 2. Средние значения отношения (Элемент /C_{орг.}) 10⁻⁴ в сестоне Белого моря в сопоставлении со средним для фитопланктона океана

Район	Fe	Zn	Cu	Mn	Ni	Pb	Cd	Co	Cr	As	Hg*)
Маргинальный фильтр С.Двины	92	8,2	1,9	2,3	0,3	3,3	0,4	0,09	0,07	0,03	0,1
Двинский залив	3	2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,01	0,03	0,01	0,03
Бассейн	3,1	6,6	0,4	0,5	0,1	0,2	0,1	0,01	0,05	0,01	0,03
Кандалак- шский залив	4,1	3,8	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1	0,01	0,008	0,03	0,05
Среднее для Белого моря	10	5,4	0,4	0,6	0,2	2,6	0,08	0,04	0,04	0,04	0,07
Пределы и/или среднее для фитопланк- тона океана [De la Rocha, 2004]	18- 230	0,6	0,03- 60	0,6	0,2- 60	н.д.	0,005	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

*) (Hg/C_{орг})·10⁻⁷; Н.д. – нет данных

Кроме того, важно сопоставить эти величины с таковыми для гидротермальными симбиотрофными моллюсками. Нами выявлено, что накопление всех исследуемых микроэлементов (кроме Se и Sb) на единицу C_{орг} от трех до десяти раз выше в жабрах гидротермальных симбиотрофных моллюсков по сравнению с другими таксонами и даже остальными мягкими тканями моллюсков-симбиотрофов (рис.). Принимая во внимание, что в мягких тканях и жабрах последних содержание C_{орг} достигает 63% (т.е. не больше, чем в 2 раза по сравнению с сестомом Белого моря), можно предположить, что причина таких своеобразных «аномалий» отношения Элемент/C_{орг} в жабрах, заселенных бактериями-эндосимбионтами, очевидно, связана с особой природой хемосинтезированных органических лиганд.

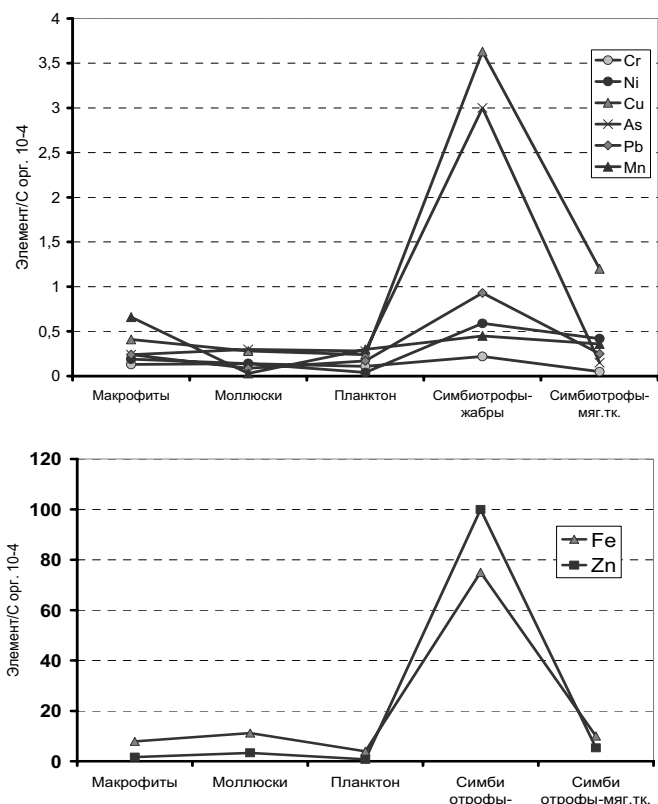


Рис. Отношение $(\text{Элемент}/C_{\text{орг}}) \cdot 10^{-4}$ в различных организмах

Резюмируя, можно отметить, что существует определенная связь между основными факторами, контролирующими биоаккумуляцию и пространственное распределение металлов в сестоне и зоопланктоне Белого моря. Главным биотическим фактором служит уровень содержания соединений ОВ в воде, который определяется первичной продукцией и влияет на биодоступность. Между величинами отношения $\text{Элемент}/C_{\text{орг}}$ в разных группах организмов, кроме гидротермальных моллюсков (жабры), существует сходство.

Results of some heavy metals and organic carbon in seston and zooplankton of the White Sea showed that relationship between basic factors that control their bioaccumulation and spatial distribution exist. Values of $\text{Metal}/C_{\text{орг}}$ ratio are similar in the main groups of organisms, except for gills of hydrothermal symbiotrophic mussels, that suggests originality of chemosynthetic organic matter.

Денисов В.И., Черноусов С.Я.

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

Тяжелые металлы в мидиях восточного побережья Черного моря

Denisov V.I., Chernousov S.Y.

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

Heavy metals in the mussels of the Eastern Black Sea coast

Мидии в Черном море образуют две популяции – скальную и иловую, встречаются от уреза воды до глубины 60 м и более. Массовое скопление моллюсков наблюдается в прибрежной зоне на твердом субстрате, где они входят в состав ряда сообществ, и на илистом грунте на глубине 20-53 м, где они образуют самостоятельный биоценоз.

Цель работы – изучение особенностей концентрирования некоторых микроэлементов (Mn, Zn, V, Cu, Ni, Pb) мидиями различных размерных групп на восточном побережье Черного моря, а также анализ географических различий в накоплении тяжелых металлов мидиями разных регионов данного участка шельфа.

Отбор проб моллюсков проводился вручную водолазным способом на малых глубинах в районе Анапа – Адлер в прибрежной части Черного моря в период 2004 – 2005 гг. на полигонах: Имеретинская бухта, Адлер, Лазаревское, Туапсе, Лермонтово, Архипо-Осиповка, Криница (устье р. Пшада), мыс Утриш, Анапа. Мидии были собраны с разных субстратов (бетонных свай, стальных опор и камней) в прибрежной зоне с глубин 0,5 – 4 м.

Подготовка моллюсков к анализу на содержание металлов производилась следующим образом. Мидий очищали от биообрастателей, донных отложений (если попадался заиленный песок), отмывали в морской воде и в течение суток выдерживали в отфильтрованной воде из районов сбора при температуре, близкой к естественной, меняя воду в емкостях с мидией 3-4 раза. Перед обработкой, мидии ополаскивались дистиллированной водой. Производилось измерение длины раковин мидий, а также массы каждого целого моллюска. Для быстрого разделения тел, створок и биссуса мидий нами использовалась микроволновая печь с конвекцией (методика Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН) [1]. Данный метод существенно ускоряет обработку проб бентоса и улучшает качество подготовки образцов к анализу. После обработки моллюсков в СВЧ режиме (20–30 секунд) мягкие ткани целиком (мускулы, жабры, гонады, мантию, печень) и влажные створки раздельно взвешивались, помещались в выпаривательные чашки и сушились в термошкафу или микроволновой печи (в режиме конвекции) при $T=105^{\circ}\text{C}$. Затем, после доведения сухих образцов до постоянного веса, они повторно взвешивались

и анализировались в соответствие с общепринятыми методами атомно-абсорбционной спектроскопии [2]. Подготовка проб мягких тканей моллюсков производилась методом раздельного мокрого озоления. Сначала в концентрированной азотной кислоте (плотность $1,50 \text{ г/см}^3$), затем в концентрированной серной кислоте (плотность $1,80 \text{ г/см}^3$), с последующим определением концентраций методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием приборов фирмы «Hitachi». Относительные пределы обнаружения металлов (чувствительности) прибора составляли для Mn – 3 мкг/кг, Ni – 3 мкг/кг, Zn – 1,5 мкг/кг, Pb – 15 мкг/кг и для V – 75 мкг/кг. Для изученных металлов погрешность определения составляет 7 – 15 %.

Результаты определения изученных металлов при повторных измерениях устойчиво воспроизводились. Известно, что воспроизводимость аналитического метода определяется случайными погрешностями анализа, возникающими на стадиях подготовки проб и дальнейшего аналитического измерения. Воспроизводимость результатов в пределах статистической достоверности характеризует точность метода измерения. Точность метода пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии может составлять 80 – 90 %.

Сравнение полученных нами результатов с литературными данными показывает высокую степень соответствия концентраций металлов в мидиях.

Из одного места собирали от 10 до 25 крупных особей, которые анализировали отдельно. В том случае, когда попадались мелкие формы, собирали объемные пробы из 10 - 25 животных, которые анализировали как усредненные. Мягкие ткани мидий с возрастом накапливают микроэлементы неравномерно, что зависит от физиологических потребностей, условий питания, характеристик окружающей среды и др. [3, 4].

В мягких тканях мидий концентрация всех химических элементов в 2 – 5 раз выше, чем в створках. Концентрирование практически всех микроэлементов мягкими тканями мидий имеет нелинейные зависимости от длины их раковин. Положительные тренды концентрирования отмечаются для свинца, ванадия, меди, марганца и цинка. Отрицательный тренд характерен для никеля. При этом накопление цинка в размерной группе от 20 до 80 мм носит практически линейный характер. Мидия с возрастом (до 3 лет) сначала увеличивает концентрацию металлов в мягких тканях, а затем при достижении длины более 60 мм – уменьшает их содержание. Мидии размера от 50 до 70 мм, что соответствует возрасту от 2 до 3-4 лет, имеют наиболее высокие содержания биологически активных элементов.

По нашим данным, в исследуемой части шельфа максимальные содержания свинца, ванадия и марганца в мягких тканях мидий отмечаются в размерных группах 50-70 и более 80 мм; никеля и меди – при длине

створок моллюсков 50-70 мм. Для цинка максимальное содержание – более 120 мкг/г – характерно в группе 71-80 мм.

Содержание свинца в мягких тканях моллюсков изменяется в пределах от 4,11 до 5,85 мкг/г сухого веса, при этом наибольшие его концентрации характерны для размерных групп 61-70 и 81-90 мм.

Пределы изменения содержания ванадия в мягких тканях – 32 – 47 мкг/г, а максимум - 47 мкг/г соответствует размерным группам 61-70 и 81-90 мм.

Для ванадия и свинца характерно увеличение концентрации этих элементов при росте длины раковины мидий до 70 мм с последующим существенным снижением. Такое же поведение характерно для никеля, меди и марганца. Среднее содержание никеля составляет 12,8 мкг/г с пиком концентраций (14,0 мкг/г) в группе 51-60 мм, с последующим уменьшением до 11,50 мкг/г. Среднее содержание меди в мягких тканях моллюсков исследуемого района составляет 15,3 мкг/г. При этом, диапазон колебаний концентраций меди составляет от 11,7 до 17,7 мкг/г. У молодых особей до размера 41-50 мм содержание меди находится в узком диапазоне – 14,4 – 15,5 мкг/г. Содержание меди в мягких тканях имеет выраженный максимум для размерной группы 51-70 мм (до 17,7 мкг/г). Концентрация марганца изменяется от 465 до 580 мкг/г при средней величине 530 мкг/г. Максимум его содержания отмечается в размерной группе 51-70 мм.

Ряд концентраций исследованных химических элементов в мягких тканях моллюсков (по мере их уменьшения) выглядит следующим образом:

$Mn > Zn > V > Cu > Ni > Pb$

Рост мидий до длины 60 – 70 мм сопровождается накоплением в мягких тканях Pb, V, Ni, Cu и Mn. При дальнейшем увеличении длины моллюсков отмечается снижение их содержаний. Концентрация цинка монотонно увеличивается до достижения мидий длины 80 мм и при дальнейшем росте моллюска – снижается.

Анализируя экстремальные концентрации химических элементов в мягких тканях мидий разных размерных групп, можно выявить некоторые особенности.

1. Изменчивость содержаний химических элементов связана с различиями биохимического функционирования мидий в разном возрасте.
2. Региональные различия условий среды обитания и питания биофильтраторов приводят к существенной изменчивости абсолютных величин концентраций металлов в биологических объектах.
3. Важнейшим фактором изменчивости концентраций химических элементов в мидиях является влияние загрязняющих веществ. Вполне вероятно, что при хронологическом анализе, учитывая возраст мидий, можно увидеть в какие годы существовали максимумы или минимумы загрязняющих веществ в среде данного региона на примере тяжелых металлов.

Скелетные ткани моллюсков концентрируют металлы в 2–5 раз меньше,

чем мягкие тела. При этом содержание Pb, V, Ni Cu колеблется в пределах 1 – 3,6 мкг/г. Концентрация марганца примерно в 40-50 раз выше.

Накопление свинца, ванадия, никеля, меди и марганца от возраста мидий, имеют схожие тенденции. В ракушке мидий положительные тренды изменения содержаний отмечены для всех 5 элементов. В размерных группах от 18 до 50 мм отмечается незначительное увеличение концентрации всех элементов, затем – уменьшение в группе 51-60 мм. Далее с ростом мидий наблюдается увеличение концентраций всех элементов.

Пределы колебаний марганца в створках составляют от 89 до 150 мкг/г. Марганец, как физиологически активный элемент (его содержание в ряду концентраций – наибольшее), постоянно используется моллюсками, достигая максимума в размерной группе 71 до 80 мм. Отмечается некоторое увеличение до 110 мкг/г в группах 31 – 50 мм.

Ряд концентраций химических элементов в створках мидий района Анапа – Адлер выглядит так: $Mn > Cu > V > Pb > Ni$

Известно, что наиболее загрязненными участками восточного побережья Черного моря являются бухты (Цемесская, Геленджикская), район Адлера, порты Новороссийск, Туапсе, Сочи, районы действующих нефтяных терминалов, регионы с максимальной рекреационной нагрузкой в сезон отдыха.

Наибольшие содержания токсичных металлов Cu, Pb в моллюсках зафиксированы в Туапсе и Имеретинской бухте. Минимальные значения этих элементов характерны для мидий районов Лазаревского, Архипо-Осиповки, п.Криница (устье р.Пшада), Утриша и Анапы. При этом, в районе м.Утриш в створках мидий отмечается максимум содержания свинца, и цинка в мягких тканях.

Максимумы концентраций никеля в мягких тканях фиксируются в Туапсе, Лермонтово, Кринице. Для створок характерно равномерное распределение.

Наибольшие величины концентраций марганца как в мягких тканях, так и в створках характерны для Имеретинской бухты, Адлера, Лазаревской и Туапсе. Мидии разных районов шельфа значительно различаются по степени концентраций тяжелых металлов, что, вероятно, определяется уровнем техногенного воздействия. Максимальные концентрации биологически связанных элементов в мягких тканях моллюсков (Pb, V, Ni, Cu, Mn), как правило, наблюдаются в районах, прилегающих к портам и промышленным центрам.

Скелетные ткани моллюсков накапливают свинец, ванадий, никель, медь и марганец с возрастом приблизительно равномерно. В размерной группе от 20 до 50 мм отмечается незначительное увеличение концентрации всех элементов, затем – уменьшение в группе 51-61 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.geokhi.ru>
2. Морозов Н.П., Петухов С.А. Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана. М.: Агропромиздат. 1986. 160 с.
3. Морозов Н.П., Сторожук Н.Г., Павлова Е.С. Различные аспекты изменчивости микроэлементного состава культивируемых, скаловых и иловых мидий Черного моря // Водная токсикология и оптимизация биопродукционных процессов в аквакультуре. М.: ВНИРО. 1988. С. 58-75.
4. Патин С.А., Морозов Н.П. Микроэлементы в морских экосистемах. М.: Лег. и пищ. Промышленность. 1981. 152 с.

The peculiarities of distribution of six heavy metals' concentrations in the soft tissues and valves of the mussels are studied. The mussels are considered as the main bio-filterers on different coastal areas of the eastern Black Sea shelf. The factors of the microelements' accumulation in the mollusks of different size groups as well as the regional differences of the process of microelements' concentrating by the bio-filterers are determined. Different levels of heavy metals' concentrations depend on the technogenous and recreational influence on the studied coastal areas. High correlations between the masses of accumulated heavy metals and the mussel size are found out. The arrows of absolute accumulation values of the studied chemical elements in the soft tissues and valves are made up. The coefficients of correlation between the microelements' concentrations in the soft tissues and valves are calculated.

Доценко И.В., Федоров Ю.А., Михайленко А.В.

(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, irinageo@mail.ru, fedorov@sfnedu.ru)

Мидийные сообщества и их роль в трансформации потоков ртути в Азовском море

Dotsenko I.V., Fedorov Yu.A., Mikhailenko A.V.

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

The mussels communities and their role in the transformation of mercury's flow in the Azov Sea

Сложный процесс жизнедеятельности, в том числе фильтрационная способность мидии определяет ее активное участие в круговороте тяжелых металлов в морской среде. Большие поселения мидий представляют собой мощный биофильтр, очищающий и осветляющий воду. Прямыми наблюдениями биологов установлено, что, например, в Черном море один квадратный метр колонии мидий фильтрует от 100 до 1000 т воды в сутки. Мидия является важным компонентом экосистемы Азовского моря, играющим важную роль в ее функционировании, в том числе в процессах переноса вещества (и энергии) между средами. Эти процессы многообразны и включают в себя различные аспекты жизнедеятельности организма, например, его фильтрационную активность, переработку взвеси, трофические взаимоотношения моллюска с другими организмами, в числе которых хищные гидробионты, питающиеся мидией и пр. В соответствии с этим следует предполагать активную роль моллюсков в миграции ТМ, в том числе ртути, которая, так или иначе, попадает в их организмы, накапливаясь и трансформируясь в них.

Изучение биогеохимических круговоротов тяжелых металлов базируется на данных о биомассе, биопродуктивности доминирующих видов организмов, входящих в биотическое сообщество морской экосистемы, а также об уровнях концентраций элементов в этих организмах и окружающей среде, накоплении и выделении ТМ в онтогенезе организмов [1, 2, 3, 4]. В пределах акватории Азовского моря черноморский моллюск *Mytilus galloprovincialis* Lam., после его заселения, является важным представителем донной фауны. В связи с этим имеет большой научный и практический интерес исследование роли мидийных сообществ в трансформации потоков такого приоритетного тяжелого металла, как ртуть в мелководном морском водоеме.

Анализ концентраций ртути в телах отобранных в Азовском море мидий показал, они варьируют в пределах от 0,15 до 0,45 мкг/г сырой массы (с.м.), составляя в среднем 0,3 мкг/г с.м. Характерно, что полученные данные несколько превышают концентрации ртути в мидиях северо-восточного шельфа Черного моря [4], что указывает на более сильный антропогенный

прессинг на акваторию Азовского. В данной работе установлен экспоненциальный характер накопления ртути с возрастом и размером моллюсков. Коэффициенты накопления в системе мидия – вода составили $0,43-2,4 \times 10^4$. Для Азовского моря этот показатель варьирует в пределах $0,15 \times 10^4 - 1,5 \times 10^4$, что является следствием более высоких концентраций данного ингредиента в воде Азовского моря по отношению к Черному. Для Азовского моря были произведены расчеты коэффициентов накопления в системе мидия - взвешенное вещество. Они показали, соотношение величин в пределах от 1,33 до 1,57. Коэффициенты накопления в моллюсках по отношению к содержанию в донных отложениях оказались значительно больше – от 15 до 42. По-видимому, это свидетельствует об аккумуляции ртути в телах мидии не только путем её извлечения из взвешенного вещества и воды, но и из донных отложений. Отмечено четкое увеличение концентраций ртути с размером и, соответственно, возрастом особей, что подтверждает вывод об особенностях накопления ртути в сравнении с другими ТМ. В створках мидий концентрации ртути изменялись от 0,03 до 0,05 мкг/г сырой массы, составляя в среднем 0,04 мкг/г, что в 3-6 раз меньше, чем в телах. Ранее близкое соотношение концентраций было отмечено для северо-восточного шельфа Черного моря [4]. Как и в случае с распределением ртути в телах мидий, в раковинном материале установлено увеличение концентраций металла по мере роста размера особей. Полученные данные позволили нам произвести оценку потоков ртути и их трансформации с участием мидийных сообществ в Азовском море.

Согласно данным АзНИИРХа биомасса популяции мидии в Азовском море варьирует от 11-12 до 550 тыс.т. Учитывая сложившиеся гидрохимические особенности Азовского моря, которые являются не самыми благоприятными для развития популяции, нами были взяты для расчета минимальные показатели биомассы мидии, т.е. 11-12 тыс.т. Известно, что из общей биомассы организма определенная доля приходится на мягкие ткани, створки, а также полостную жидкость. Так, створки составляют 30% - 47% от общей массы моллюска. На основе этих данных были вычислены общая масса створок всей популяции мидии которая составила от 3,45 тыс.т (30%). Используя известную среднюю концентрацию ртути в створках мидии равную 0,04 мкг/г получаем, что в створках содержится 0,138 кг ртути. Таким же образом рассчитали концентрацию ртути для варианта массы створок 47% от общей биомассы, она составила 0,216 кг. Средние расчетные показатели для створок составили 0,177 кг.

Используя этот метод, мы рассчитали объем ртути, содержащийся в телах всей популяции мидии. Известно, что масса тела мидии составляет 55%-70% от общей. Расчеты показали, что вся масса мягких тканей мидий составила от 6,32 тыс.т (55%) до 8,05 тыс.т (70%). Поскольку нам известны концентрации в телах моллюсков (0,3 мкг/г) мы вычислили, что для 55%

массы тела в общей биомассе концентрация ртути составила 1,89 кг, а для 70% массы тела концентрация 2,415 кг. При этом средний объем ртути в телах мидии составил 2,15 кг. На основе всех этих расчетов мы получили общий средний объем ртути во всей популяции мидий Азовского моря, который составил 2,33 кг. Зная, что ежегодная естественная убыль моллюсков составляет 35%, а также около 35% ее биомассы выедается хищниками, мы можем вычислить объемы осаждения с мягкими тканями и створками и долю, вовлекаемую в миграцию по трофической цепи. Так до 0,82 кг ртути ежегодно вовлекается в миграцию по трофической цепи и такой же объем каждый год осаждается на дно моря. При этом необходимо отметить, что ртуть, которая аккумулировалась в мягких тканях (1,464 кг) высвобождается при их разложении быстрее, а в створках (0,901 кг) медленнее, т.к. ртуть в них прочно связана и может высвобождаться только вследствие разрушения структуры минерала. Учитывая, что биомасса мидии в Азовском море может достигать значений 92,5 г/м², представляется возможным рассчитать какое количество ртути может осаждаться вследствие отмирания моллюсков на единицу площади в районах их распространения. Так, используя произведенные ранее расчеты, получаем, что в 92,5 г мидий, собранных с 1 м² дна, содержится 0,02 мг ртути. Зная, ежегодную убыль получаем, что в районах максимального распространения мидий в Азовском море, каждый год на указанную единицу площади может осаждаться 7 мкг ртути в составе отмерших тканей (мягких и скелетных).

Мидийные сообщества в ходе фильтрации водной толщи перерабатывают огромное количество взвешенного материала и осуществляют колоссальную работу по его преобразованию. Главным образом эта деятельность связана с вовлечением содержащихся во взвеси химических элементов в жизненный цикл моллюсков и дальнейший их транспорт в придонный горизонт водной толщи, иловые воды и поверхностный слой донных отложений. Литературные данные свидетельствуют о том, что плотное скопление мидий на 1 м² дна способно профильтровывать до 280 м³ воды в сутки, при этом практически полностью очистив ее от взвеси. Соответственно, если произвести расчеты содержания в этом объеме воды ртути, сорбированной на взвешенных частицах можно вычислить объем этого металла, проходящий через организмы моллюсков и перерабатываемый и трансформируемый ими. Однако, учитывая, что мидия в Азовском море не формирует настолько значимых скоплений, представляется целесообразным рассчитать объем ртути, переработанной и потребленной мидиями исходя из данных о ее суточном рационе (в среднем около 5% от веса тела), т.е. на 1 м² около 2,5 г взвеси. При содержании ртути во взвеси придонного слоя воды равном 2,5 мкг/г в пробах, отобранных во время комплексной экспедиции «Азовское море - 2006» [5], установлено, что популяция потребляет 6,25 мкг ртути в сутки на каждый квадратный метр поселения.

Таким образом, получено, что ежесуточно скопление черноморской мидии на каждый м² дна Азовского моря в местах, наиболее благоприятных для жизни эти моллюски способны перерабатывать и потреблять в ходе фильтрации воды до 6,25 мкг ртути, входящей в состав взвеси. Впоследствии часть из этого количества накапливается в тканях, а другая высвобождается в составе продуктов жизнедеятельности и накапливается в донных отложениях, часть мигрирует по трофическим цепям и т.д. Синхронно с этим несколько больший объем металла (7 мкг/м²) осаждаются моллюсками на морское дно в течение года вследствие естественного отмирания. Общий объем осаждаемой моллюсками ртути составляет согласно нашим расчетам 2,33 кг. Тем самым обозначается участие этого вида в трансформации потоков ртути в экосистеме.

Работа выполнена при финансовой поддержке Грантов Президента РФ «Ведущие научные школы» (НШ - 3714.2010.5), РФФИ (Проект 09-05-00337), Госконтракта № П 1102.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов Н.П., Петухов С.А. Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана. М: Агропромиздат, 1986. 160 с.
2. Демина Л.Л. Биогенная миграция микроэлементов в океане. Автореф. диссертации на соискание уч. ст. докт. наук. Москва, 2010. 48 с.
3. Доценко И.В. Оценка осаждения тяжелых металлов черномоской мидией (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) в морских акваториях / Автореф.диссертации на соискание уч. ст. канд. наук. Ростов-на-Дону, 2005. 26 с.
4. Федоров Ю.А., Денисов В.И., Ткаченко Ю.Ю. Черноморская мидия (*Mytilus galloprovincialis* Lam.) – индикатор ртутного загрязнения шельфа / Изв. Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2001. № 2. С. 67-71.
5. Федоров Ю.А., Сапожников В.В., Агатова А.И., Аржанова Н.В., Белов А.А., Кузнецов А.Н., Лапина Н.М., Логинов Е.Б., Предеина Л.М., Семочкина Т.Б., Торгунова Н.И. Комплексные экосистемные исследования в российской части Азовского моря (18–25 июля 2006 г.) // Океанология. 2007. Т. 47. № 2. С. 316 – 319.

The distribution of mercury's concentrations is studied. The coefficients of mercury's accumulation in the system of mussels – water – suspended matter – bottom sediments are calculated. The role of mussel communities in transformation of mercury's flow is assessment in the Azov Sea.

**Зернова В.В., Доманов М.М., Мельникова З.Г.,
Паутова Л.А.**

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва,
domanov@ocean.ru)

**Особенности распределения фитопланктона в Балтийском
море в Гданьском и Финском заливах летом 2010 г.**

Zernova V.V., Domanov M.M., Melnikova Z.G. Pautova L.A.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

**Characteristic features of phytoplankton distribution in Gdansk
and Finland bays of the Baltic Sea in summer 2010**

Многолетние исследования планктонных водорослей Балтийского моря показали не только высокий уровень их развития в весенне-летний период, но и большую качественную и количественную изменчивость, особенно в прибрежных водах заливов. За последние 30 лет по данным постоянного мониторинга [HELCOM] можно проследить ряд особенностей в развитии фитоцена. Судя по резким колебаниям общего количества и изменениям в составе основных групп водорослей, состояние фитоцена в этот период было весьма нестабильным. В настоящей статье приводятся данные о современном состоянии фитопланктонного сообщества Балтики, полученные летом 2010 г. в двух заливах — Гданьском и Финском и в прилегающих к ним открытых водах. При этом анализируется не только крупный фитопланктон, но и пикопланктон (<10 мкм).

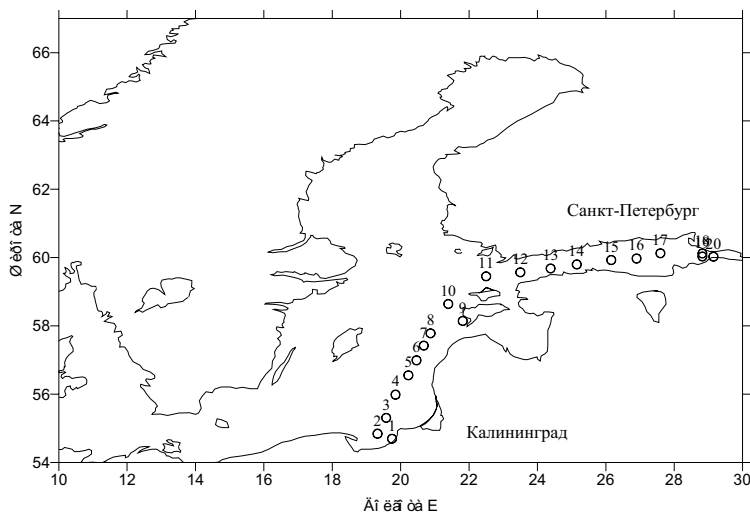


Рис. 1. Положение станций по маршруту 30 рейса НИС «Академик Сергей Вавилов»

Район работ и методика

Исследования видового состава фитопланктона, оценка его численности и биомассы выполнены в 30 рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» в период 8 – 9 июня 2010г. на трансбалтийском разрезе Калининград – Санкт-Петербург в 20 точках маршрута (рис. 1). Разрез пересекает зоны с различными гидрохимическими и гидрологическими условиями, что дает возможность оценить влияние этих условий на развитие региональных сообществ фитопланктона.

Методика выполнения исследований фитопланктона

Пробы воды для определения фитопланктона и биогенных элементов были отобраны ведром из поверхностного слоя моря. Объем исходной пробы для определения численности, биомассы и видового состава фитопланктона составляет 1-2 литра. Пробы сконцентрированы до объема 40-50мл методом обратной фильтрации через ядерный фильтр с размером пор 1 микрон. Фиксирование проб выполнено 40% формалином до конечной концентрации 1%. Для подсчета проб использован метод прямого микроскопирования водного препарата на световом микроскопе Эргавал (Карл Цейс, Иена) при увеличении 16x20 16x40. Идентификация видов и подсчет числа клеток проводили в камере Ножотта объемом 0,05 см³ для наннопланктона и в камере Наумана объемом 1 мл для пико и микропланктона. Учитывались водоросли всех систематических групп. Отдельно выделяли группу мелких флагеллат неуставленной систематической принадлежности (линейный размер клеток 4-10 мк). К фракциям пикопланктона относили клетки с линейными размерами 1-2 мк. Биомассу рассчитывали методом геометрического подобия [Киселев, 1959], приравнивая форму клетки к одной из геометрических фигур (шару, цилиндру, эллипсоиду вращения). Биомассу выражали в единицах сырого веса мг/м³. В вопросах номенклатуры руководствовались справочной литературой (Identifying Marine phytoplankton, 1997 с корректировкой согласно последних данных литературы по систематике морских планктонных водорослей [Prondsen et al., 2003] и сайта WWW.algabase.org.

Синхронно с отбором проб фитопланктона отобраны пробы для измерения содержания биогенных элементов. Измерение концентрации фосфатов выполнены по методу Morphy and Riley (1962). Силикаты определены по голубому КМК по методу Koroleff (1972).

Обсуждение результатов исследования.

Распределение общей численности и биомассы фитопланктона на разрезе показано на рис. 2.

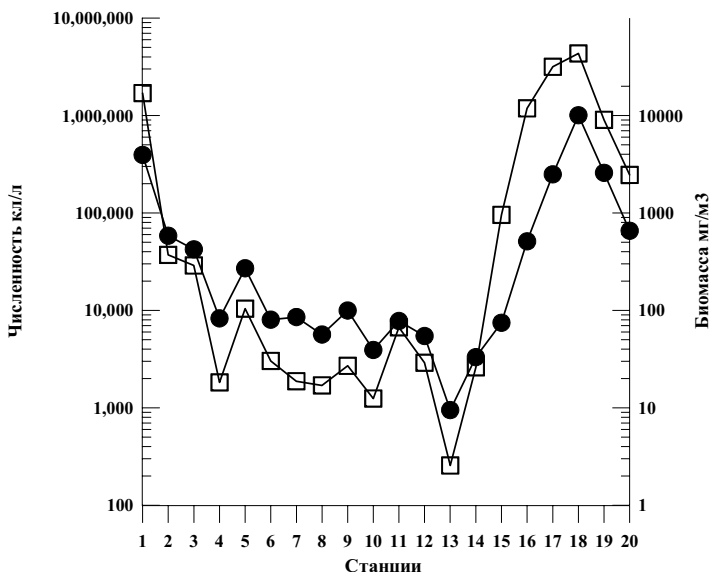


Рис. 2. Общая численность и биомасса фитопланктона на разрезе от Калининграда до Санкт-Петербурга в 20 точках маршрута

Исследования популяции фитопланктона на Трансбалтийском разрезе позволили получить данные о состоянии фитоценов в Гданьском заливе (ст. 1 и 2), в пелагиали Центральной Балтики (ст. 3–10) и в Финском заливе (ст. 11–20). В период исследования (8–9 июня) заканчивалась весенняя стадия развития фитопланктона в условиях устойчивой плотностной вертикальной стратификации, ограничивающей поступление биогенных элементов в поверхностный продуктивный слой воды.

Развитие фитоценоа происходило в условиях дефицита неорганических форм азота, что типично для июня [HELCOM, 2010]. Концентрация силикатов менялась от 47,59 мкг-ат/л в Гданьском заливе до 0,2 мкг-ат/л в Финском заливе. Количество фосфатов изменялось от 0,19 мкг-ат/л до 0,04 мкг-ат/л в центральной Балтике и вновь повышалось до 0,21 мкг-ат/л в Финском заливе. Сопоставление концентраций биогенных элементов, измеренных в период 8–9 июня со среднееголетними значениями для июня, указывает на определенную временную консервативную устойчивость в региональном распределении биогенных элементов в поверхностном слое Балтийского моря.

Распределение фитопланктона

Гданьский залив отличается довольно высокой общей биомассой фитопланктона (до 3946 мг/м³ на станции 1) и интенсивным развитием зоофлагеллат. Их максимальная для всего разреза численность отмечена здесь на прибрежной станции № 1 и достигала 89600 кл/л при биомассе

1263 мг/м³. Здесь же активно развиваются зеленые водоросли, численность и биомасса которых (462812 кл/л, 1058 мг/м³) также максимальны для всего разреза. Численность и биомасса диатомей составляла 960704 кл/л и 841 мг/м³. Развитие фитоцена происходило в условиях отсутствия дефицита фосфора и кремния. Концентрации Si - 14,8 - 47,6 мкг-ат/л и PO₄³⁻ - 0,17 - 0,19 мкг-ат/л.

Численность и биомасса фитопланктона резко уменьшаются при выходе из залива в пелагическую часть Балтики. В пелагиали Центральной Балтики общее среднее количество фитопланктона уменьшается до величин 6370 кл/л и 130 мг/м³ по сравнению с соответствующими величинами для Гданьского залива (869368 кл/л, 2265 мг/м³). Уменьшение популяции фитопланктона связано со снижением концентрации биогенных элементов в поверхностном слое вод. Основными группами были синезеленые водоросли, способные фиксировать азот из воздуха и перидинеи. Спорадически встречались диатомеи (в среднем 53 кл/л, 0,64 мг/м³).

Массовое развитие фитопланктона наблюдается при входе и при продвижении на восток в Финском заливе. В Финском заливе структура фитоцена резко изменяется. Диатомеи доминируют как по численности, так и по биомассе. Их численность на ст. 18 возрастает до 4262440 кл/л при биомассе 9998 мг/м³. Общая численность фитопланктона на этой станции составляет 4331500 кл/м³ при биомассе 10083 мг/м³. Эти величины являются максимальными для всего Трансбалтийского разреза.

По численности в Гданьском заливе на прибрежной станции 1 доминировали диатомеи, а на станциях 2 и 3 – зоофлагеллаты. В центральной Балтике до входа в Финский залив доминировали синезеленые водоросли. При входе в Финский залив начинают доминировать перидинеи, а затем диатомеи, которые остаются абсолютными доминантами на всех станциях в Финском заливе.

При рассмотрении роли основных групп фитопланктона в формировании общей биомассы фитопланктона можно отметить, что на станциях в Гданьском заливе доминировали зоофлагеллаты, а после выхода из него на ст. 5 - синезеленые. В остальной части разреза в пелагиали центральной Балтики, вплоть до входа в Финский залив доминировали перидинеи. В Финском заливе везде доминируют диатомеи. Видовой состав фитопланктона в основных группах существенно изменялся на станциях разреза в различных районах Балтики. Так, например, в Гданьском заливе в группе диатомей основная биомасса и численность была образована водорослями *Chaetoceros curvisetus* (460800 кл/л, 579 мг/м³). В Финском заливе абсолютным доминантом в группе диатомей была *Thalassionema nitzschioides*, численность и биомасса которой на ст.18 составляла 4256000 кл/л и 9988 мг/м³.

В группе перидиней в Гданьском заливе на прибрежной станции по биомассе доминировали *Diplopsalis lenticula* и *Prorocentrum cordatum*, а

затем на выходе из залива - *Dinophysis baltica*. Доминирование этого вида продолжалось в центральной Балтике вплоть до ст. 10, где доминантом становится *Protoperidinium brevipes*. *Protoperidinium brevipes* доминирует до ст. 15 в Финском заливе, а на ст. 16 доминантом становится *Diplopsalis lenticula*. На последующих станциях Финского залива перидинии либо вообще отсутствуют, либо встречаются в следовых количествах, с ничтожной биомассой. Исключением является ст. 19, где *Peridiniella catenata*, будучи единственным представителем этой группы, дает существенную биомассу - 548 мг/м³ (20,8% от общей биомассы на станции).

Токсический фитопланктон

В результате исследования видового состава проб фитопланктона было найдено 13 видов токсичных и потенциально-токсичных водорослей. Максимальное количество найдено в Финском заливе (ст. 16) - *Skeletonema costatum* (921600 кл/л, 232 мг/м³). Токсические виды в группе диатомей представлены видом *Skeletonema costatum*, в группе перидиний - *Alexandrium sp.*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis norvegica*, *Heterocapsa triquetra*, *Prorocentrum minimum*, *Prorocentrum balticum*, *Scrippsiella trochoidea*, в группе синезеленых - *Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena subcylindrica*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulvereae*.

Наибольшее число токсичных потенциально-токсических видов обнаружено в Гданьском заливе (8) и в северной части центральной Балтики. К ним относятся: *Alexandrium sp.*, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis norvegica*, *Anabaena subcylindrica*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulvereae*, *Nodularia spumigena*, *Heterocapsa triquetra*. Токсический фитопланктон в пелагиали центральной Балтики представлен следующими видами: *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis norvegica*, *Heterocapsa triquetra*, *Prorocentrum minimum*, *Prorocentrum balticum*, *Nodularia spumigena*, *Anabaena subcylindrica*. В пелагиали северной части центральной Балтики идентифицированы токсические виды: *Skeletonema costatum*, *Alexandrium sp.*, *Alexandrium tamarense*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis acuminata*, *Prorocentrum balticum*, *Nodularia spumigena*, *Anabaena subcylindrica*. В Финском заливе количество видов токсического фитопланктона было меньше, чем в других регионах (6). *Skeletonema costatum*, *Scrippsiella trochoidea*, *Microcystis aeruginosa*, *Nodularia spumigena*, *Anabaena subcylindrica*, *Aphanizomenon flos-aquae*.

Заключение

Характеристики фитоцена Балтики в исследованных районах типичны для начала летнего периода и соответствуют средним многолетним данным. По числу клеток мелкая фракция на 1-3 порядка превышает крупную фракцию тогда как по биомассе не больше чем в 2 раза, а иногда и значительно ниже. Максимальная биомасса сформирована в Финском заливе за счёт вегетации диатомовых водорослей *Thalassionema nitzschioides*. Дальнейшее увеличение биомассы диатомовых в этом регионе

при данной гидрофизической ситуации, маловероятно, так как этому будет препятствовать дефицит кремния в фотическом слое. Доминирование по биомассе перидиней и синезеленых водорослей по численности в центральной Балтике обусловлено низким содержанием фосфатов и дефицитом неорганического азота. Доминирование этих групп в летний период также типично для центральной Балтики. Акваторий с массовым развитием этой группы фитопланктона, приводящим к негативным последствиям, на разрезе не отмечено. Токсический фитопланктон представлен типичными для Балтийского моря видами. Численность и биомасса его незначительна и в данной ситуации опасности не представляет. Исключение составляет ст. 16 в Финском заливе, где весьма активно развивается *Skeletonema costatum* (921600 кл/л, 232 мг/м³), но она не является массовым видом для этого района.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-05-00545.

This article gives the data about modern situation in phytoplankton community of Gdansk and Finland bays of the Baltic Sea in summer 2010. Phytoplankton and picoplankton (<10 мкм) species, quantity and biomass were analysed.

**Кокрятская Н.М., Забелина С.А., Титова К.В.,
Чупаков А.В., Воронцова О.Н., Филина К.В.**

(Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, nkokr@yandex.ru)

**Биогеохимические исследования системы
стратифицированных озер реки Светлая (водосборный
бассейн Белого моря)**

**Kokryatskaya N.M., Zabelina S.A., Titova X.V.,
Chupakov A.V., Vorontsova O.N., Filina K.V.**

(Institute of ecological problems in the North Ural Branch RAS, Arkhangelsk)

**Biogeochemical studies of stratified lakes of the River Svetlaya
(the catchment area of the White Sea)**

Изучение механизмов, контролирующих распределение окислительно-восстановительных процессов, занимает центральное место в понимании геохимии анаэробной водной среды. Одним из наиболее важных окислительно-восстановительных процессов в природных анаэробных средах, протекающих с участием микроорганизмов, является окисление органических веществ с восстановлением сульфатов до сероводорода. Основным природным агентом, связывающим этот бактериальный сероводород, является реакционноспособное железо. Изучение процессов цикла серы, взаимосвязи их с циклами углерода и железа, представляется актуальным для северных водоемов, обладающих низкой способностью к самоочищению и, поэтому, наиболее чутко реагирующих на любое внешнее воздействие, будь то антропогенное влияние или климатические изменения.

В настоящей работе приводятся первые данные биогеохимических исследований процесса сульфатредукции трех озер, входящих в систему пяти озер, дающих начало реки Светлая, принадлежащей бассейну Белого моря (рис. 1). Изучаемые озера представляют собой небольшие вытянутые водоемы, длиной до 1 км, с максимальной глубиной 39 м (Светлое-1), 24 м (Светлое-2) и 26,5 м (Светлое-3). В результате регулярных наблюдений, начатых в январе 2010 года, установлено наличие постоянной плотностной и химической стратификации для всех трех изучаемых озер, что позволило отнести их к меромиктическим. Для наиболее глубокого из этих озер (Светлое-1) характерно наличие трех четко выраженных слоев: 1) аэробная зона (до 20 м), 2) переходный слой (хемоклин) на глубине 20-25 м, где отмечается резкое уменьшение содержания кислорода (практически до аналитического нуля), столь же резкое увеличение величины электропроводности и появление в воде растворенного сероводорода; и 3) анаэробная зона, где сохраняются достигнутые значения электропроводности и содержания сероводорода. В двух других озерах эти три зоны выражены не столь отчетливо, но для них также характерно

постоянное отсутствие кислорода в глубоководных водах, наличие скачка электропроводности и присутствие сероводорода в придонных горизонтах.

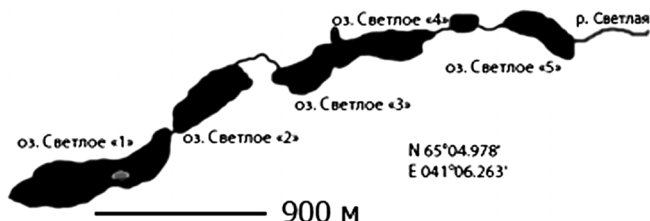


Рис. 1. Карта-схема расположения системы озер реки Светлая

Для первого в системе озера - Светлое-1, во время зимней межени 2011 года определено содержание различных форм растворенного углерода. Количество растворенного органического углерода (РОУ) увеличивалось от 21.8 мг С/л в поверхностных водах до 33.0 мг С/л на глубине 30-39м. Глубинные воды также характеризовались повышенным содержанием карбонатного углерода – 4.42 мг С/л, что в 2.5 раза выше, чем на поверхности. Во время летней межени отмеченные тенденции в распределении РОУ по вертикали водного столба сохранились, хотя содержание РОУ уменьшилось почти на порядок. Определение $S_{орг}$ и $S_{карб}$ выполнялось методом термокаталитического (800°C) сжигания на анализаторе Multi N/C 2000 (AJ) после фильтрования через стекловолоконный фильтр с размером пор 0,7 мкм.

Содержание растворенного железа (определение с феррозином) значительно изменяется по вертикали водного столба всех трех исследованных озер. Для озера Светлое-1 количество общего растворенного железа (сумма двух- и трехвалентных форм) изменялось в среднем от 1.57 μM в аэробной зоне до 43.1 μM в хемоклине и 175 μM в анаэробном монимолимнионе, достигая максимальных значений (190-205 μM) в придонном горизонте. При переходе от аэробных условий к анаэробным возрастает роль двухвалентного железа в составе общего растворенного: так в пределах первых 20 м его доля составляет в среднем 47.3%, в хемоклине – 72.8% и 94.0% - на глубине более 25м. Для второго в системе озера (Светлое-2) не отмечено закономерных изменений в распределении общего растворенного железа по глубине, притом, что его содержание сопоставимо с данными для аэробной зоны озера Светлое-1 (в среднем 2.52 μM). Максимальные значения (4.2 – 5.6 μM) также характерны для придонных горизонтов, хотя их уровень несравнимо ниже, чем в первом озере. Однако здесь, в придонных водах, как и в озере Светлое-1, доля двухвалентного

железа в составе общего растворенного максимальна – 90.1%. Для последнего из исследованных к настоящему времени озер системы – Светлое-3, отмечено наличие слоистости в распределении растворенного железа. Так его количество в обогащенных кислородом водах (до глубины 18м) составляет в среднем 1.92 μM , а затем в анаэробной зоне резко увеличивается, составляя 71 μM на горизонте 20 м, и достигает величины 890 μM в придонных слоях воды (22-24м). В анаэробной зоне ведущая роль в составе общего растворенного принадлежит двухвалентному железу (94.2%). Из приведенных данных видно, что содержание общего растворенного железа для кислородных вод всех трех озер отличается незначительно (1.57 – 2.52 – 1.92 μM), что наиболее вероятно объясняется общностью источников его поступления в эти водоемы. Выявленные различия в накоплении растворенного железа в придонных горизонтах обусловлены, скорее всего, различным уровнем минерализации органического вещества в процессе седиментации и скоростью поступления железа из донных отложений вследствие неодинаковой интенсивности пропекающих в них диагенетических процессов.

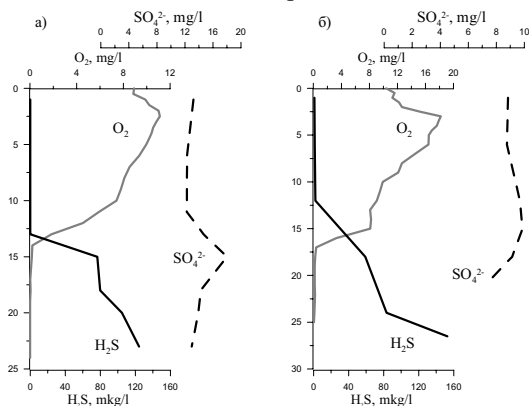


Рис. 2. Вертикальное распределение кислорода, сероводорода и сульфатов в озерах Светлое-2 (а) и Светлое-3 (б)

Содержание сульфатов в воде исследованных озер сравнительно невелико и составляет в среднем 10.4 мг/л. Для озера Светлое-1 среднее содержание сульфатов составляет 9.91 мг/л (в аэробной зоне – 10.90 мг/л, в зоне хемоклина – 9.84 мг/л и в анаэробной зоне – 8.82 мг/л). Из приведенных данных видно некоторое уменьшение в содержании сульфатов в бескислородной зоне по сравнению с миксолимнионом, что обусловлено, скорее всего, потреблением их сульфатредуцирующими бактериями в процессе генерации сероводорода. В воде озера Светлое-2 среднее содержание сульфатов составляет 11.57 мг/л при их практически равном их количестве в кислородных водах и придонных горизонтах – 11.56 мг/л и

11.60 мг/л соответственно. Для озера Светлое-3 среднее содержание сульфатов – 12.44 мг/л, при их содержании 12.50 и 12.33 мг/л соответственно в аэробных и анаэробных водах.

Выполненные исследования показали постоянное присутствие сероводорода в воде всех трех обследованных озер. В кислородных водах он обнаруживается эпизодически в микроколичествах - его содержание не превышало в подавляющем большинстве случаев 0.03-0.10 мМ. Причем во всех случаях отмечено наличие зоны совместного присутствия кислорода и сероводорода (рис. 2 и 3). В более глубоких анаэробных водах уровень его содержания и характер вертикального распределения для каждого озера индивидуальны.

На рис. 2 приведено вертикальное распределение растворенного сероводорода в воде озер Светлое-2 и Светлое-3, анаэробные воды которых характеризуются наиболее высокими значениями содержания сульфидов - в среднем 5.06 мМ и 3.94 мМ. Максимальные найденные значения этого показателя также определены в придонных горизонтах этих двух озер и составляют соответственно 10.51 мМ и 16.50 мМ. В озере Светлое-1 слой совместного присутствия кислорода и сероводорода (рис. 3) расположен в зоне хемоклина. Как в зимний, так и в летний период в зоне хемоклина фиксировался отчетливо выраженный максимум в распределении сероводорода, следом за которым следовал локальный минимум сульфатов. Затем на глубине около 30м его содержание стабилизировалось и оставалось постоянным на уровне порядка 1 мМ.

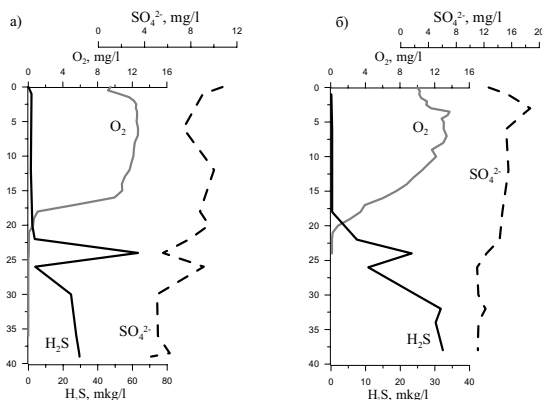


Рис. 3. Вертикальное распределение кислорода, сероводорода и сульфатов в озерах Светлое-1 в зимний (а) и летний (б) период

Пробы воды в зоне хемоклина (22-24 м) в течение всего периода наблюдений были окрашены в розовый цвет, обусловленный развитием пурпурных бактерий, развивающихся на границе аэробной и анаэробной зоны. Наибольшая интенсивность окраски этого слоя наблюдалась в зимний

период, несмотря на значительную толщину ледового (70 см) и снежного (50 см) покровов. Поскольку развитие анаэробных фототрофных бактерий контролируется наличием света, с одной стороны, и сульфида в качестве донора электронов, с другой стороны, очевидно, что в озере Светлое-1 вследствие высокой прозрачности воды и льда, ледовый покров не препятствует проникновению света в зону хемоклина и массовому развитию пурпурных бактерий. Рекогносцировочные исследования летом 2011 года озера Светлое-2 выявили наличие слабозеркального слоя на глубине 15-16 м непосредственно над скачком концентрации сероводорода.

Для озера Светлое-1 были выполнены микробиологические исследования по определению численности сульфатредуцирующих бактерий (СРБ). Определение численности жизнеспособных клеток СРБ проводили методом десятикратных разведений на минеральной среде Постгейта с лактатом и водородом в качестве донора электронов. Численность СРБ в водной толще за время наблюдений колебалась от 10 до 10^6 кл·см⁻³. В зимний период 2010-2011 гг. их максимальная концентрация была определена в зоне хемоклина, в осенний период (октябрь 2010 г.) они концентрировались в придонном слое воды. По предварительным оценкам в структуре СРБ преобладали H₂-утилизирующие СРБ. В донных осадках озера в зимний период численность СРБ не превышала 10 кл·см⁻³, это позволяет говорить о том, что наиболее активно процесс сульфатредукции протекает в водной толще, а не в осадках.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ-север «Биогеохимические циклы серы, углерода и сопряженных с ними элементов в экосистемах малых озер Архангельской области» № 11-05-98802.

The results of studies stratified (meromictic) small lakes of the River Svetlaya (the catchment area of the White Sea) are represented. Vertical distribution of dissolved hydrogen sulfide, sulfate-reducing bacteria, reactive iron and dissolved organic carbon in various seasons are investigated.

Крикун Е.Д., Дубинин А.В.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, evgenia.krikun@gmail.com)

Геохимия рассеянных и редкоземельных элементов

в осадках Ангольской котловины

Krikun E.D., Dubinin A.V.

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

Trace element and REE geochemistry of the Angola Basin sediments

В настоящей работе рассмотрено поведение редкоземельных и рассеянных элементов в осадках Ангольской котловины на примере станции 2182 с целью выяснения их индикаторной роли в процессах седиментогенеза и диагенеза. Материал был отобран в 29 рейсе НИС «Академик Иоффе» (23°30.52' S и 4°17.19' W, глубина 4990 м).

Ангольская котловина Атлантического океана расположена к востоку от Срединно-Атлантического хребта. Рельеф дна сложный, узкие вытянутые долины чередуются с поднятиями, глубина которых выше критической глубины карбонатакопления (КГК) в данном районе (примерно 4800 м). Выше КГК на поднятиях формируются карбонатные осадки, в долинах - пелагические глины. Осадки колонки представлены в основном фораминиферо-кокколитовыми илами, содержание карбоната кальция варьирует в пределах 60-98% (рис. 1).

Распределение элементов макросостава осадков показано на рис. 2. Содержание железа, марганца и алюминия значительно варьируют по колонке осадков из-за переменного содержания карбоната кальция. Изменение содержания марганца с глубиной в осадках происходит одновременно с Fe и Al, что свидетельствует об отсутствии его диагенетического перераспределения. Исключением является поверхностный слой, где содержание марганца повышено. Железа в степени окисления 2+ в осадках станции не обнаружено, а содержание железа 3+ убывает вниз по колонке, что в целом указывает на старение осадка и раскристаллизацию оксигидроксидов железа со временем. Зависимость содержаний Al и Fe от содержания в осадке CaCO_3 показана на рис. 3. Резкое локальное увеличение содержаний железа, марганца и алюминия на горизонтах 56-57 см и на 135-140 см, очевидно, связано с увеличением глинистой компоненты осадка. Отношение Mn/Al вдоль колонки составляет в среднем 0,14, с резкими максимумами (0,24) на горизонтах 15-20 и 30-35. Аналогично отношение Co/Ni вдоль колонки мало отличается от 0,5, а для горизонтов 15-20 и 30-35 составляет 0,86 и 1,18 соответственно (рис. 2). Рост величин отношений Mn/Al и Co/Ni свидетельствует о наличии повышенных количеств гидрогенных оксигидроксидов на исследованных горизонтах в осадке.

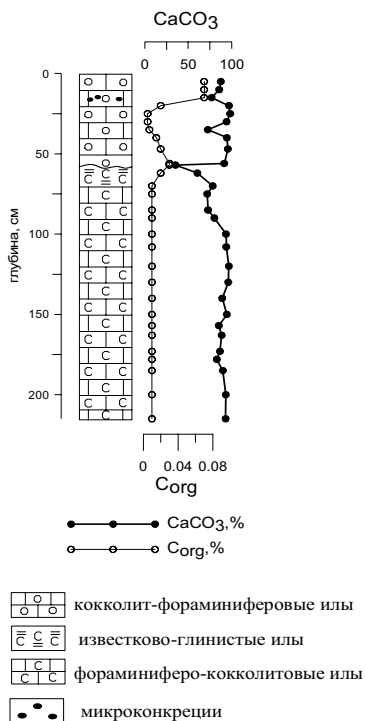


Рис. 1. Литологический состав и распределение CaCO₃ и C_{орг} в осадках станции 2182

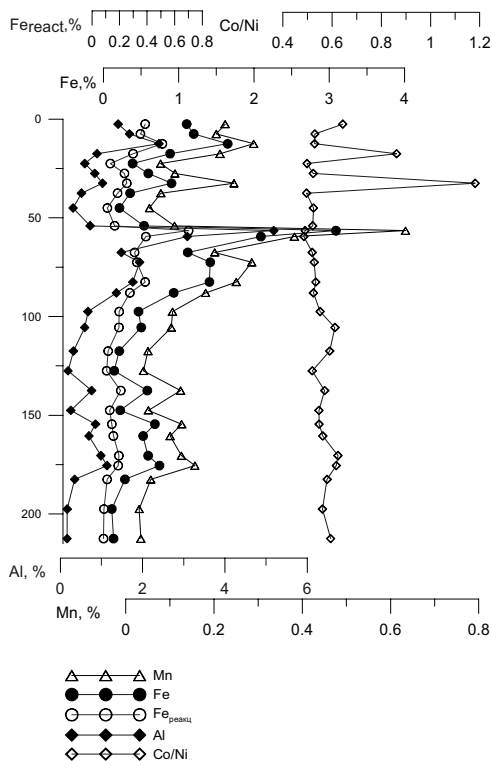


Рис. 2. Распределение содержаний Mn, Al, Fe, Fe_{реакт} (%) и отношения Co/Ni в осадках станции 2182

Повышенное содержание оксигидроксидного материала представлено Fe-Mn микроконкрециями. Это привело к росту положительной аномалии Се (1,49 и 1,19 соответственно, рис. 4) в осадках этих горизонтов, что также указывает на повышение содержания водородной компоненты осадка. Содержания РЗЭ обратно зависят от содержания биогенного карбоната. Увеличение содержаний биогенного карбоната кальция в осадках приводит не только к уменьшению содержания РЗЭ, но и к изменению величины Се ап (рис. 4).

Используя зависимость содержаний РЗЭ от содержания карбоната ($r > 0.9$), можно получить состав РЗЭ в 100% CaCO₃ (рис. 5). Средний состав РЗЭ в карбонатах практически совпадает с содержанием РЗЭ в карбонатных матрицах фораминифер Атлантического океана, которые приведены в работе [1]. Состав РЗЭ в глинистой и оксигидроксидной составляющей

осадка можно получить при экстраполяции на содержание CaCO_3 равном 0.

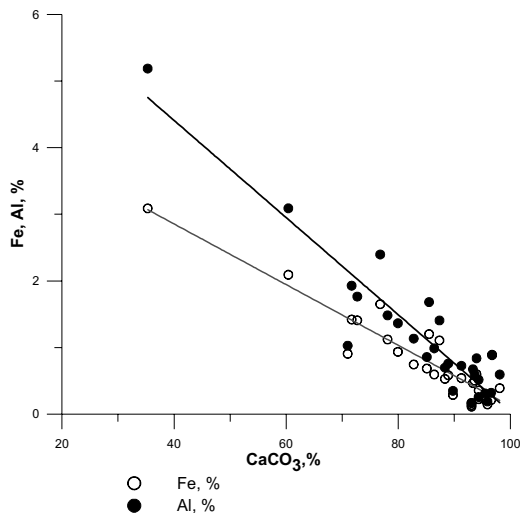


Рис. 3. Изменение содержаний Al и Fe в зависимости от содержания CaCO_3 в осадках станции 2182

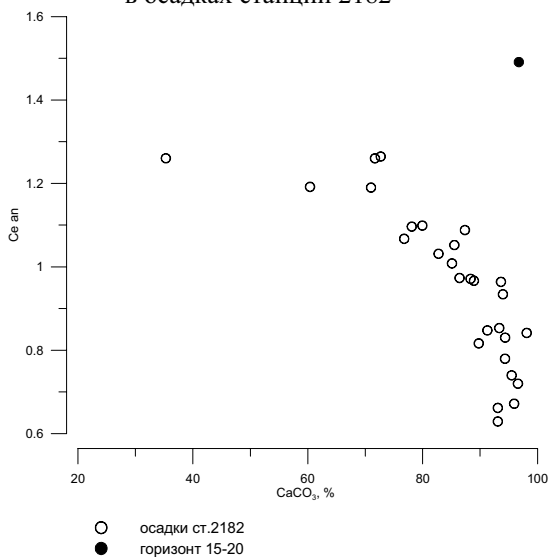


Рис. 4. Изменение величины Ce an от содержания биогенного CaCO_3 в осадках

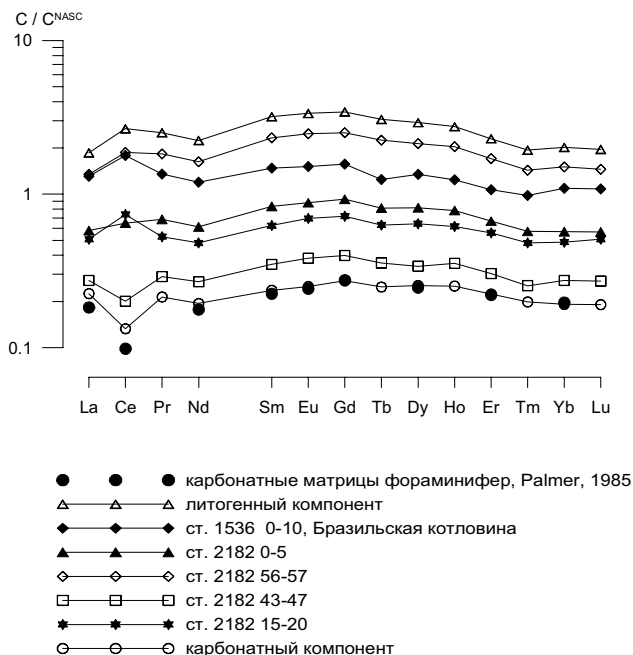


Рис. 5. Составы РЗЭ в осадках Ангольской и Бразильской котловины [2], нормализованные на NASC (Северо-американский сланец) [3]

Состав РЗЭ осадков станции 2182 формируется при участии двух основных источников вещества: биогенного карбоната и литогенной компоненты осадка. Все вариации составов РЗЭ могут быть описаны переменным содержанием этих двух составляющих. Биогенный карбонат характеризуется дефицитом церия и низким содержанием РЗЭ, литогенная составляющая осадка имеет в своем составе положительную аномалию церия и более высокие содержания трехвалентных РЗЭ. Все многообразие наблюдаемых составов РЗЭ станции 2182 можно описать простой моделью смешения, которая подтверждает предположение о том, что формирование осадков ст. 2182 Ангольской котловины происходит вследствие двух процессов: медленного накопления осадков, подобного красным глинам, и переслаиванию их карбонатами разной мощности, переместившимися со склона расположенного поблизости холма.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 10-05-00622-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Palmer, M.R. Rare earth elements in foraminifera tests // Earth. Planet. Sci. Lett. 1985. V. 73. P. 285-298.
2. Дубинин А.В., Римская-Корсакова М.Н. Геохимия редкоземельных

элементов в донных отложениях Бразильской котловины Атлантического океана // Литология и полезные ископаемые. 2011. № 1. С. 3-20

3. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.

Rare earth element (REE) and trace element composition in the Angola Basin sediments has been studied in order to deduce their indicator role in the processes of the ocean sedimentation and diagenesis. The presented data suggested two sources of matter for sediments from st.2182: biogenic carbonate component that is formed shallower CCD and red clays accumulated in the depressions.

**Крылов А.А.¹, Логвина Е.А.¹, Матвеева Т.В.¹, Сапега В.Ф.²,
Демидова А.Л.³, Парамонова М.С.³, Чудакова Д.В.³**

¹ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга, («ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), Санкт-Петербург, akrylow@gmail.com;

²ФГУП Всероссийский Научно-Исследовательский Геологический Институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург; ³ОАО Морская Арктическая Геологоразведочная Экспедиция (МАГЭ), Мурманск)

Источники углерода при формировании икаита в донных отложениях моря Лаптевых

**Krylov A.A.¹, Logvina E.A.¹, Matveeva T.V.¹, Sapega V.F.²,
Demidova A.L.³, Paramonova M.S.³, Chudakova D.V.³**

¹Academician I.S.Gramberg All-Russia Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean (I.S.Gramberg VNIIOkeangeologia), St. Petersburg;

²A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St.Petersburg;

³Marine Arctic Geological Expedition (MAGE), Murmansk)

Sources of the carbon for Ikaite formation in the bottom sediments of the Laptev Sea

В природных условиях гексагидрат карбоната кальция ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) был впервые обнаружен в 60-х годах XX века у ЮЗ окраины Гренландии в Икка-фьорде, в честь которого он и получил свое название – икаит [1]. Данная фаза карбоната кальция кристаллизуется в современных морских/озерных условиях лишь при температурах близких к точке замерзания воды, однако, повышенное содержание растворенного фосфора может увеличивать условия его стабильности [2 и др.]. При температурах выше 4°C икаит разлагается на кальцит и воду [2, 3], что приводит к формированию псевдоморфоз, называемых глендонитами.

Первые детальные исследования икаита, отобранного из отложений континентального склона моря Лаптевых (глубина моря 204 м), были выполнены Шубертом с соавторами [4]. По заключению немецких ученых, карбонат-ион, участвующий в формировании икаита, был выделен при окислении метана, о чем свидетельствовал аномально-легкий изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C} = -36,3\text{‰}$) изученного образца. В условиях арктических широт доказанные находки икаита приурочены также к побережью Аляски [5], острову Аксель-Хейберг в Канадском Арктическом архипелаге [6] и Карскому морю [7-9].

Нами приводятся результаты рентгеноструктурного и изотопного изучения кристаллов икаита, отобранных в море Лаптевых в 2008 г во время экспедиции МАГЭ (НИС «Геофизик»). Цель работы – установление источников углерода, входящего в состав икаита, и оценка степени участия анаэробного окисления метана (АОМ) в его формировании. Измерения изотопного состава углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$), а также

рентгеноструктурный анализ икаита проводились во ВСЕГЕИ.

В образце карбоната были определены икаит, ватерит (гексагональная форма CaCO_3) и кальцит. Площади пиков на рентгенограмме свидетельствуют о том, что значительная часть икаита трансформировалась в кальцит и ватерит. В образце, снятом через 3 дня нахождения при комнатной температуре, интенсивность икаитовых пиков уменьшилась, однако данный минерал не разрушился полностью. Измеренные значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в образце икаита, находившегося не более 10 минут при комнатной температуре до добавления фосфорной кислоты, составили -29,0‰ и +0,67‰, соответственно. Для образца, в котором икаит был полностью разрушен, были получены следующие изотопные значения $\delta^{13}\text{C} = -31,0\text{‰}$ и $\delta^{18}\text{O} = -0,39\text{‰}$.

Для формирования карбонатов необходимы повышенные величины карбонатной щелочности в поровых водах. Такие условия могут быть обеспечены за счет окисления органического вещества при диагенезе, либо/и за счет АОМ или генерации CH_4 . В первом и во втором случаях в состав карбонатов будет входить изотопно-легкий углерод [10-12], в третьем – изотопно-тяжелый [13-15]. Значения $\delta^{13}\text{C}$ икаита могут быть использованы для оценки доли основных источников углерода, принимавших участие в его формировании.

Зная общую цепочку, по которой углерод из метана переходит в карбонат, а также сопровождающие этот процесс величины изотопного фракционирования/разделения, полученные по экспериментальным и эмпирическим данным, можно решить обратную задачу и в первом приближении рассчитать теоретический изотопный состав углерода метана, исходя из измеренной величины $\delta^{13}\text{C}$ икаита:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{икаит}} \leftarrow \delta^{13}\text{C}_{\text{углекислый газ}} \leftarrow \delta^{13}\text{C}_{\text{метан-АОМ}} \leftarrow \delta^{13}\text{C}_{\text{метан}}$$

Долю вклада различных компонентов в состав растворенного неорганического углерода (DIC) поровой воды, из которой был сформирован икаит, учитывают следующие уравнения:

$$C_{\text{DIC}} = C_{\text{H}_2\text{O}} + C_{\text{ОВ}} + C_{\text{метан}} + C_{\text{C}_2+} = 1$$

$$\delta_{\text{DIC}} C_{\text{DIC}} = \delta_{\text{H}_2\text{O}} C_{\text{H}_2\text{O}} + \delta_{\text{ОВ}} C_{\text{ОВ}} + \delta_{\text{метан}} C_{\text{метан}} + \delta_{\text{C}_2+} C_{\text{C}_2+}$$

где C_{DIC} – доля DIC поровой воды, $C_{\text{H}_2\text{O}}$ – доля DIC придонной воды, $C_{\text{ОВ}}$ – доля углерода CO_2 , выделенного при окислении органического вещества, $C_{\text{метан}}$ – доля углерода CO_2 , выделенного при окислении метана; C_{C_2+} – доля гомологов метана; δ – изотопный состав углерода указанных выше компонентов.

Результаты проведенных исследований кристаллов икаита позволяют сделать следующие выводы.

1) Формирование икаита происходило в поровой воде с изотопным составом кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) -4,0...-2,8‰ (SMOW), что свидетельствует о незначительном влиянии пресных вод реки Лена.

2) Икаит с аномально-легким изотопным составом углерода -30‰ мог

сформироваться в результате АОМ со значениями $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ -77,7...-57,7‰ (VPDB).

3) Приблизительные балансовые расчеты показали, что основным источником углерода при формировании икаита являлось органическое вещество, дополнительным – метан (через АОМ). Вклад углерода этих компонентов мог составлять от 88 до 92% и от 8 до 12% соответственно.

Работа выполнена при поддержке российско-германской лаборатории полярных исследований им. Отто Шмидта, грант №OSL-11-14.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pauly H. "Ikaite", a new mineral from Greenland // Arctic. 1963. V. 16. P. 263-264.
2. Bischoff J.L., Fitzpatrick J.A. and Rosenbauer R.J. The solubility and stabilization of ikaite ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) from 0° to 25°C; environmental and paleoclimatic implications for thinolite tufa // Journal of Geology. 1993. V. 101. P. 21–33.
3. Marland G. Stability of calcium carbonate hexahydrate (ikaite) // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1975. V. 39. P. 83-91.
4. Schubert C.J., Nurnberg D., Scheele N., Pauer F., Kriews M. ^{13}C isotope depletion in ikaite crystal: evidence for methane release from the Siberian shelves? // Geo-Marine Letters. 1997. V. 17. P. 169-174.
5. Shearman D.J., McGugan A., Stein C., Smith A. J. Ikaite, $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, the precursor of the thinolites in the Quaternary tufas and tufa mounds of the Lahontan and Mono Lake Basins, western United States // Bulletin of the Geological Society of America. 1989. V. 101. P. 913-917.
6. Omelon C.R., Pollard W.H., Marion G.M. Seasonal formation of ikaite ($\text{CaCO}_2 \cdot 6(\text{H}_2\text{O})$) in saline spring discharge at Expedition Fiord, Canadian High Arctic: assessing conditional constraints for natural crystal growth // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2001. V. 65. P. 1429-1437.
7. Галимов Э.М., Кодина Л.А., Степанец О.В., Коробейник Г.С. Биогеохимия Российской Арктики. Карское море. Результаты исследований по проекту SIRRO 1995-2003 годы // Геохимия. 2006. № 11. С. 1139-1191.
8. Гусев Е.А., Матюшев А.П., Рудой А.С., Усов А.Н. Четвертичные отложения центральной части Карского моря // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. Под ред. А.П. Лисицына, М.Е. Виноградова, Е.А. Романкевича. М. Научный мир, 2001. С. 553-558.
9. Kodina L.A., Tokarev V.G., Vlasova L.N., Korobeinik G.S. Contribution of biogenic methane to ikaite formation in the Kara Sea: Evidence from the stable carbon isotope geochemistry // Siberian river run-off in the Kara Sea. Proceedings in Marine Science. 6. eds. R. Stein, K. Fahl, D.K. Fuetterer, E.M. Galimov and O.V. Stepanets. Elsevier, 2003. P. 349-374.
10. Леин А.Ю. Аутигенное карбонатообразование в океане // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 1. С. 3–35.
11. Прасолов Э.М., Лохов К.И., Логвина Е.А., Мазуренко Л.Л., Соловьев

В.А., Блинова В.Н., Иванов М.К. Происхождение карбонатов в районах современной подводной разгрузки флюидов по данным изотопной геохимии (Черное и Охотское моря, Кадисский залив) // Региональная геология и металлогения. 2006. № 28. С. 158-173.

12. Greinert J., Bohrmann G., Suess E. Gas hydrate-associated carbonates and methane-venting at Hydrate Ridge: Classification, distribution, and origin of authigenic lithologies // Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution and Detection / Eds. C.K. Paull and W.P. Dillon. Geophys. Monogr. Ser. 2001. V. 124. AGU. Washington D.C. P. 99-113.

13. Irwin H., Curtis C., Coleman M. Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates formed during burial of organic-rich sediments // Nature. 1977. V. 269. P. 209-213.

14. Matsumoto R. Isotopically heavy oxygen-containing siderite derived from the decomposition of methane hydrate // Geology. 1989. V. 17. P. 707-710.

15. Крылов А.А., Хлыстов О.М., Земская Т.И., Минами Х., Хачикубо А., Шоджи Х., Кида М., Погодаева Т.П., Наудтс Л., Поорт Д. Формирование аутигенных карбонатов в грязевых вулканах озера Байкал // Геохимия. 2008. № 10. С. 1051-1062.

The aim of this study was to reveal the sources of carbon in the studied ikaite sample and to estimate the role of AOM and/or methane in its formation by means of isotope study of oxygen and carbon, and numerical modeling. Results of the modeling have shown that the carbon of organic matter may serve as the main carbon source (88...92%). Methane contribution to the ikaite crystals formation (via AOM) is ranged from 8 to 12%.

**Кудрявцева Е.А.¹, Саввичев А.С.², Александров С.В.³,
Канапатский Т.А.², Пименов Н.В.²**

(¹Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, kudryavtzeva@rambler.ru; ² Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва; ³Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Калининград)

Зависимость между бактериопланктоном и условиями среды в Гданьском бассейне Балтийского моря

**Kudryavtzeva E.A.¹, Savvichev A.S.², Aleksandrov S.V.³,
Kanapatskiy T.A.², Pimenov N.V.²**

(¹Atlantic branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad;

²S.V. Winogradsky Institute of Microbiology RAS, Moscow; Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Kaliningrad)

The dependence between bacterial component and environmental condition of the Gdansk Basin (the Baltic Sea)

Гетеротрофные бактерии являются ключевым компонентом морских экосистем. Они ответственны за разложение и минерализацию органического вещества и являются единственной группой организмов, которые возвращают растворенные органические вещества (ОВ) в углеродный цикл. Высокая скорость размножения бактерий позволяет синтезировать в течение года значительную биомассу, зачастую соизмеримую с первичной продукцией органического вещества в процессе фотосинтеза, поэтому микроорганизмы являются постоянным источником питания для зоопланктона и зообентоса.

Ранее бактериопланктон российской части Гданьского бассейна Балтийского моря практически не изучался. Были выполнены лишь некоторые эпизодические измерения численности, биомассы и продукции бактерий [1, 2]. Целью исследований, проведенных в разные сезоны 2007-2009 гг., было получение достоверных характеристик параметров бактериопланктона.

Измеренные диапазоны колебаний численности (0,09-11,23 млн.кл/мл) и биомассы (2-123 мгС/м³) бактерий в российской части Гданьского бассейна оказались сопоставимы с имеющимися данными по его польской части [7-10] и несколько выше величин, измеренных в соседних районах Балтийского моря [1-6, 9]. Минимальные величины продукции бактерий были зафиксированы в конце зимы и поздней осенью (0,01-31,6 мгСм⁻³сут⁻¹), максимальные – весной и летом (0,2-341,7 мгСм⁻³сут⁻¹).

От зимы к лету скорость бактериальной продукции возрастала по мере увеличения температуры воды. Летом эта зависимость ослабевала, видимо из-за увеличения количества доступного бактериям органического субстрата.

Гетеротрофные бактерии в морских экосистемах имеют два источника органического вещества – прижизненные выделения и останки отмершего фито- и зоопланктона и органическое вещество терригенного происхождения. Важность автохтонного источника ОВ на исследуемой акватории подтвердилась полученными зависимостями продукции бактерий от первичной продукции и концентрации хлорофилла «а». Снижение степени корреляции за счет учета данных осенних съемок, скорее всего, было связано с тем, что во второй половине года планктонное сообщество существовало во многом благодаря ранее накопленной в нем энергии. В отличие от района исследований, в польской части Гданьского бассейна наблюдается высокая степень взаимосвязи бактериальной продукции и содержания органических форм азота и фосфора в воде, что, очевидно, происходит под влиянием вод р. Висла, впадающей в море в этом районе [10]. В российском секторе высокие коэффициенты детерминации численности бактерий и органических форм азота и фосфора обнаружены лишь для зимы и поздней осени.

В отдельные периоды наблюдалось повышение численности и биомассы бактерий, связанное со стоком с берега после обильных осадков. При сильном ветре численность бактерий снижалась быстрее в открытом море по сравнению с прибрежной частью. Также численность бактериопланктона была выше при западном направлении ветра. При северном и восточном ветре количество клеток уменьшалось, по всей видимости, из-за подъема вод с глубины менее обогащенных клетками микроорганизмов в результате развивающегося апвеллинга вдоль Куршской косы [11].

Работа частично финансировалась из средств гранта РФФИ 11-04-90736-моб_ст

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пфейфере М.Ю. Численность и продукция микроорганизмов в прибрежье Балтийского моря // Планктон Балтийского моря. Рига: Зинатне, 1990. С. 56-76.
2. Цыбань А.В., Кудрявцев В.М., Мамаев О.В., Суханова Н.В. Микрофлора и микробиологические процессы в открытых водах Балтийского моря // Исследование экосистемы Балтийского моря Л.: Гидрометеиздат, 1990. Вып. 3. С. 51-57.
3. Gocke K., Rheinheimer G. A synoptic survey on bacterial numbers, biomass and activity along the middle line of the Baltic Sea // Distribution and Activity of Microorganisms in the Sea. Kieler Meeresforsch. 1991. Sonderh. 8. P. 1-7.
4. Heinanen A.P. Bacterioplankton in the open Baltic Sea // Finnish marine research. 1992. № 260. 142 p.
5. Rheinheimer G., Gocke K., Hoppe H.G. Vertical distribution of microbiological and hydrographic-chemical parameters in different areas of the Baltic Sea // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1989. V. 52. P. 55-70.
6. Tuomi P., Suominen K., Autio R. Phytoplankton and bacterioplankton

production and bacterial biomass in a fjord-like bay – open sea gradient // *Hydrobiologia*. 1999. № 393. P. 141-150

7. Gławdel M., Mackiewicz T., Witek Z. Composition and abundance of pikoplankton in the coastal zone of the Gulf of Gdańsk // *Oceanol. Stud.* 1999. V. 28. P. 17-30.

8. Witek Z., Ochocki S., Maciejowska M., Pastuszek M., Nakonieczny J., Podgórska B., Kownacka J.M., Mackiewicz T., Wrzeńska-Kwiecień M. Phytoplankton primary production and its utilization by the pelagic community in the coastal zone of the Gulf of Gdańsk (southern Baltic) // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1997. V. 148. P. 169–186.

9. Żmuda M. J. Abundance and morphotype diversity of surface bacterioplankton along the Gdynia – Brest transect // *Oceanol. and Hydrobiol. Stud.* 2005. V. 34. № 4. P. 3-17.

10. Ameryk A., Podgórska B., Witek Z. The dependence between bacterial production and environmental conditions in the Gulf of Gdańsk // *Oceanologia*. 2005. V. 47. № 1. P. 27-45.

11. Бычкова И.А., Викторov C.B., Шумахер Д.А. О связи крупномасштабной атмосферной циркуляции и процессов возникновения прибрежного апвеллинга в Балтийском море // *Метеорология и гидрология*. 1988. № 10. С. 91-98.

The seasonal investigation of the numbers, biomass and productivity of bacterioplankton was carried out in the Russian sector of Gdansk Basin (Baltic Sea). As a result substantial differences in the spatial and temporal distribution were found. During the year the activity of bacterioplankton was increased apparently increasing the water temperature and the available organic substrate. The numbers and biomass turned out a greater degree on synoptic situation and the run-off, consequently substantial annual variability was occurred.

Кукина С.Е., Ветров А.А.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия,
skoukina@gmail.com)

**Биогеохимия донных отложений отделяющихся водоемов
Кандалакшского залива Белого моря**

Kukina S.E., Vetrov A.A.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS)

**Biogeochemistry of sediments from separating basins
of Kandalaksha Bay of the White Sea**

Настоящее исследование является продолжением серии работ, посвященных комплексной биогеохимической оценке прибрежных районов Белого моря. Главным эндогенным процессом, формирующим облик региона, является поднятие земной коры со средней скоростью 4 мм в год. Этот процесс приводит к отделению от акватории Кандалакшского залива лагун, заливов и проливов и образованию водоемов, постепенно теряющих свою связь с морем [3]. Такие водоемы являются эталонами развития и прогноза возникновения аноксии в полярных условиях и вызывают значительный интерес в плане разнообразия происходящих в воде и осадках биогеохимических процессов. В данной работе впервые приведена биогеохимическая характеристика поверхностных донных осадков отшнуровывающихся озер (оз. Кислосладкое, оз. Зеленого мыса), лагуны Порхалище и губы Чернореченская, включающая определение содержания органического углерода, *n*-алканов, а также кислоторастворимой и щелочнорастворимой форм металлов (Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Pb).

Поверхностные пробы донных осадков (0-6 см) отбирали в период 28 августа-10 сентября 2008 года в литоральной зоне Карельского берега Кандалакшского залива в районе ББС МГУ. Верхний окисленный слой осадка (0-1-3 см) отбирался отдельно, если присутствовал. Методика отбора, хранения и пробоподготовки описана в [2, 5]. Определение содержания органического углерода проводили на анализаторе углерода TOC V-cph (Shimadzu). Анализ углеводов проводили на высокоэффективном газовом хроматографе GC-2010 (Shimadzu). Для извлечения кислоторастворимой (подвижной) и щелочнорастворимой (органически связанной) форм и определения общего содержания металлов в пробах донных осадков использовали 25% уксусную кислоту, 0,1 М пиррофосфат натрия и смесь сильных кислот («царскую водку»), соответственно. Определение элементов в растворах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Hitachi 180-80. Для контроля правильности аналитических определений использовали стандартный образец состава донных отложений СДО-1.

Гранулометрический состав изученных поверхностных донных осадков

неравномерен. Основными гранулометрическими типами осадков в районе опробования являются заиленные мелкозернистые пески и алевропелитовые илы.

Содержание органического углерода варьировало в широких пределах (0,3-18,7%, среднее 4,5%). Среди исследованных водоемов, осадки наиболее обеднены $C_{орг}$ в устье Черной реки в Чернореченской губе (ст. 30-31, 0,4-1%) в зоне эстуарного смешения вод, при этом поверхностный окисленный слой здесь обеднен по отношению к подповерхностному. Осадки наиболее обогащены $C_{орг}$ в лагуне Порхалище (ст. 26, 18,7%), где осадок имел запах сероводорода. Лагуна в прилив затопливается морской водой, в отлив полностью промывается пресной. Забрасываемые штормами водоросли интенсивно разлагаются, обеспечивая высокую скорость осадконакопления и развитие восстановительных условий. Содержание $C_{орг}$ в осадках отшнуровывающихся озер было промежуточным и составляло 1,6-4,9% для озера Зеленого мыса и 0,3-8,3% для Кислосладкого озера, при этом наиболее обогащены вскрытые поверхностные окисленные горизонты.

Суммарное содержание *n*-алканов в осадках составило 0,2-7,4 мкг/г (среднее 3,3 мкг/г), и было признано относительно низким для района исследований, при этом наименьшие значения приурочены к наиболее грубодисперсным осадкам (ст.12 и 18, заиленные пески). Расчет парных ранговых коэффициентов корреляции Спирмена выявил наличие положительной связи между содержанием $C_{орг}$ и *n*-алканов в изученных осадках ($r_s=0.88$). В составе органического вещества (ОВ) в большинстве проб преобладают высокомолекулярные терригенные углеводороды - остатки восков высших растений с максимумами в области $C_{23}-C_{35}$, которые составляют до 80% суммарного содержания углеводородов. Низкое среднее значение отношения суммы низкомолекулярных соединений к высокомолекулярным ($\sum C_{12}-C_{22}/\sum C_{23}-C_{35} - 0,45$) – также предполагает постоянное поступление терригенного ОВ в донные осадки водоемов. При этом средние отношения CPI (6,38) и $i-C_{19}/i-C_{20}$ (0,89) свидетельствуют о глубоком уровне диагенетических преобразований ОВ в восстановительных условиях, которые особенно выражены в осадках из лагуны Порхалище (наименьшее значение $\sum C_{12}-C_{22}/\sum C_{23} - 0,10$ при наименьшем CPI - 0,22 и наибольшем $i-C_{19}/i-C_{20} - 11,9$). Однако, в нескольких пробах (ст. 12, 30, 31) выявлено повышенное содержание низкомолекулярных углеводородов $C_{14}-C_{17}$ с выраженным максимумом C_{17} . В этих пробах при низком общем содержании *n*-алканов (0,5-1 мкг/г) сумма низкомолекулярных гомологов $\sum C_{12}-C_{22}$ составила 45-60%. Такое распределение *n*-алканов характерно для осадков, покрытых бактериальными матами с колониями пурпурных серных и зеленых цианобактерий [6].

Уровни общего содержания металлов в изученных пробах не являются критическими в соответствии с рекомендациями по оценке качества донных отложений и, в основном, согласуются с полученными ранее данными по

Кандалакшскому заливу Белого моря [2, 4]. Расчет коэффициентов корреляции Спирмена выявил наличие устойчивой положительной связи между содержанием Fe, Mn и Cr ($r_s=0.92-0.98$) и, в меньшей степени, Pb ($r_s=0.69$). По-видимому, соосаждение с оксидами и гидроксидами Fe и Mn является ведущим процессом аккумуляции Cr и Pb в изученных литоральных поверхностных донных отложениях. При этом повышенные уровни содержания элементов Fe, Mn, Cr, Pb приурочены к точкам, испытывающим непосредственное влияние пресного стока (ст. 13-16, оз. Зеленого мыса, ст. 30-31, устье Черной реки), являющегося источником поступления соединений Fe и Mn. Распределение содержания общего Zn было «пестрым» и осложнено локальными максимумами обогащения в поверхностных и подповерхностных осадках некоторых точек оз. Зеленого мыса (ст. 12, 14, 16), в лагуне Порхалище (ст. 26), и особенно в подповерхностном осадке Кислосладкого озера (ст. 18, 240 мкг/г). Такое распределение может быть обусловлено как образованием и аккумуляцией нерастворимого сульфида Zn в восстановительной среде подповерхностного слоя осадков, так и преимущественным концентрированием Zn в некоторых породообразующих минералах, характерных для Карельского берега [2]. Cu является элементом, обладающим сродством к органическому веществу, обусловленному специфическим связыванием гуминовыми кислотами [1]. В распределении общей Cu в изученных осадках выявлена положительная связь с распределением $C_{орг}$ ($r_s=0.57$) с выраженным максимумом в органическом осадке из лагуны Порхалище.

Ранее проведенные исследования показали, что минеральные прочносвязанные (литогенные) соединения металлов являются преобладающими для донных отложений изучаемого региона и составляют 77-99% от общего содержания [1, 2]. В данной работе для изучения наиболее подвижных форм нахождения и оценки потенциальной биодоступности металлов в донных осадках использовали селективную экстракцию 25% CH_3COOH и 0,1М $Na_2P_2O_7$. 25% уксусная кислота высвобождает в раствор металлы, занимающие ионообменные позиции, связанные с легкорастворимыми аморфными соединениями Fe и Mn, карбонатами, а также металлы, слабосвязанные с органическим веществом [2, 5]. Сумма этих компонентов составляет наиболее лабильную биодоступную фракцию металлов осадках. 0,1 М пиродифосфат натрия извлекает металлы, связанные с органическим веществом осадка, а также частично с легкорастворимыми аморфными соединениями Fe и Mn [1]. Органическое вещество играет критическую роль в концентрировании микроэлементов в составе осадков. Подвергаясь разложению и трансформации в ходе различных диагенетических процессов, металлы, связанные с органическим веществом, могут высвобождаться в раствор, что увеличивает их биодоступность.

Для Pb содержание кислоторастворимой и щелочнорастворимой форм во

всех пробах было ниже предела обнаружения метода. Содержание кислоторастворимой формы варьировало в пределах 146-3030 мкг/г для Fe, 3-25 мкг/г для Mn, 1-3 мкг/г для Cr, 1-2 мкг/г для Cu, and 3-12 мкг/г для Zn. Доля этой формы составила 3-15% (в среднем 6.1%) от общего содержания для Fe, 2-27% (10.2%) для Mn, 0.5-5.5% (3.3%) для Cr, 3-27% (10.7%) для Cu и 1-25% (8.6%) для Zn.

Содержание щелочнорастворимой формы варьировало в пределах 47-2390 мкг/г для Fe, 1-19 мкг/г для Mn, 1-2 мкг/г для Cr, 1-3 мкг/г для Cu, and 2-19 мкг/г для Zn. Доля этой формы составила 1-14% (в среднем 6.4%) от общего содержания для Fe, 0.5-18% (4.1%) для Mn, 0.5-3% (1.6%) для Cr, 3-2% (11.7%) для Cu и 1-21 (6.9%) для Zn.

Показано, что в среднем уксусная кислота и пиродифосфат натрия экстрагируют сравнимые количества металлов по отношению к их общему содержанию в пробах (3-11% и 2-12%, соответственно). Однако, доля кислоторастворимой формы превосходила долю щелочнорастворимой формы во всех пробах для Mn, и в большинстве проб для Cr и Zn. Для Fe и Cu, доля органически связанной щелочнорастворимой формы была более чем в два раза выше в осадках, наиболее обогащенных C_{org} (ст. 17, 26). По-видимому, основную часть извлекаемых элементов в ходе обеих примененных селективных экстракций составляют металлы, связанные с аморфными соединениями Fe и Mn и связанные с органическим веществом. Считая среднее содержание подвижных (кислоторастворимой и щелочнорастворимой) форм в балансе элемента мерилком его биогеохимической подвижности, получаем следующий ряд (в порядке убывания подвижности): $Cu > Zn > Mn > Fe > Cr$.

Среди точек пробоотбора, повышенные содержания обеих изученных подвижных форм металлов обнаружены в осадках, испытывающих постоянное поступление органического вещества и, как следствие, наиболее обогащенных органическим углеродом (оз. Кислосладкое и лагуна Порхалище, ст.17 и 26), а также в осадках, расположенных в зоне постоянной смены морских – пресных вод (протока между оз. Зеленого мыса и Кислой губой, ст.12, устье Черной реки, ст. 31). В точках 12 и 31 при анализе распределения *n*-алканов зафиксированы следы бактериального сообщества. Влияние жизнедеятельности бактерий на биодоступность микроэлементов осадков требует дополнительных исследований.

Заключение.

Изученные литоральные поверхностные осадки Карельского берега являются терригенными, ОВ исследованных водоемов в основном сложено остатками высших растений с примесью продуктов бактериального происхождения.

Уровни общего содержания металлов в изученных пробах не являются критическими в соответствии с рекомендациями по оценке качества донных отложений. Соосаждение с оксидами и гидроксидами Fe и Mn является

ведущим процессом аккумуляции Сг и Рb в изученных литоральных поверхностных донных отложениях. Распределение Zn может быть обусловлено образованием и аккумуляцией нерастворимого сульфида Zn при развитии восстановительных условий. В распределении Cu выявлена положительная связь с распределением $C_{орг}$.

Селективная экстракция 25% CH_3COOH и 0,1M $Na_2P_2O_7$ показала, что в среднем кислоторастворимая (подвижная) и щелочнорастворимая (органически связанная) формы металлов составляют сравнимые доли по отношению к их общему содержанию в пробах (3-11% и 2-12%, соответственно). Считая среднее содержание кислоторастворимой и щелочнорастворимой форм в балансе элемента мерилем его биогеохимической подвижности, получен следующий ряд (в порядке убывания подвижности): $Cu > Zn > Mn > Fe > Cr$.

Среди точек пробоотбора, повышенные содержания изученных подвижных форм металлов обнаружены в осадках, наиболее обогащенных органическим углеродом, а также в осадках, расположенных в зонах постоянной смены морских – пресных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кукина С.Е., Садовникова Л.К., Калафат-Фрау А. и др. Формы металлов в донных отложениях некоторых эстуариев бассейна Белого и Баренцева морей // Геохимия. 1999. № 12. С. 1324-1329.
2. Кукина С.Е., Корнеева Г.А., Бек Т.А. Формы металлов в донных отложениях малых губ Кандалакшского залива Белого моря // Океанология. 2010. Т. 50. № 6. С. 926-932.
3. Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 5. С. 517-532.
4. Long E.R., MacDonald D.D., Smith S.L., Calder F.D. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // Environmental management. 1995. V. 19. P. 81-97.
5. Loring D.H., Rantala R.T.T. Manual for geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter // Earth-Science reviews. 1992. V. 32. P. 235-283.
6. Peresyepkin V.I., Belyaev N.A. The composition of n-alkanes in the sediments and bacterial matte from separated lakes of Kandalaksha Bay of the White Sea // Proceedings of the 18th International Conference on Marine Geology, Moscow, Russia, 16-20 November 2009. V. 4. P. 125-128.

The biogeochemical characterization of sediments from separating basins of Kandalaksha Bay of the White is given basing on the comparative study of found TOC, n-alkanes, metals (Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Pb) and metal forms distribution.

Леонов А.В.¹, Подгорный К.А.²

(¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, leonov@ocean.ru, ²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, kap@ibiw.yaroslavl.ru)

Биотрансформация форм азота, фосфора и динамика кислорода в водах Невской губы: анализ результатов математического моделирования

Leonov A.V.¹, Podgorniy K.A.²

(¹Institute of oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow,

²Institute of biology of internal waters, Russian Academy of Sciences, Borok)

Biotransformation of nitrogen and phosphorus forms and oxygen dynamics in Neva Bay waters: analysis of mathematical model simulation

На основе пространственно-неоднородной имитационной модели путем численных экспериментов исследуются наиболее важные закономерности формирования запасов и особенности среднесуточной динамики форм N и P в Невской губе Финского зал. Акцент сделан на изучение естественного круговорота форм N и P, влияния на их динамику гидрологического режима и антропогенной нагрузки.

Модель включает несколько основных блоков. Гидродинамический блок рассчитывает нестационарное, пространственно-неоднородное и осредненное по вертикали поле течений при численном интегрировании системы уравнений Сен-Венана для “мелкой воды» (без учета турбулентного перемешивания), гидротермический блок – значения фотопериода, составляющих теплового баланса и температурного режима, гидрооптический блок – оптические характеристики водной среды. Биохимический блок воспроизводит совместную биотрансформации форм N и P (поступают в акваторию Невской губы со сточными водами и стоком рек), а также взаимодействия переменных в меняющихся условиях при совместном воздействии природных и антропогенных факторов.

Модель включает 17 переменных состояния водной среды: концентрации растворенных фракций органического N (DON) и P (DOP); минеральных форм P (DIP) и N – аммония (NH_4^+), нитритов (NO_2^-) и нитратов (NO_3^-); взвешенных форм N и P – в составе детрита (ND и PD); биомасс гидробионтов – гетеротрофного бактериопланктона (B_N и B_P), фитопланктона (F_N и F_P), простейших (PR_N и PR_P) и зоопланктона (Z_N и Z_P), а также растворенного в воде O_2 .

Экологическое системное исследование акватории Невской губы проводится впервые для всего вегетационного периода (1984–1987 гг.), по этим годам имеются подробные наблюдения. Достоинство модели в ее структуре, которая формировалась так, чтобы можно было использовать данные стандартных многолетних гидрологических, гидрохимических и

гидробиологических наблюдений, регулярно проводимых СЗУГКС по акватории Невской губы. Расчеты по гидродинамическому и гидротермическому блокам модели также проводились на основе многолетних данных стандартных срочных метеонаблюдений Санкт-Петербургской ГМО.

Моделирование позволяет сделать вывод о достаточно хорошем качественном и количественном соответствии расчетных концентраций биогенных веществ (БВ) и O_2 имеющимся их наблюдениями. Адекватность модели по каждой переменной на момент проведения гидрологических, гидрохимических и гидробиологических съемок оценивалась по значениям критерия Тейла ($T_{кр}$). Наибольшие расхождения между расчетными и наблюдаемыми концентрациями NH_4^+ отмечены в IX (1984, 1985, 1987 гг.) ($T_{крNH_4}=0.4471-0.4712$) и V 1986 г. ($T_{крNH_4}=0.6963$), наилучшие результаты получены для VII 1984–1987 гг. ($T_{крNH_4}=0.1944-0.2219$), а средние за сезон $T_{крNH_4}=0.3187-0.3483$. Наибольшие значения $T_{кр}$ для NO_3^- отмечены в VIII и IX 1984 – 1987 гг. ($T_{крNO_3}=0.2869-0.3703$), наименьшие – получены в разные месяцы ($T_{крNO_3}=0.1163-0.1537$), а средние за сезон $T_{крNO_3}=0.2185-0.2560$. Наибольшие для DON значения $T_{крDON}=0.2355-0.4384$, а для DOP – $T_{крDOP}=0.3687-0.6197$, наименьшие для DON $T_{крDON}=0.1187-0.1519$, а для DOP – $T_{крDOP}=0.1467-0.2329$. Средние за сезон для DON и DOP значения $T_{кр}$ составили 0.1711–0.2470 и 0.2528–0.3326 соответственно.

В 1984–1987 гг. в летние месяцы значения $T_{крO_2}$ по сравниваемым расчетным и наблюдаемым концентрациям O_2 менялись в пределах 0.0492–0.0654, для весенних и осенних месяцев – 0.0127–0.0218, а для средних за сезон концентраций O_2 – 0.0321–0.0440. Осредненные по всем биотическим компонентам значения $T_{кр}$, рассчитываемые для каждой съемки, менялись в пределах 0.2306–0.3778, а среднее его значение $T_{кр}=0.2812$.

Оцененные критерии адекватности модели предполагают возможности дальнейшего усовершенствования структуры модели, а также практического ее использования различными организациями в качестве действенного инструмента водно-экологических исследований для оценки современного состояния экосистемы Невской губы и влияния на нее антропогенных факторов. Важнейшей задачей остается изучение механизмов функционирования экосистемы при разных режимах работы пропускных ворот комплекса защитных сооружений (КЗС) и формирования внешней биогенной нагрузки.

Расчеты на модели показали, что экосистема Невской губы Финского зал. – чрезвычайно изменчивая во времени и по пространству динамическая система. Для многих важных показателей качества воды (например, концентраций NH_4^+ , NO_2^- , DIP) сложно выявить устойчивую временную динамику и установить определенные, статистические достоверные закономерности. Результаты моделирования и данные наблюдений показали, что значения средних концентраций БВ для одного и того же

периода времени в разные годы могут отличаться в несколько раз. Также могут быть значительными и межгодовые различия дисперсий их концентраций. Формирование неоднородного распределения концентраций компонентов экосистемы Невской губы происходит под влиянием совместного действия ряда биотических и абиотических факторов, значимость которых существенно изменяется по пространству и во времени. Это лишний раз свидетельствует о том, что нужно осторожно подходить к оценкам экологического состояния данного водного объекта, зачастую выполняемым по отдельным эпизодическим и разрозненным наблюдениям без соблюдения принципов системного анализа.

Расчеты показали, что содержание соединений N и P в воде Невской губы не может ограничивать увеличение биопродуктивности этой акватории. Вклад первичной продукции фитопланктона в общее поступление органического вещества невелик, что, скорее всего, связано с достаточно низкой прозрачностью воды в Невской губе. Результаты моделирования и данные наблюдений показывают, что основная причина интенсивного развития гетеротрофных микроорганизмов в водах Невской губы – значительное поступление аллохтонного органического вещества из внешних источников.

Данные моделирования позволили дать предварительную оценку возможного влияния строящегося КЗС г. Санкт-Петербурга от наводнений на пространственно-временную динамику полей химических и биологических компонентов в экосистеме Невской губы. Показано, что при открытии всех водопропускных и судопропускных отверстий влияние КЗС в целом невелико. Оно во многом зависит от текущих гидрометеорологических условий и гидрологической ситуации в губе и если проявляется, то прослеживается на расстоянии не более 2–5 км от КЗС. При этом в зонах, примыкающих к КЗС, концентрации БВ могут достоверно различаться по своим статистическим характеристикам от аналогичных значений концентраций БВ в естественных условиях. Будущие исследования и численные эксперименты на модели позволят ответить на вопросы о том, какие перестройки будут происходить в экосистеме Невской губы не только в связи с изменениями гидрологического режима и биогенной нагрузки, но также и при различных режимах работы водопропускных и судопропускных отверстий КЗС.

В данной работе основное внимание было уделено проверке адекватности модели, ее способности воспроизводить главные качественные и количественные закономерности пространственно-временной динамики БВ в экосистеме Невской губы. Это только первый этап исследований. Второй наиболее важный этап обобщения данных о функционировании экосистемы Невской губы связывается с исследованием балансов БВ. Поскольку все основные формы N и P в модели отслеживаются, то оценки их потоков для любого участка и всей акватории

должны выявить характерные особенности формирования запасов форм N и P за счет внутренних (естественный круговорот) или внешних (антропогенная нагрузка) источников.

В результате обработки данных моделирования было показано, что среднееголетнее поступление форм N из внешних источников с V по X изменялось в пределах: B_N – 220–245 т N/мес, F_N – 59–294, PR_N – 13.6–73.2, Z_N – 2.4–12.7, ND – 920–1035, DON – 1181–2539, NH_4^+ – 441–627, NO_3^- – 972–1510 т/мес, NO_2^- – 22–37 т N /мес.

Установлено, что в поступлении в Невскую губу форм N из внешних источников основной вклад в баланс N вносят DON, ND и NO_3^- . На долю этих составляющих баланса приходится в среднем 80% внешнего притока всех N-содержащих БВ. Среднееголетний вынос форм N из экосистемы Невской губы в восточную часть Финского залива с V по X изменялся в пределах: B_N – 135–198 т N/мес, F_N – 83–429, PR_N – 7.2–94.4, Z_N – 4.5–21, ND – 1131–1358, DON – 1221–2510, NH_4^+ – 471–579, NO_3^- – 957–1524, NO_2^- – 39.4–56.4 т N /мес. Основной вклад в баланс форм N, выносимых из губы в восточную часть Финского зал., вносят также DON, ND и NO_3^- : на долю этих трех составляющих баланса приходится в среднем 82% выноса всех N-содержащих БВ за пределы акватории Невской губы.

Расчеты показывают, что содержание DON и NO_3^- в Невской губе определяется, главным образом, поступлением DON и NO_3^- из внешних источников в экосистему акватории и их выносом в восточную часть Финского зал., а запас ND в Невской губе формируется, в основном, за счет поступлений ND в экосистему Невской губы из внешних источников, его выноса в восточную часть Финского зал., процессов трансформации ND в DON, а также отмирания биомасс бактерий и фитопланктона. Роль всех остальных потоков значительно меньше.

Среднееголетние поступления форм P с V по X в Невскую губу менялись в пределах: B_P – 22.3–24.3 т P/мес, F_P – 5.9–29.4, PR_P – 1.4–7.3, Z_P – 0.24–1.27, PD – 92–103.5, DOP – 22.8–36.0, DIP – 12.1–35.1 т P/мес. Основной вклад в баланс P во внешнем его поступлении в Невскую губу вносят PD, DOP и DIP: на их долю приходится в среднем от 74 до 81% внешнего притока учитываемых P-содержащих БВ.

Среднееголетний вынос форм P из Невской губы в восточную часть Финского зал. с V по X менялся в пределах: B_P – 14.4–27.5 т P/мес, F_P – 8.3–40.5, PR_P – 0.69–9.4, Z_P – 0.42–2.07, PD – 104.8–126.1, DOP – 17.8–42.3, DIP – 28.4–53.1 т P/мес. Основной вклад в баланс P, выносимого из Невской губы в восточную часть Финского зал. вносят также PD, DOP и DIP: на их долю приходится в среднем от 74 до 86% общего выноса P в Финский зал.

В экосистеме Невской губы баланс DOP формируется, в основном, за счет внешнего его притока в экосистему и выноса в восточную часть Финского залива, трансформации PD в DOP и потребления DOP бактериями. Вклад остальных потоков форм P существенно меньше,

особенно в осенние месяцы.

Баланс DIP формируется за счет внешнего притока в экосистему и выноса в восточную часть Финского зал., а также за счет метаболических выделений бактерий. Баланс PD определяется внешним притоком и выносом его в восточную часть Финского зал., трансформацией PD в DOP, возрастанием запасов за счет отмирания биомассы бактерий и потреблением ими PD. Вклад всех остальных потоков существенно меньше, особенно в V и IX–X.

Третий этап исследования предполагает проведение численных экспериментов на модели, чтобы можно было изучить возможные структурно-функциональные изменения в экосистеме Невской губы при различных сценариях внешних воздействий, изменяющих, прежде всего, гидрологический режим и биогенную нагрузку на акваторию. С помощью моделирования можно получить для разных сезонов набор картин распределения компонентов при стандартных и аномальных режимах функционирования экосистемы.

На четвертом этапе предполагается провести усовершенствования модели, которые требуются для всестороннего понимания механизмов функционирования экосистемы Невской губы. Необходимо включить в модель: описание зимнего сезона, дополнительно циклы трансформации форм C и Si, подразделение фитопланктона по крайней мере на две функционально-видовые группы для детального воспроизведения его развития весной и летом. Бентос служит важным звеном функционирования экосистемы Невской губы и процессов самоочищения водной среды и вполне оправдано его включение в модель. Также важен обмен БВ на границе раздела вода–деятельный слой донных отложений, которые служат вторичными источниками БВ для водной среды. Учет этих процессов особенно важен для мелководных участков Невской губы, наиболее подверженных длительному антропогенному воздействию.

Spatially heterogeneous simulation model with fourth blocks (hydrodynamics, thermal condition, optics, biochemistry) was developed for the study of ecological processes in the Neva Bay. Model was tested on the data of hydro- and meteorological observations of 1984–1987. Ecological processes of substance biotransformation (oxygen, compounds of N and P) were studied with the help of numerical model experiments. Model adequacy was estimated by statistical tests.

Basic qualitative and quantitative features were identified to explain spatial heterogeneous and time changeability in distribution of biogenic substances within the Neva Bay water area.

Леонова Г.А.¹, Кодратьева Л.М.², Богущ А.А.¹, Бобров В.А.¹, Мальцев А.Е.¹

(¹Институт геологии и минералогии В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, leonova@igm.nsc.ru; ²Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск, kondrm@rambler.ru)

Распределение C_{org} по глубине керна сапропеля оз. Духовое как отражение анаэробного распада органического вещества в раннем диагенезе

Leonova G.A.¹, Kondrateva L.M.², Bogush A.A.¹, Bobrov V.A.¹, Maltcev A.E.¹

(¹V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk; ² Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS, Khabarovsk)

Distribution of organic carbon in sapropel of Duhovoe Lake as a reflection of the anaerobic decomposition of organic matter in the early diagenesis

Сущность диагенетических превращений органического и минерального вещества, попадающего на дно водоемов, впервые была сформулирована Н.М. Страховым в 1953 г. [1]. Интенсивные исследования диагенетических процессов современных осадков морей и океанов, проведенные в 70-90 гг. XX в. и полученные при этом результаты позволили конкретизировать и существенно дополнить представления о сложном комплексе физических, химических и микробиологических процессов, составляющих сущность диагенеза [2–5]. Благодаря этим исследованиям в целом установлено два типа диагенеза – восстановительный (развит в осадках внутренних и окраинных морей и периферии океана) и окислительный (в пелагических глубоководных осадках). Закономерности пресноводного диагенеза детально исследованы в оз. Байкал [6–8], в том числе и микробиологические процессы круговорота углерода в донных осадках озера [9]. Особенностью глубоководного озера Байкал является развитая стадия окислительного диагенеза, не характерная для озер, а сходная с таковой в океанах [8]. Процессы раннего диагенеза в донных отложениях малых озер сибирского региона практически не изучены, что и послужило причиной начать подобные исследования в рамках проектов РФФИ (№№ 11-05-00655 и 11-05-12038-офи-м-2011).

Объектом исследования стал ненарушенный 7-метровый керн органогенных донных отложений, поднятый методом ударного бурения в июле 2008 г. в озере Духовом, расположенном на восточном побережье Байкальской впадины (координаты: 53° 18' с.ш., 108° 53' в.д.). Основная масса органического вещества, поступающего в осадки оз. Духовое, по нашему мнению, имеет автохтонное планктоногенное происхождение [10]. Экологические условия, характеризующие современное состояние озера

(мелководность, отсутствие стратификации воды по кислороду и температуре), благоприятны для массового развития микроскопических по размерам группировок фитопланктона, который является основным биопродуцентом органического вещества формирующегося в озере сапропеля. В фитопланктоне оз. Духовое разнообразно представлены зеленые водоросли (*Chlorophyta* – 16 видов), сине-зеленые (*Cyanophyta* – 9 видов) и диатомовые (*Bacillariophyta* – 8 видов). Доминирующий комплекс представлен видами *Synedra berolinensis* Lemm. (24% от общей численности), *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Simonsen (18%), *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Brebisson (17%), *Planktolingbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Cronberg (12% – видовой состав и долевое соотношение в пробах определены к.б.н. Е.Г. Сорокиковой, ЛИИ СО РАН). Подобный комплекс фитопланктона формировал, вероятно, в мелководных палеобассейнах геологического прошлого древние водно-осадочные углеродистые породы, такие например, как черные сланцы [11, 12].

Органическое вещество планктонного детрита, осаждающегося на дно в оз. Духовое, в незначительной степени, подвергается окислению и деструкции (переходу в раствор). Это обусловлено малыми глубинами озера, не превышающими 7 метров. Близкие по значениям концентрации $C_{орг}$ в фитопланктоне (21%) и верхнем 0-2 см горизонте сапропеля (22%) косвенно свидетельствует о том, что почти всё органическое вещество фитопланктона «наследуется» донным осадком. Ранее нами показано, что планктонный детрит также не успевает существенно изменить свой микроэлементный состав при осаждении на дно неглубоких континентальных водоемов, что позволяет количественно рассчитать поставку химических элементов непосредственно через «планктонный канал» и выявить ряд элементов, обогащающих верхние слои современных озерных отложений [13].

На рис. 1 показано неравномерное распределение органического углерода по глубине керна голоценовых отложений сапропеля оз. Духовое. Выдержанные (т.е. с низкой вариабельностью около 8.7%) концентрации $C_{орг}$ (18.5–25.7%) прослеживаются до глубины 180 см. Ниже идет резкий скачок в сторону уменьшения концентраций ~ до 10% на глубине 200 см, а затем плавное снижение концентраций до значений 5–2% вплоть до глубины 550 см. При описании керна визуально также наблюдалась резкая смена темно-окрашенного материала сапропеля рыхлой структуры в интервале 0-180 см на материал рыжевато-коричневого цвета плотной структуры глубже по колонке. Определение $C_{орг}$ в стратифицированном по слоям (10 см) разрезе керна сапропеля оз. Духовое проводили по методу Тюрина [14] в лаборатории географии и генезиса почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН (аналитик Л.Д. Черепяхина).

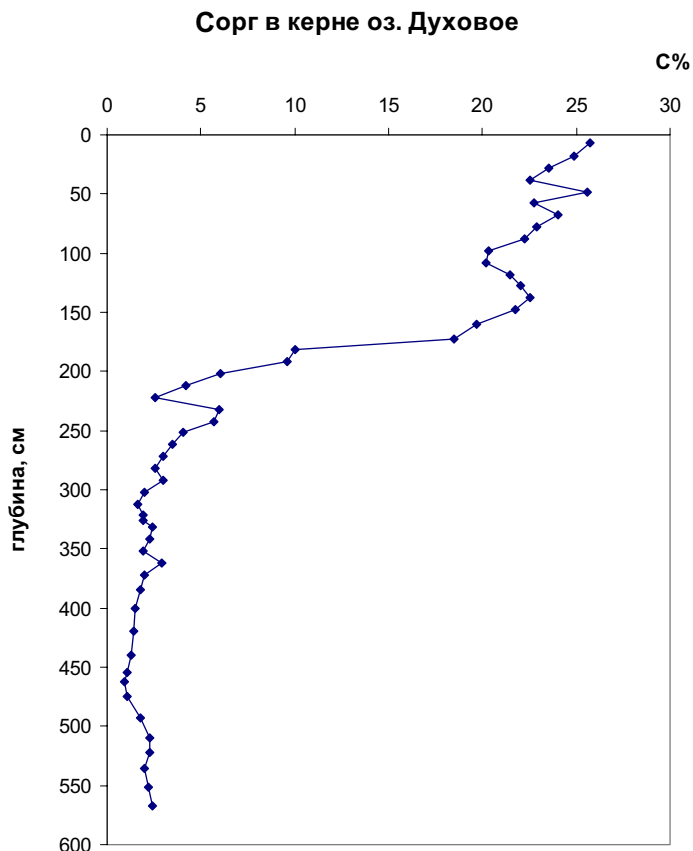


Рис. 1. Распределение $C_{\text{орг}}$ по глубине керна сапропеля оз. Духовое

Проведенные послойные исследования донных осадков оз. Духовое показали, что численность гетеротрофных бактерий оказалась довольно высокой на глубине 130-160 см. Это связано с наличием на глубине трудно разлагаемых ОВ, которые вовлечены в анаэробные биогеохимические процессы. На рис.2 можно выделить специфический горизонт 30-90 см, где численность большинства физиологических групп бактерий была самой низкой. Здесь сформировались местообитания характерные для развития в основном микроскопических грибов и актиномицетов. Специфический биогеохимический барьер был выявлен на глубине 90-120 см. Здесь отмечено резкое изменение pH (6,22–7,09–6,19), Eh (+311 – +270 – +313) и снижение концентрации SO_4^{-2} (270-170 мг/л) в поровых водах. С этого

горизонта начинает увеличиваться численность и активность бактерий, участвующих в цикле азота и серы (аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие и сульфатредуцирующие бактерии). Активность бентосных микроорганизмов по отношению к различным источникам углерода (глюкоза, пептон) была подтверждена при экспериментальном моделировании. Увеличение с глубиной численности индикаторных групп бактерий, отражающих динамику анаэробных процессов денитрификации и сульфатредукции, свидетельствует о присутствии ОВ, вовлеченных в современные биогеохимические процессы. Известно, что при лимите кислорода разложение ОВ происходит при участии неорганических акцепторов электронов, которые переходят в более восстановленную форму. Поэтому при наличии оксидов азота, серы и железа в результате микробиологических процессов происходит разложение ОВ и образование их восстановленных форм. Например, в слое 113-133 см в поровых водах было зарегистрировано уменьшение концентрации железа в 2,6 раза, что может быть связано с образованием сероводорода и пирита.

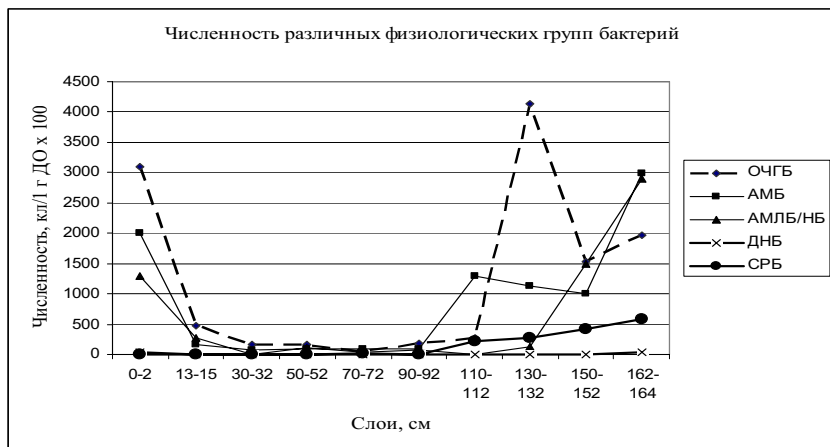


Рис. 2. Послойное распределение различных физиологических групп бактерий в горизонтах сапропеля оз. Духовое: ОЧГБ – общая численность гетеротрофных бактерий; АМБ – аммонифицирующие бактерии; АМЛБ/НБ – амилолитические/нитрифицирующие бактерии; ДНБ – денитрифицирующие бактерии; СРБ – сульфатредуцирующие бактерии

Таким образом, получены первые данные по распределению органического углерода и биогеохимической активности различных групп микроорганизмов в стратифицированном керне сапропеля оз. Духовое. Увеличение с глубиной численности индикаторных групп бактерий,

отражающих динамику анаэробных процессов денитрификации и сульфатредукции, свидетельствует о присутствии органических веществ, вовлеченных в современные биогеохимические процессы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 08-05-00392, 11-05-00655 и 11-05-12038-офи-м-2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов Н.М. Диагенез осадков и его значение для осадочного рудообразования // Известия АН СССР. Сер. геол. 1953. № 5. С. 12–49.
2. Биогеохимия диагенеза осадков океана. М.: Наука, 1976. 207 с.
3. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
4. Геохимия диагенеза осадков Тихого океана (трансoкеанский профиль). М.: Наука, 1980. 286 с.
5. Шишкина О.В. Геохимия морских и океанических иловых вод. М.: Наука, 1972. 227 с.
6. Выхристюк Л.А. Органическое вещество донных осадков Байкала. Новосибирск: Наука, 1980. 79 с.
7. Мизандронцев И.Б. Химические процессы в донных отложениях водоемов. Новосибирск: Наука, 1990. 173 с.
8. Гранина Л.З. Ранний диагенез донных осадков озера Байкал. Новосибирск: академическое издательство «Гео», 2008. 156 с.
9. Намсараев Б.Б., Земская Т.И. Микробиологические процессы круговорота углерода в донных осадках озера Байкал. Новосибирск: академическое издательство «Гео», 2000. 158 с.
10. Леонова Г.А., Бобров В.А., Богуш А.А., Кривоногов С.К. Микроэлементный состав поровых вод и сапропеля озера Духовое (Байкальский регион) // Минеральные индикаторы литогенеза. Материалы Российского совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 78–81.
11. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недра, 1982. 208 с.
12. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 272 с.
13. Леонова Г.А., Бобров В.А., Лазарева Е.В., Богуш А.А., Кривоногов С.К. Биогенный вклад микроэлементов в органическое вещество современных озерных сапропелей (на примере оз. Кирек) // Литология и полезные ископаемые. 2011. № 2. С. 115–131.
14. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Издательство МГУ, 1970. 488 с.

The microbiological and chemical investigation of stratified sediments of Duhovoe Lake (east of the Baikal region, Russia) was considered. The experimental evidence of active biogeochemical processes at the depth of 150–160 cm was obtained.

Литвиненко И.В., Петрова В.И., Гусев Е.А.

(ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени И.С. Грамберга (ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), Санкт-Петербург, ivanlitvinenko@mail.ru)

Органическое вещество в истории плиоцен-четвертичного осадконакопления в Чукотском море (по результатам неглубокого бурения)

Litvinenko I., Petrova V., Gusev E.

(I.S. Gramberg All-Russian Research Institute for Geology and Mineral Resources of World Ocean (“I.S. Gramberg VNIIOkeangeologia”), Saint-Petersburg)

Organic matter in history of Pliocene-Quaternary sedimentation in the Chukchi Sea (results of shallow drilling)

В 2006 году в южной части российского сектора Чукотского моря с борта морского буксира «Шуя» были проведены геологосъемочные работы в пределах листа R-1,2 международной разграфки листов масштаба 1:1 000 000 [1]. Использовался как обычный комплекс методов геологической съемки шельфа (сейсмоакустика, сонар, донный пробоотбор с помощью дночерпателя и грунтовой трубки), так и оригинальный буровой комплекс, позволяющий бурить неглубокие (до 50 м по осадку) скважины на мелководье.

Материалом исследования послужили образцы, отобранные по разрезу скважины № 2. Изучение органического вещества (ОВ) включало: определение элементного (Сорг, Скарб) состава, экстракцию битумоидов, определение их группового состава, хроматографическое фракционирование битумоидов с выделением суммы УВ, ГХ-МС анализ углеводородных маркеров (алканов, цикланов и аренов).

Анализ УВ проводили методом ГХ-МС на приборе HP6850/5973 с квадрупольным масс-детектором.

Характер распределения в осадочном разрезе органического (Сорг) и карбонатного (Скарб) углерода свидетельствует о наличии в нем нескольких лито-стратиграфических комплексов, что согласуется с данными палеомагнитных, микрофаунистических исследований и результатами анализа спорово-пыльцевых спектров [1].

Так, в верхней части разреза (интервал 0-316 см) содержание Сорг и Скарб составляет в среднем 0,72% и 0,05% соответственно. Вниз по осадочному разрезу наблюдается типичная для раннего диагенеза утрата Сорг (от 0,95% до 0,51%). Корреляция между содержанием Сорг и Скарб ($R^2=0,75$) указывает на их генетическую общность, т.е. свидетельствует об участии гидробионтов в формирование состава ОВ [2].

В нижней части разреза (>400 см) взаимосвязь Скарб и Сорг

утрачивается, а распределение Сорг приобретает импульсный характер. В интервале 450-540 см при сохранении уровня карбонатности наблюдается резкое увеличение содержания Сорг (до 1,82%), что может быть обусловлено сменой морских условий континентальными, сопровождающееся интенсивным поступлением гумусового осадочного материала, что находит подтверждение в схожести трендов распределения Сорг и гуминовых кислот [3].

Резкое (на порядок) увеличение содержания Скарб в интервале 613-623 см может быть связано с мелководными континентальными условиями осадконакопления. Ниже по разрезу (>8 м) вновь фиксируется резкое увеличение содержания Сорг (1-3%) и Скарб (0,14-0,33%), свидетельствующее о смене фациальных условий, обусловленных, возможно, климатическим оптимумом с осадконакоплением в континентальных мелководных бассейнах со значительным поступлением гумусового органического вещества.

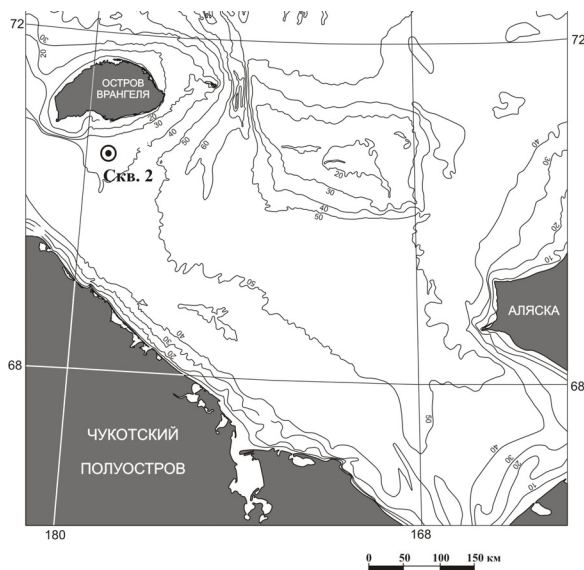


Рис. 1. Карта-схема района исследований

О различиях в процессе формирования органической составляющей донных отложений верхней и нижней частей изученного разреза свидетельствует также распределение углеводов (УВ). Если в голоценовых отложениях наблюдается процесс остаточного диагенетического накопления УВ, как наиболее устойчивых к деструкции компонентов ОВ, то в нижней части разреза резкое увеличение содержания УВ в осадке приурочено к интервалам с повышенным содержанием Сорг и

обусловлено, очевидно, интенсивным поступлением свежего органического материала [4].

При интерпретации данных о молекулярном составе УВ, необходимо учитывать многообразие факторов, определяющих состав ОВ осадочных отложений и статистический характер значений геохимических параметров. Речь может идти лишь о преобладании тех или иных компонентов. Например, доминирующая роль гумусового материала в составе ОВ изученного разреза может быть проиллюстрирована соотношением алкановых углеводов (C_{17}/C_{29}), маркирующих соответственно гидробионтную и гумусовую составляющие [5-8].

Выявление возможных биогенных предшественников исходного ОВ базируется на анализе состава молекулярных углеводородных таксонов (реликтовых биомаркеров), наследующих строение углеродного каркаса и особенности стереохимии живой клетки. Наряду с этим, данные об их распределении позволяют судить об условиях накопления осадков, их диагенезе и уровне преобразования [9-11].

Так, известно, что параметры, характеризующие распределение углеводов алканового ряда – короткоцепочечных (C_{17-19}) и длинноцепочечных (C_{27-31}), позволяют оценить долю участия гидробионтной и терригенной биоты в формировании ОВ донных осадков. Наряду с этим, в группе терригенных алканов C_{29} принято считать в основном индикатором наземной растительности, а C_{31} является характерным компонентом торфов. В изученных отложениях доля C_{29} заметно возрастает в нижней части разреза (рис. 2), что согласуется с данными споро-пыльцевого анализа и с выводом о континентальных условиях осадконакопления [1]. В пользу данного вывода, свидетельствует и распределение цикланов, биогенными предшественниками которых являются терпеноиды, содержащиеся в клеточных мембранах. На стадии седиментогенеза и раннего диагенеза образуются биогенные цикланы. На более глубокой (постдиагенетической) стадии зрелости ОВ происходит структурная трансформация цикланов с формированием термодинамически устойчивых структур (геоцикланы) [10].

В изученном разрезе, геоцикланы присутствуют в заметных количествах лишь в голоценовых отложениях, что свидетельствует о поступлении в осадки преобразованного ОВ и заметной роли процесса переотложения в осадконакоплении. В нижней части разреза наблюдается абсолютное доминирование биогенных цикланов, что свидетельствует о близости источников исходного ОВ и высоких скоростях его захоронения.

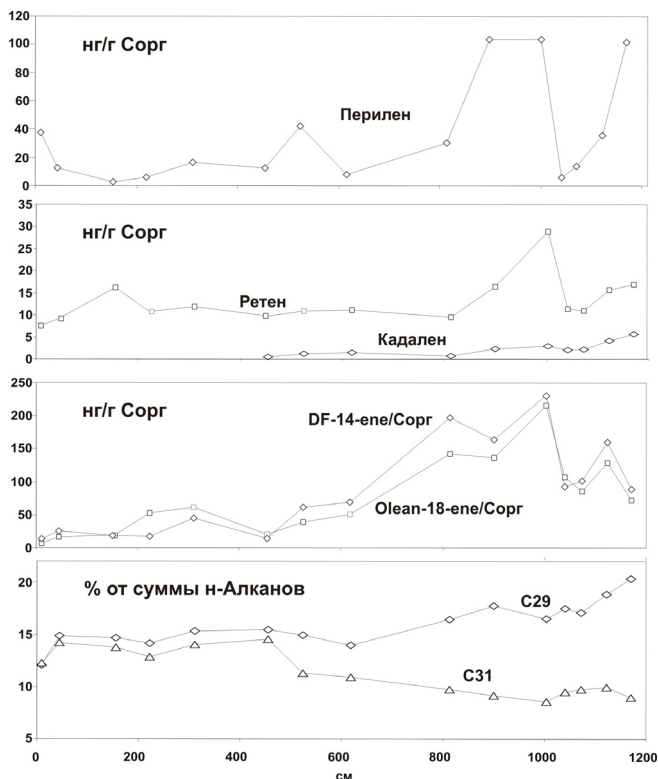


Рис. 2. Распределение биомаркеров в осадочном разрезе донных отложений скважины № 2

В частности, в осадках нижней части разреза доминирующими компонентами в составе терпеноидов являются Olean-18-ene и D-Friedoolean-14-ene, специфические таксоны высших наземных растений. Наряду с этим, в составе ароматических биомаркеров были зафиксированы кадален (cadalene) и ретен (retene), первый из которых является маркером высших наземных растений, преимущественно покрытосеменных, а второй, продукт трансформации абиетанов, содержащихся в смолах хвойных растений. В изученных отложениях кадален присутствует лишь в нижней части разреза, в интервалах предположительно приуроченных к климатическому оптимуму. Параллельно возрастает содержание ретена, достигая максимальных значений в прослоях, характеризующихся наиболее высоким содержанием споро-пыльцевых таксонов голосеменных растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gusev E.A. et al. Stratigraphy of Late Cenozoic sediments of the western

Chukchi Sea: new results from shallow drilling and seismic-reflection profiling // *Global and Planetary Change*. 2009. V. 68. Is. 1-2. P. 115-131.

2. Романкевич Е.А., Веров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М., Наука. 2001. 302 с.

3. Манская С. М., Кодина Л.А. Геохимия лигнина. М., Наука, 1975. 230 с.

4. Вассоевич Н. Б. Геохимия органического вещества и происхождение нефти. М., Наука, 1986. 367 с.

5. Brassell S., Eglinton G., Howell V. Paleoenvironmental assessment of marine organic-rich sediments using molecular organic geochemistry// Brooks J., Fleet A. *Marine Petroleum Source Rocks*, Geological Society Special Publication. 1987. N 26. P. 79-98.

6. Saliot A., Laureillard J., Scribe P., Sicre M.A. Evolutionary trends in the lipid biomarker approach for investigating the biogeochemistry of organic matter in the marine environment // *Mar. Chemistry*. 1992. N 39. P.235-248.

7. Venkatesan M. Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments // *Marine Chemistry*. 1988. V. 25. N 1. P. 1-27.

8. Yunker M.B., Macdonald R.W. et al. Alkane, terpene and polycyclic aromatic hydrocarbon geochemistry of the Mackenzie River and Mackenzie shelf: Riverine contributions to Beaufort Sea coastal sediment // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1993. V. 57. P. 3041-3061.

9. Bastow, T.P., Singh, R.K., van Aarssen, B.G.K., Alexander, R., Kagi, R.I. 2-Methylretene in sedimentary material: a new higher plant biomarker // *Organic Geochemistry*. 2001. V. 32. P. 1211-1217.

10. Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. *The biomarker guide*. Second edition. Biomarkers and isotopes in the environment and human history // Cambridge university press. 2005. V. 1. 471 p.

11. Hautevelle Y., Michels R., Malartre F., Trouiller A. Vascular plant biomarkers as proxies for paleoflora and paleoclimatic changes at the Dogger/Malm transition of the Paris Basin (France) // *Org. Geochem*. 2006. V. 37. P. 610-625.

To identify the conditions and nature of sedimentation have been studied the main characteristics of organic matter in the samples obtained by shallow drilling on the continental shelf of the Chukchi Sea.

**Лобус Н.В.¹, Пересыпкин В.И.², Шульга Н.А.², Комов В.Т.¹,
Смуров А.В.³**

(¹Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, Ярославская обл., lobus.nikolay@gmail.com; ²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, ³Музей Землеведения МГУ, Москва)

**Роль терригенного органического материала в поступлении
ртути в донные отложения разреза река-эстуарий-море
(на примере реки Кай и залива Нячанг Южно-Китайского
моря)**

**Lobus N.V.¹, Peresypkin V.I.², Shulga N.A.², Komov V.T.¹,
Smurov A.V.³**

(¹Institute of Biology of Inland Waters, Borok, Yaroslavl region,
²Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, ³MSU, Moscow)

**The role of terrestrial organic material in the flow of mercury
in the sediments of the section of river-estuary-sea (for example,
the Cai river and Nha Trang Bay, South China Sea)**

В водных экосистемах донные отложения являются основным местом депонирования многих загрязняющих веществ. Однако в результате физико-химических, гидрологических и биологических процессов, происходящих в водоемах, они снова поступают в водную толщу и оказывают негативное влияние на живые организмы. В зависимости от соотношения скоростей седиментации и регенерации химических веществ (биогены, тяжелые металлы, микроэлементы и др.) элементы, аккумулированные на дне, выходят из биотического круговорота или многократно участвуют в нем. Аккумуляции химических элементов в донных отложениях является важным фактором их биотического круговорота [1].

Материалом для исследований послужили пробы грунтов, собранные в июле 2010 года на разрезе реки Кай и залива Нячанг, Южно-Китайского моря (Центральный Вьетнам). Расположение станций представлено на рисунке 1. Пробы донных отложений отбирали стратометром (на станциях реки и эстуария) или в процессе водолазного погружения (глубоководные станции залива), помещали в контейнеры и транспортировали в при температуре +5-10⁰С. Осадки, предназначенные для определения углеводов, высушивали в сушильном шкафу при +60⁰С. Для определения ртути, грунты высушивали при комнатной температуре.

Количественное определение органического углерода в донных отложениях проводилось на анализаторе TOC 5000-V-CPH Shimadzu-Europe. Экстракты углеводов анализировались на газовом хроматографе GC-2010 фирмы «Shimadzu» Япония [3].

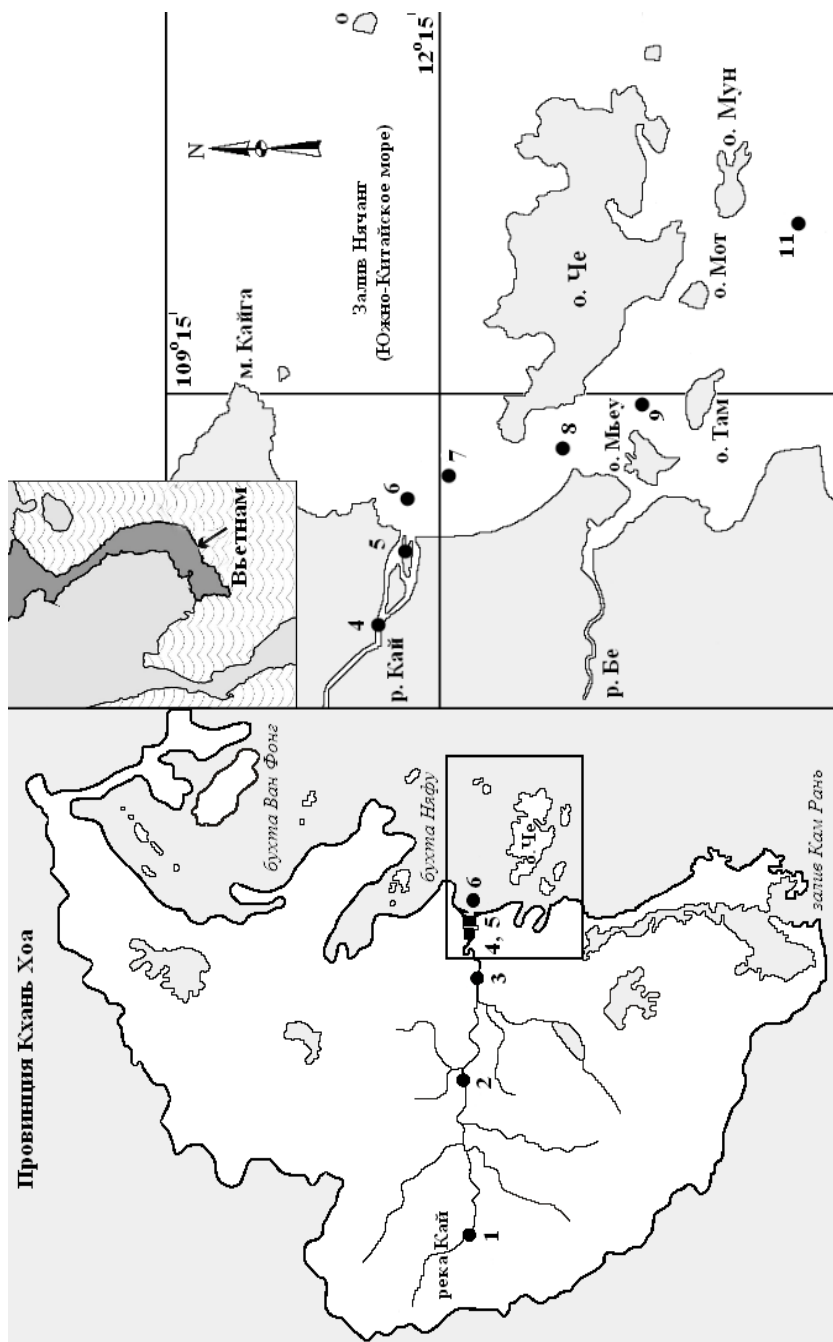


Рис. 1 Карта-схема района исследований с точками отбора проб.

Измерение массовой концентрации общей ртути в грунтах осуществлялось методом пиролиза на анализаторе ртути РА-915+ с использованием приставки ПИРО-915+ («Люмекс», Санкт-Петербург) [2].

Концентрация ртути в осадках коррелировала с величиной $C_{\text{орг}}$ ($r=0.81$, $p<0.001$). Содержание металла в донных отложениях разреза река-эстуарий-залив изменялось в среднем от 4.2 до 61 нг/г воздушно-сухой массы. Минимальные значения были приурочены к участку верхнего течения реки (станция 1), где содержание органического вещества было наименьшим (не более 0.04%). Состав углеводородов (УВ) характеризовался доминированием фракции короткоцепочечных *n*-алканов ($C_{12}-C_{22}$) с максимумом в области $C_{16}-C_{18}$ (рис. 2а). Соотношение $\Sigma C_{10}-C_{22}/\Sigma C_{23}-C_{35}$, используемое для приближенной оценки генезиса ОВ, было очень высоким (35.88), что свидетельствовало о доминировании в грунтах автохтонной составляющей.

Повышение концентрации ртути в донных осадках на участках нижнего течения (станция 3) и эстуария (станция 4) реки Кай, а так же на ряде станций залива (7, 9, 11) происходило одновременно с увеличением доли терригенного материала, участвующего в образовании органического вещества донных отложений (рис. 2б). Состав и характер распределения углеводородов в грунтах данных участков типичен для речных осадков, а так же для зон смешения, где органическое вещество формируется как за счет остатков гидробионтов, так и за счет поставки большого количества терригенного вещества [3].

Максимальные концентрации ртути в донных осадках разреза были приурочены к акватории эстуария (станции 4 и 5) и порта (станция 8), где содержание металла колебалось в пределах 40-50 нг/г и 55-70 нг/г соответственно.

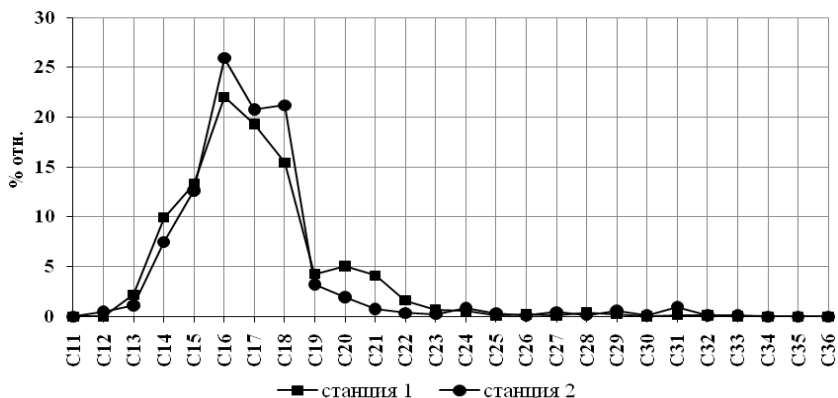


Рис. 2а Распределение *n*-алканов на участке верхнего и среднего течения реки

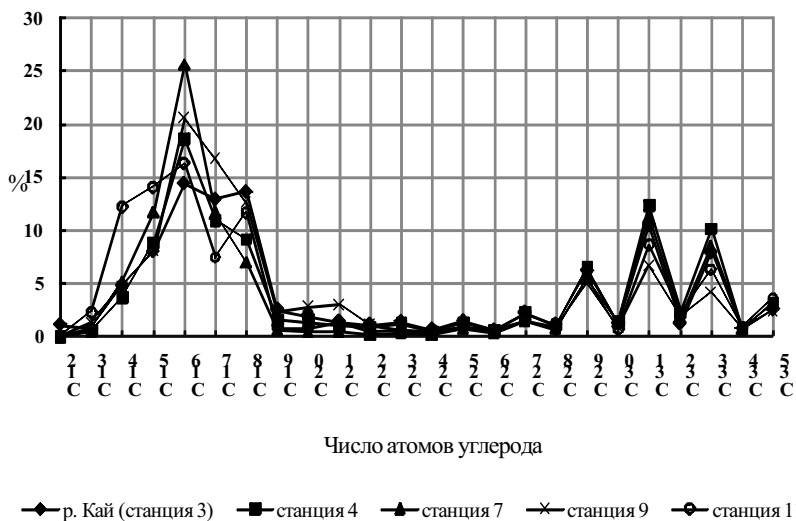


Рис. 26. Распределение *n*-алканов на участках нижнего течения реки, эстуария и некоторых станциях залива

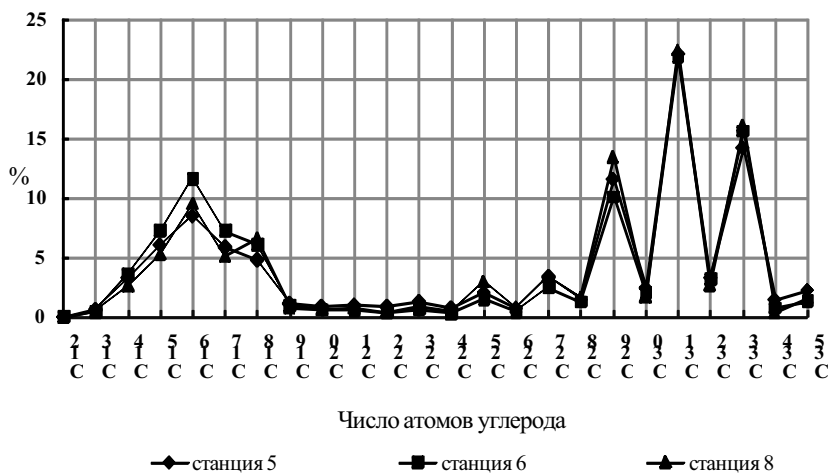


Рис. 2в. Характер распределения *n*-алканов на участках, подверженных техногенному воздействию

Данные участки располагались в зоне влияния промышленных стоков города, речного и морского портов. Качественный состав *n*-алканов в грунтах данных станций указывал на доминирование терригенного органического материала в составе ОВ (рис. 2в).

Использование молекулярных биомаркеров органического вещества позволило оценить роль терригенного материала в поступлении Hg в водные экосистемы. Концентрация металла достоверно возрастала с увеличением содержания длинноцепочечных углеводов ($\Sigma C_{23}-C_{35}$ - *n*-алканы, маркеры терригенного ОВ), при этом аналогичная взаимосвязь между ртутью и $\Sigma C_{10}-C_{22}$ так же имела положительную тенденцию, но была менее значима и недостоверна ($r = 0.81$, $p < 0.001$ и $r = 0.42$, $p = 0.1$ соответственно).

Характер захоронения органического материала в донных отложениях может оказывать прямое воздействие на миграционные свойства ртути в водоеме [4]. Постоянное поступление в осадки большого количества трудно разлагаемой органики и как следствие повышение потребления кислорода для ее окисления, постепенно приводит к формированию анаэробных условий на границе раздела вода/донные отложения, которые способствуют возрастанию подвижности и потенциальному метилированию неорганической ртути [5].

Таким образом, терригенный органический материал играет важную роль в динамике ртути между водоразделами и водоемами. Повышение содержания металла в грунтах разреза река – эстуарий – море связано с его привносом с территории водосбора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Teisserenc R., Lucotte M., Houel S. Terrestrial organic matter biomarkers as tracers of Hg sources in lake sediments // *Biogeochemistry*. 2011. V. 103. № 1-3. P. 235-244.
2. Лобус Н.В., Комов В.Т., Нгуен Тхи Хай Тхань Содержание ртути в компонентах экосистем водоемов и водотоков провинции Кхань Хоа (Центральный Вьетнам) // *Водные ресурсы*. 2011. № 6 (в печати)
3. Пересыпкин В.И., Смуров А.В., Шульга Н.А. и др. Состав органического вещества воды, взвеси и донных осадков залива Нячанг (Вьетнам, Южно-Китайское море) // *Океанология* (в печати).
4. Gagnon C., Pelletier E., Mucci A. Behaviour of anthropogenic mercury in coastal marine sediments // *Marine Chem.* 1997. V. 59. P. 159-165.
5. Cossa, D., Gobeil C. Mercury speciation in the Lower St. Lawrence Estuary // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2000. V. 57. P. 138-145.

Distribution of biomarkers of terrestrial organic material and mercury in the sediments of the section of river-estuary-sea has been investigated in July 2010. In these article show that increasing the metal content associated with an increased proportion TOM involved in the formation of sediment OM. Metal concentration was varied from 4.2 to 61 ng / g and positively correlated with TOC ($r = 0.81$, $p < 0.001$).

Максимова М.П.

(Московский Государственный Областной Университет, Москва,
MirJrMaks@gmail.com)

Интегральная оценка функционирования морских экосистем на гидробиогеохимическом уровне.

Проблематика, методология и методика

Maksimova M.P.

(Moscow State Regional University, Moscow)

The integral evaluation of functioning of the ecosystem of seas on the gidrobiogeochemical level. The problematic, methodology and method

Целый ряд научных разработок в области этих проблем выполнялся в продолжении ряда лет, включая методические, экспедиционные, экспериментальные и теоретические направления на системном гидробиогеохимическом уровне. Исследования включали широкий спектр системно взаимосвязанных параметров – физико-географических, гидрофизических, гидрохимических, гидробиологических, биохимических, почвенно-геологических [1-6] и др.

В работе использовались материалы собственных исследований автора (особая роль в них принадлежит Белому морю – являвшемуся фактически полигоном в период начала 60-х – начала 90-х годов), специализированных баз данных первичных материалов и литературные источники. Первичные материалы подвергались стандартной статистической обработке, с использованием корреляционного, регрессионного и факторного анализов.

На основе экосистемных исследований морей выявлены основные проблемы, разработана методология и методика интегральной оценки функционирования морских экосистем на гидробиогеохимическом уровне.

Методология и на ее основе методика оценки функционирования динамичных водных экосистем базируется на интегральном свертывании большого массива исходной информации экосистемных показателей (всего более 50) и их последующего системного анализа. Несмотря на чрезвычайную сложность и многообразие экосистемных показателей, можно выделить некоторое количество группировок, как структурных, так и функциональных, достаточно хорошо описывающих состояние всей системы.

Система интегральных функций включает – систему взаимосвязанных физико-географических, морфометрических, гидрологических, гидрохимических, геохимических, гидробиологических, биохимических и комплексных показателей [7, 8]. Сформулированы принципы образования интегральных показателей. Разработана принципиальная схема функционирования экосистемы моря, включающая экзогенные и

эндогенные факторы и процессы ее определяющие (включая графическую) [8]. По разработанной методике произведена интегральная оценка функционирования экосистем ряда морей на гидробиогеохимическом уровне, включая оценку антропогенного (техногенного) воздействия на моря. При этом разработаны также методики расчета антропогенной составляющей речного стока ионного, биогенного и тяжелых металлов [9, 10, 11].

Системные исследования разнотипных морей, проведенные в сравнительном аспекте, позволили установить специфику функционирования экосистем морей, расположенных в различных климатических зонах (гумидной и аридной), глубоководных и мелководных, различных по морфометрии, по интенсивности водообмена со смежными морями, речному стоку, характеру стратификации водных масс и пр. и выявить ключевые факторы управляющие экосистемой.

Оценка состояния и функционирования морских экосистем, их изменчивости под воздействием природных и антропогенных факторов должна базироваться на принципах единого методологического подхода. Важность разработки методологии проблемы на экосистемном уровне неоднократно отмечалась, в том числе на международном уровне (Конференции ACOPS - Международный консультативный комитет по защите морей) и др. [16].

Моря необходимо рассматривать прежде всего как сложные, открытые, динамические гидробиогеохимические системы, эволюционно сбалансированные на определенном квазистабильном уровне. Функционирование экосистемы морей – обмен веществом и энергией за счет экзогенных процессов со смежными системами (атмосферой, материком, смежными морями) и эндогенных (внутриводоемных) процессов - с донными отложениями и сообщества организмов, населяющих водоем, со средой обитания в процессе их жизнедеятельности.

Антропогенное воздействие приводит к нарушению гомеостаза (природной гидробиогеохимической сбалансированности экосистем) и биохимических циклов, особенно в замкнутых и полужамкнутых водоемах. Антропогенное воздействие выражается в основном в интенсификации потоков вещества, обусловленной техногенезом, и возрастанием биохимической активности функционирования морских экосистем (пример – эвтрофикация морей). Прежде всего, нарушается углеродный цикл, поскольку углерод – самый технофильный элемент, а также циклы сопутствующих жизненноважных элементов (азот, фосфор и др.). При этом происходит разбалансирование продукционно-деструкционных процессов, синтеза и деструкции органического вещества. Исследование углеродного цикла имеет первостепенную важность.

При экосистемных исследованиях морей составление (расчеты) баланса вещества (органического, биогенных элементов и пр.) и энергии,

включающего процессы обмена веществом и энергией моря со смежными системами, является важнейшим этапом. С.В. Бруевич [12] подчеркивал, что количественное изучение морей начинается с составления баланса вещества.

При изучении баланса вещества и энергии, как составляющей функционирования экосистемы моря, также необходимо исследование и эндогенных (внутриводоемных) процессов на гидробиогеохимическом уровне. Особую важность представляют исследования баланса органического углерода (органического вещества).

В балансовых расчетах в современный период необходимо идентифицировать антропогенную составляющую [9, 10, 11].

Моря также необходимо рассматривать как единое целое с водосборной системой питающих моря рек, условиями формирования гидрохимического состава речного стока (включающими почвенно-геологические), его сезонной и межгодовой динамикой, обусловленной как природными флуктуациями, так и динамикой антропогенного воздействия. Речной сток является важнейшей составляющей баланса вещества и энергии в морях [1, 3, 6,].

Расчеты баланса биогенных элементов и органического вещества в морях - Белом, Балтийском, Черном, Азовском, Каспийском, Аральском в период интенсивного антропогенного воздействия и предшествующий период, выполненные по единой программе, позволили выявить основные статьи приходно-расходных составляющих баланса биогенных элементов и органического вещества морей (с оценкой антропогенной составляющей) в разнотипных морях [3, 11, 13, 14].

По разработанной методике произведена интегральная оценка функционирования экосистем разнотипных морей на гидробиогеохимическом уровне - Белого, Балтийского, Каспийского [7, 8].

Особый интерес представляет научный анализ в сравнительном аспекте интегральных функций экосистем этих морей, выявивший главные факторы, управляющие функционированием разнотипных экосистем морей (с применением факторного анализа – метода главных компонент) [7, 8].

Анализ комплекса интегральных показателей, как баланса вещества, так и системы интегральных коэффициентов, позволил на количественном уровне оценить гидробиогеохимическую активность функционирования разнотипных морских экосистем и характеризовать основные закономерности функционирования: очень высокую геохимическую активность и слабую биохимическую функционирования экосистемы Белого моря; высокую биохимическую и относительно слабую геохимическую активность функционирования экосистемы Балтийского моря; Каспийское – море характеризуется низкой геохимической и невысокой биохимической активностью функционирования экосистемы. Установлены основные факторы управляющие экосистемами морей [3, 8].

Водные экосистемы, характеризующиеся наибольшей природной биогеохимической активностью, отличаются и более высокой способностью к саморегулированию, большей устойчивостью к антропогенным воздействиям.

Для адекватной оценки динамики состояния и функционирования морских экосистем, особенно в эпоху возрастающего антропогенного воздействия, необходима разработка программы экосистемного мониторинга. Вышеприведенная схема может служить принципиальной основой для последующей разработки экосистемного мониторинга водных объектов и для моделирования.

Академик РАН А.П. Лисицин (и др.) [15] отмечает, что «развитие современной морской науки тесно связано с появлением новых концепций, новых подходов и методов исследования морей и океанов (физика, химия, биология и геология морей и океанов). Океан - только часть планеты, водная система которая находится в тесном взаимодействии с другими системами – геосферами, обменивается с ними веществом и энергией. Океанология, таким образом, из комплексной постепенно становится системной – это часть взаимодействующих природных систем (внешних и внутренних)». Далее говорится: «Фактической основой должны быть исследования всех важнейших параметров, которые определяют ход процессов, не только в водной массе морей и океанов (физика, химия, биология, геология), но также учитывают влияние других сфер, находящихся в контакте и взаимодействии». «Эти процессы и вовлеченное в них вещество имеют свои физические, химические и другие особенности, взаимодействуют с водной поверхностью, обмениваясь веществом (взвесью) и энергией».

В кратком научно-аналитическом обобщении результатов проведенных нами экосистемных исследований морей, для обоснования представленных в статье положений и выводов, целесообразно дать библиографические ссылки на некоторые публикации освещающие конкретные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимова М.П. Сравнительная гидрохимия морей // Новые идеи в океанологии. Т. 1. М.: Наука. 2004. С. 168-189.
2. Максимова М.П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек // Водные ресурсы. 1985. № 3. С. 71-75.
3. Максимова М.П. Методика расчета антропогенной составляющей биогенного стока рек // Вопросы методологии гидрохимических исследований в условиях антропогенного влияния. Часть 1. Л.: Гидрометеиздат. 1979. С. 32-33.
4. Максимова М.П. Специфика антропогенного воздействия на экосистемы морей. Методология проблемы // Водные ресурсы. 1996. № 5. С. 583-588.
5. Максимова М.П. Особенности баланса органического вещества в водах

северных и южных внутриматериковых морей Советского Союза // Труды ВНИРО. Т. 80. Вып. 3. Бонитет Мирового океана. М. 1973. С. 7-17.

6. Максимова М.П. Система интегральных показателей гидробиогеохимической активности функционирования морских экосистем (методические аспекты) // Материалы Конференции "Современные проблемы комплексного исследования морей". М. 1995. С. 30-31.

7. Максимова М.П., Брусиловский С.А. Система интегральных показателей комплексной оценки функционирования водных экосистем на гидробиогеохимическом уровне // Экологические системы и приборы. 2000. № 6. С. 25-33.

8. Максимова М.П. Органическое вещество в северных морях (формирование, продукционно-деструкционные процессы, баланс) // Материалы V съезда Всесоюзного гидробиологического общества. Часть I. Куйбышев. 1986. С. 19-21.

9. Максимова М.П. Гидрохимия Белого моря // Проект моря СССР. Гидрометеорология и гидрохимия. Т. II. Белое море. Вып. 2. 1991. С. 8-115.

10. Бруевич С.В. Проблемы химии моря // М. Наука. 1978. 335 с.

11. Лисицин А.П., Шевченко В.П., Немировская И.А. и др. Развитие четырехмерной океанологии и создание фундаментальных основ комплексного мониторинга морских экосистем (на примере Белого моря) // Физические, геологические, и биологические исследования океанов и морей. М.: Научный мир. 2010. С. 559-597.

12. Максимова М.П., Чугайнова В.А. Гидрохимический режим прибрежной зоны Белого моря, губ и шхерных районов // Водные ресурсы Европейского Севера России: Итоги и перспективы исследований. Петрозаводск. Карельский научный центр РАН. 2006. С. 474-501.

13. Максимова М.П. Эстуарная иерархическая система Белого моря. Геология морей и океанов. Т. I. XVI Международной школы морской геологии. 2005. С. 87-89.

14. Максимова М.П. Гидрохимия // Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Гидролого-гидрохимический режим водосбора Белого моря. Петрозаводск. Карельский научный центр РАН. 2006. С. 474-501.

15. Maksimova M.P. Ecosystematic Hydrochemistri of the White Sea // OCEANOLOGY. V. 43. Suppl. 1. 2003. P. 32-62.

16. Pollution of the Seas Around the Goast of the CIS. Materials Int. Conf. Sevastopol. 1993. 102 p.

The article presents the problematic, methodology and method of evaluation of functioning of the ecosystems of seas. The complex system of integral parameters of sea ecosystems functioning on gidrobiogeochemical level is developed and the evaluation of the functioning of the ecosystems of a number of seas is made, the key factors controlling ecosystems are explored.

Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Богущ А.А., Бобров В.А.
(Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск,
ospeshev@gmail.com)

Особенности химического состава поровых вод из керна донных отложений оз. Духовое (Южное Прибайкалье)

Maltcev A.E., Leonova G.A., Bogush A.A., Bobrov V.A.
(V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of RAS,
Novosibirsk)

Features of the chemical composition of the pore water from sediment of Duhovoe Lake (Southeast of Baikal Lake)

Поровые воды донных отложений взаимодействуют с веществом донного осадка, то есть активно участвуют в геохимических процессах, и, следовательно, играют очень важную роль в процессах диагенеза. Знание химического состава поровых вод имеет огромное значение для решения коренных вопросов геологии и минералогии осадков [1–8]. Объектом нашего исследования стали поровые воды оз. Духового, которое расположено на восточном побережье Байкальской впадины (координаты 53°18' с.ш., 108°53' в.д.). Длина озера 2.5 км, ширина 1.6 км, глубина не более 6 м, берега заиленные и заросшие макрофитами.

Методом ударного бурения из центральной части оз. Духового была получена непрерывная колонка керна диаметром 7.5 см на всю мощность сапропелевого слоя (~7 м). Для отжима поровых вод были отобраны микрослои керна длиной по 10 см. Отжим поровых вод осуществляли по стандартной методике [4] в прессформе диаметром 6 см с помощью гидравлического пресса малого образца «КЗФ 4602», позволяющего получить максимальное давление 250 атмосфер. Сразу же после отжима поровых вод в них измеряли рН и окислительно-восстановительный потенциал (Eh) на иономере «Анион 4151». Элементный состав поровых вод проанализирован методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП АЭС) на приборе ICP-OES spectrometer IRIS Advantage американской фирмы Thermo Jarrell и методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с пламенной и электротермической атометрией в Аналитическом центре ИГМ СО РАН. Основной ионный состав поровых вод определен методом капиллярного электрофореза (прибор «Капель 103-Р») в аналитической лаборатории ИНХ СО РАН. Гидрокарбонат-ион (HCO_3^-) определяли титриметрическим методом.

По преобладающим анионам и катионам поровые воды оз. Духовое по всей глубине колонки отнесены по [9] к сульфатно-кальциевому типу вод ($\text{SO}_4\text{—Ca}$). По величине минерализация (450–3400 мг/л) поровые воды отнесены согласно [10] к водам повышенной минерализации.

Значения pH в поровых водах по глубине керна сапропеля меняются от 3.9 до 9.6 (рис. 1). В поровых водах из верхнего 10-см слоя сапропеля среда слабокислая (pH = 5.58), а затем плавно повышается до околонейтральной (pH = 6.44–7.09) по разрезу колонки до глубины 160 см. Глубже отметки 160 см значение pH в поровых водах вновь снижается. Минимальные значения pH, равные 3.91, отмечены на глубине в 232 см и остаются в пределах 5.02–5.19 до глубины 320 см, после чего идет очень резкое повышение pH до 9.4 на глубине 340–360 см. В нижней части керна значения pH поровых вод приближаются к нейтральным. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) поровых вод изменяется в пределах от +167 до +425 мВ (рис. 1). Картина распределение Eh по глубине донных осадков противоположна таковой для распределения pH. В верхних 160 см значение pH колеблется в интервале 240–310 мВ. На глубине 170 см наблюдается скачок значений Eh, его показатели увеличиваются до 425 мВ на глубине в 230 см. На глубине ниже 320 см значение Eh снижается, достигая в некоторых горизонтах минимальных значений (~170 мВ).

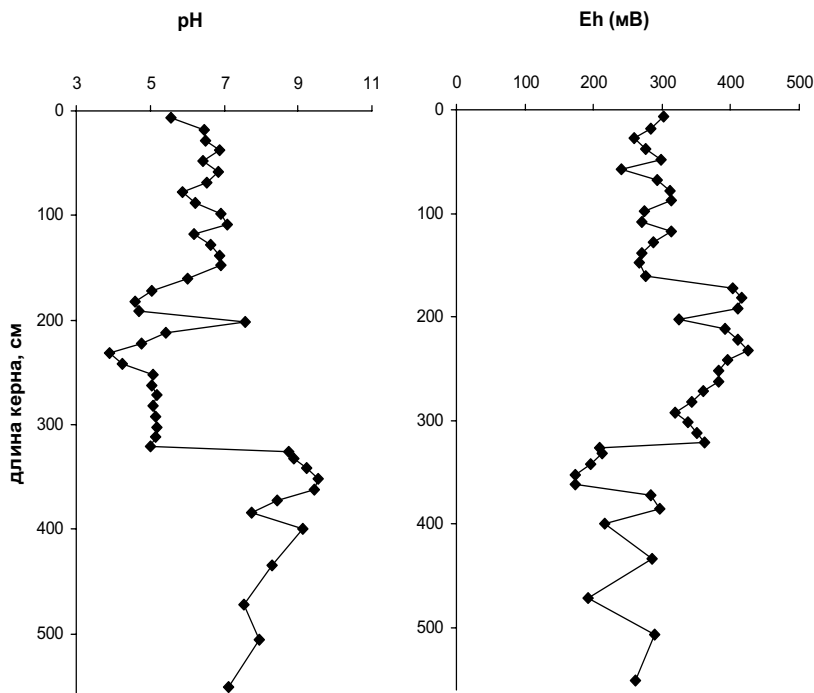


Рис. 1. Распределение значений pH, Eh по глубине керна оз. Духовое

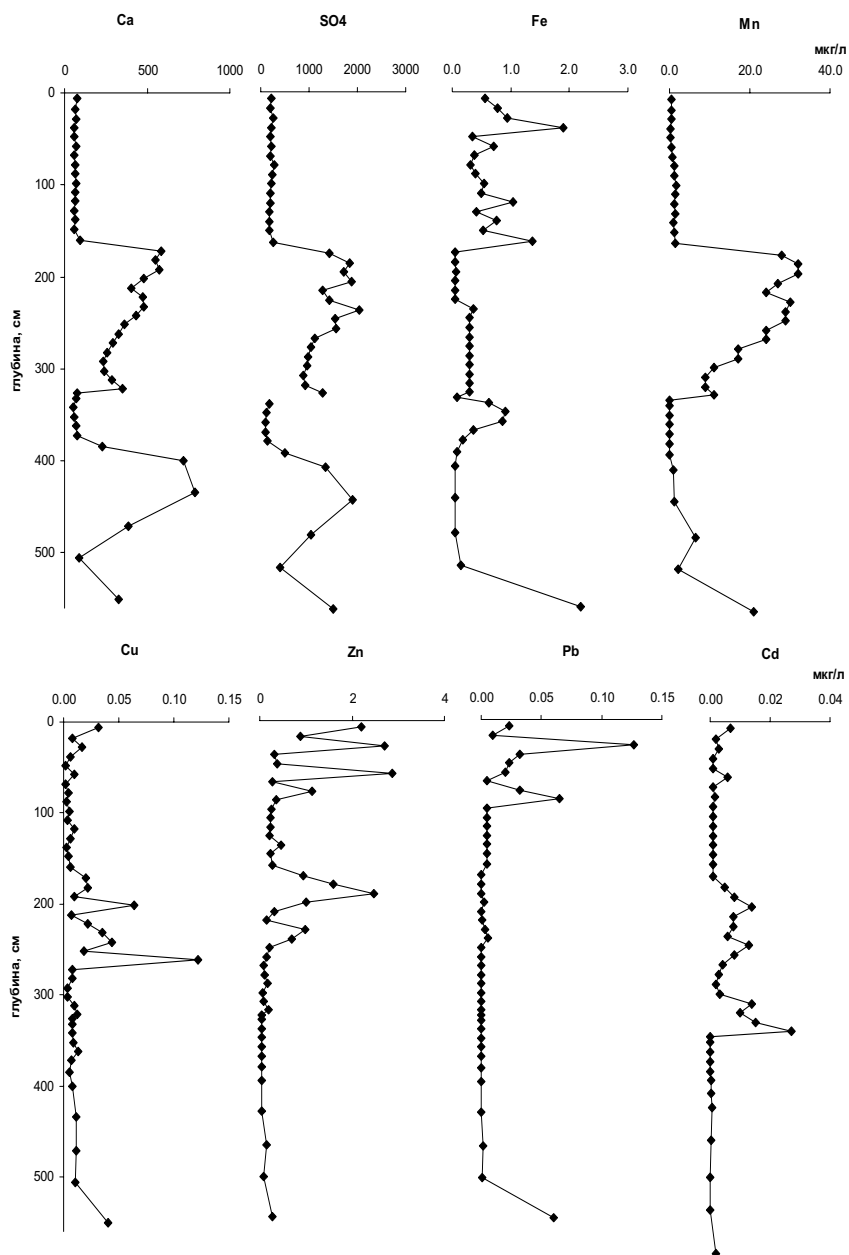


Рис. 2 Изменение концентраций элементов по длине керна оз. Духовое

На рис. 2 представлены наиболее характерные концентрационные профили распределения основных ионов (SO_4^{2-} и Ca^{2+}), железа и марганца, являющихся чувствительными индикаторами изменения физико-химических условий в осадках, цинка и меди (биофильных элементов), свинца и кадмия (техногенных элементов, характеризующих загрязненность атмосферы).

Изменение концентраций ионов SO_4^{2-} и Ca^{2+} по глубине керна донных отложений оз. Духовое происходит почти «синхронно»: при увеличении концентраций сульфат-ионов наблюдается увеличение и концентраций ионов кальция, и наоборот (рис.2).

При сравнении распределения в поровых водах по глубине керна значений Eh (рис.1) и концентраций Mn и Fe (рис.2) можно сделать следующие предварительные заключения. При выдержанных значениях Eh (~ 300 мВ) до глубины керна 160 см наблюдаются и выдержанные концентрации Mn. При резком увеличении Eh до 400 мВ в интервале глубин 160–320 см, резко повышается в поровых водах и содержание Mn. Ниже по глубине вслед за снижением значений Eh уменьшается и содержание Mn. Для Fe, напротив, при резком увеличении значений Eh, резко снижается содержание Fe в поровых водах, видимо за счет связывания его в твердые минеральные фазы.

Распределение Cu и Zn в поровых водах в целом отражает изменение в них величин pH. Наименьшему значению pH = 3.91 на глубине 262 см соответствует максимальное содержание Cu – 0.12 мкг/л. При резком повышении pH до значений 7.56 содержание Cu вдвое уменьшается – 0.06 мкг/л. Это объясняется большей подвижностью многих элементов в кислой среде по сравнению с щелочной. Относительно высокие концентрации Zn в поровых водах интервала керна (1–200 см) приурочены, по-видимому, к горизонтам органического вещества, перемежающегося с прослоями глинистого материала. Так же, как и для Cu, более высокие содержания Zn отмечаются в поровых водах с низкими значениями pH. Так, при pH = 4.7 концентрации Zn в поровых водах на глубине 192 см составляют 2.5 мкг/л, а при pH = 7.5, соответственно – 1.0 мкг/л.

Концентрации Pb и Cd в поровых водах по глубине всего керна достаточно выдержаны, кроме верхних слоев с повышенными содержаниями этих элементов. Такое распределение «летучих» элементов характерно для донных отложений малых озер и отражает загрязненность атмосферы от выбросов промышленных предприятий.

В целом можно констатировать, что в интервале керна 160–320 см происходит резкое увеличение в поровых водах концентраций всех исследованных элементов, кроме Pb. Следовательно, в этом интервале идет интенсивное выщелачивание элементов. Это полностью согласуется с распределением pH. В этих горизонтах наблюдается резкое снижение pH до кислых значений, что и обуславливает выщелачивание элементов из материала сапропеля. Ниже глубины в 320 см происходит резкое падение

концентрации элементов в поровых водах и увеличение значений pH до щелочных значений, что может обуславливать формирование геохимического барьера [11] и концентрирование элементов на данной глубине.

Исследования проведены при поддержке грантов РФФИ (№ 08-05-00392, № 11-05-00655 и № 11-05-12038-офи-м-2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т. 2. История природных вод. Ч. 1. Вып. 3. Л.: изд-во АН СССР, 1936. 562 с.
2. Поровые растворы и методы их изучения. Минск: Наука и техника, 1968. 230 с.
3. Геохимия диагенеза осадков Тихого океана (трансокеанский профиль). М.: Наука, 1980. 286 с.
4. Шишкина О. В. Геохимия морских и океанических иловых вод. М.: Наука, 1972. 227 с.
5. Погодаева Т.В., Земская Т.И., Голобокова Л.П., Хлыстов О.М., Минами Х., Сакагами Х. Особенности химического состава поровых вод донных отложений различных районов озера Байкал // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 11. С. 1144-1160.
6. Гранина Л.З., Каллендер Е., Ломоносов И.С., Мац В.Д., Голобокова Л.П. Аномалии состава поровых вод донных осадков Байкала // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 1–2. С. 362—372.
7. Брезгунов В.С., Ферронский В.И. Макро- и микроэлементы в поровых водах глубинных областей южного и среднего Каспия // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 6. С. 700-708.
8. Гранина Л.З. Ранний диагенез донных осадков озера Байкал. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2008. 156 с.
9. Алекин О.А. Общая гидрохимия. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1948. 207 с.
10. Перельман А.И. Геохимия природных вод. М., изд-во «Наука», 1982.
11. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989.

In the given work, chemical composition of the pore water from sediment of Duhovoe Lake (Southeast of Baikal Lake) was investigated. The pore water of sapropel from Duhovoe Lake is $\text{SO}_4\text{-Ca}$ type. Distribution of pH, Eh, element concentration in sapropel's pore water was considered.

**Мамаева Е.В., Суслова М.Ю., Павлова О.Н., Липко И.А.,
Парфенова В.В., Земская Т.И.**

(Лимнологический институт СО РАН, elena_m@lin.irk.ru)

**Разнообразие культивируемого и природного микробного
сообщества донных осадков шельфа Карского моря**

**Мамаева Ye.V., Suslova M. Yu., Pavlova O.N., Lipko I.A.,
Parfenova V.V., Zemskaya T.I.**

(Limnological Institute of RAS SB, Russia)

**Biodiversity of cultivated and total microbial community
sediment Kara Sea shelf**

В связи с разведкой и освоением запасов углеводородов в акваториях арктического шельфа весьма актуально изучение микробного сообщества в Карском море и прилегающих акваториях.

Материалом для исследования послужили пробы воды и донных осадков, отобранные в экспедиции в августе–октябре 2009 г. на т/х «Советская Арктика». Исследуемые районы отличаются по гидрофизическим характеристикам, химическому составу и условиям формирования водных масс, что обусловлено влиянием речного стока, а также морских приливов. В Енисейском заливе прослеживается увеличение солености водных масс по направлению к п. Диксон, как в поверхностном слое так и у дна. Минерализация начинает увеличиваться от створа Сопочная Карга под влиянием морских вод. Воды Гыданской губы отличаются низкой минерализацией и соленостью, постепенно возрастающей к устью [1-2].

В этих районах было исследовано разнообразие культивируемых микроорганизмов и суммарного микробного сообщества.

Филогенетический анализ суммарной ДНК поверхностного слоя донных осадков показал наличие представителей домена *Bacteria* - классов α -, β -, γ -, δ -*Proteobacteria*, филумов *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Bacteroidetes*, *Chloroflexi*, *Verrucomicrobia*, *Planctomycetes*, *Gemmatimonadetes*. Среди *Archaea* найдены представители царств *Crenarchaeota*, *Thaumarchaeota*. В средней части Енисейского залива, на разрезе Сопочная Карга - м. Нарзой, среди домена *Bacteria* доминировали представители класса *Proteobacteria* и филума *Actinobacteria*. На разрезе п. Диксон – о. Сибирякова выявлено преобладание микроорганизмов класса γ -*Proteobacteria* и филума *Planctomycetes*, а также представителей домена *Archaea*, на разрезе м. Монгаталянг - м. Мамонта наиболее разнообразно представлены бактерии классов γ - и δ -*Proteobacteria*.

Полученные нуклеотидные последовательности имеют наибольший процент сходства с последовательностями, выделенными из различных

экологических нишах. Это районы Арктики, к примеру, море Лаптевых [7], архипелаг Шпицберген [5], также Желтое море [3], Тихий океан [4], шельф Антарктики [6].

Среди культивируемого микробного сообщества идентифицированы представители класса *Proteobacteria*, филумы *Firmicutes* и *Actinobacteria*. С помощью фенотипических признаков полученные чистые культуры были отнесены к родам *Streptomyces*, *Rhodococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium* и *Marinococcus*. Также была исследована структура нуклеотидных последовательностей фрагментов гена 16S рРНК у семи чистых культур бактерий, изолированных из донных осадков шельфа Карского моря и Енисейского залива. Данные штаммы принадлежат к филумам - *Firmicutes*, *Actinobacteria*, классу γ - *Proteobacteria*, родам – *Brevibacillus*, *Bacillus*, *Aeromonas*, *Plantibacter*. Была подтверждена принадлежность исследованных штаммов к роду *Bacillus*, анализ фрагментов гена 16S рРНК позволил идентифицировать штаммы *Aeromonas piscicola* и *Plantibacter* sp, что не удалось сделать по фенотипическим признакам.

Молекулярно-биологические методы совместно с методами культивирования дополняют картину микробного разнообразия шельфа Карского моря и прилегающих акваторий. Изучение ферментативной активности полученных штаммов позволяет судить о продукционно-деструкционных процессах, происходящих в арктической зоне шельфа Карского моря и участия в них представителей микробного сообщества.

Работа выполнена в рамках программы Президиума РАН, проекта 20.7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокикова Л.М. Трансформация главных ионов и минерализации воды р. Енисея в условиях зарегулированного стока // Водные ресурсы. № 3. С. 320-325.
2. Томберг И.В., Сорокикова Л.М., Сезько Н.П., Доля И.П., Погодаева Т.В. Гидрохимическая характеристика Гыданской губы (Карское море) // Материалы международной научной конференции “Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена” г. Мурманск. 27-30 октября 2010. 2010. Вып. 10. С. 292-295.
3. Bai J., Li H., Zhao Y. Bacterial distribution at different stations in the Northern Yellow Sea // Wei Sheng Wu Xue Bao. 2009. V. 49(3). P. 343-350.
4. Cao H., Hong Y., Li M., Gu J. D. Phylogenetic Diversity and Ecological Pattern of Ammonia-oxidizing Archaea in the Surface Sediments of the Western Pacific // Microb Ecol. 2011 Jul 12. [Epub ahead of print]
5. Fei Tian, Yong Yu, Bo Chen, Huirong Li, Yn-Feng Yao, Xiao-Kui Guo. Bacterial, archaeal and eukaryotic diversity in Arctic sediment as revealed by 16S rRNA and 18S rRNA gene clone libraries analysis // Polar Biol. 2009. V. 32. P. 93–103.
6. John P. Bowman, Robert D. McCuaig. Biodiversity, Community Structural

Shifts, and Biogeography of Prokaryotes within Antarctic Continental Shelf Sediment // AEM. 2003. V. 69. P. 2463–2483

7. Liebner S., Rublack K., Stuehrmann T., Wagner D. Diversity of Aerobic Methanotrophic Bacteria in a Permafrost Active Layer Soil of the Lena Delta, Siberia // Microb. Ecol. 2009. V. 57. P. 25 – 35.

A variety of cultured microorganisms and the total microbial community in the Kara Sea and adjacent waters was investigated. Material for investigation samples of water and sediment were selected on an expedition in August-October 2009.

Матвеева Т.В.

(ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга («ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга»), Санкт-Петербург, Россия, tv_matveeva@mail.ru)

Связь газогидратообразования в очагах разгрузки флюидов с аномальными гидрохимическими разрезами

Matveeva T.V.

(Academician I.S. Gramberg All-Russia Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean, "I.S. Gramberg VNIIOkeangeologia", St.Petersburg; Russia)

Association of gas hydrate formation in fluid discharges with anomalous hydrochemical profiles

Изучение флюидных потоков углеводородов (УВ), областей их разгрузки на глубоководных окраинах континентов и их влияния на процессы формирования-разложения скоплений гидратов метана является весьма актуальным на сегодняшний день. Это объясняется такими аспектами данной научной проблемы как экологическая, изменение климатических условий – парниковый эффект, ресурсная – бюджет метана в скоплениях газовых гидратов и обоснование целесообразности их разработки, а также фундаментальных проблем морской геологии и геохимии, таких, как вклад УВ потоков и связанных с ними процессов газогидратообразования в геохимический цикл углерода.

Глубоководные очаги разгрузки УВ флюидов широко распространены на континентальных окраинах, но особенности строения и условия формирования связанных с ними скоплений газовых гидратов все еще не вполне ясны. В частности, не достаточно изучена кинетика газогидратообразования, являющаяся одним из важнейших факторов, контролирующих формирование гидратов, наряду с растворимостью газов, термобарическими условиями и др. Комплексный анализ обширного фактического материала по очагам разгрузки метано-содержащих флюидов и связанных с ними скоплений газовых гидратов Охотского и Черного морей, озера Байкал, Кадисского залива позволяет заключить, что существует тесная взаимосвязь процессов формирования газовых гидратов с аномальными гидрохимическими разрезами, часто наблюдаемыми в очагах разгрузки УВ флюидов.

В ходе изучения химического и изотопного состава поровых вод из гидратосодержащих и безгидратных отложений, поднятых грунтовым пробоотбором из различных придонных скоплений газовых гидратов, особое внимание уделялось выявлению влияния химического состава поровых вод на кинетику газогидратообразования в поровом пространстве. Влияние солей на растворимость метана в зоне стабильности гидратов изучалось ранее Нэндой [1], Зацепиной и Буффетт [2], и позднее Дэви с

соавторами [3] с теоретической точки зрения. Предлагаемая же автором идея базируется на экспериментально подтвержденной гипотезе о том, что фугитивность метана, растворенного в соленой насыщенной метаном воде, находящейся в равновесии с гидратом, превышает ее значения в более пресной воде, хотя растворимость метана в ней ниже [1, 4]. Таким образом, при наличии градиента солености в поровых водах отложений, находящихся в пределах зоны стабильности гидратов, метан будет диффундировать в воду с меньшей соленостью, вызывая сегрегационное накопление гидратов [4].

Геохимический анализ поровых вод из отложений, отобранных из гидратных скоплений в очагах разгрузки газа в прибрежье о. Сахалин [5, 6], позволил выявить некоторые особенности и разработать гидрохимическую модель скопления гидратов, приуроченного к очагу разгрузки, названному ХАОС. Модель базируется на анализе распределения хлорности поровых вод (функция солености) и расчетах ее градиентов по площади и разрезу. Изученные вертикальные профили распределения хлор-иона обнаружили наличие как отрицательных так и положительных трендов и в гидратосодержащих, и в безгидратных кернах. Было установлено наличие восходящей фильтрации воды с соленостью, превышающей соленость поровых вод окружающих осадков. При этом, повышенной соленостью поровых вод характеризовались именно гидратосодержащие керны. Полученные данные свидетельствуют о том, что образование гидратов в пределах очага разгрузки ХАОС сосредоточено вдоль путей миграции более соленых газонасыщенных вод, что в свою очередь может является следствием влияния растворимости метана в поровой воде в равновесии с гидратом.

Еще одним свидетельством газогидратообразования на границе поровых вод с различной соленостью (т.е. с различным химическим потенциалом) являются данные, полученные на озере Байкал в очаге разгрузки газонасыщенных вод Маленький [7]. Данное скопление газовых гидратов характеризуется существенной неоднородностью в пространственном распределении гидратовыделений по площади. Взаимное расположение кернов, вскрывших газовые гидраты и безгидратных, позволяет предположить наличие в пределах структуры Маленький нескольких весьма локальных (не превышающих нескольких метров в диаметре) очагов разгрузки газонасыщенных вод. Разгружающиеся воды обогащены солями, в особенности ионами Ca , Cl , и SO_4 . Именно разгружающиеся воды с повышенной соленостью, поставляющие водорастворенный газ в зону стабильности газовых гидратов, и являются основным гидратообразующим флюидом [7]. Причиной же точечного характера гидратопроявлений является гидратовыделение на границе вод с различным химическим потенциалом, т.е. разгружающейся соленой воды и пресной воды вмещающих отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Handa Y.P. Effect of hydrostatic pressure and salinity on the stability of gas hydrates. // *Journal Physics Chemistry*. 1990. V. 94. P. 2652-2657.
2. Zatsepina O.Y., Buffett B.A. Conditions for the stability of gas hydrate in the seafloor // *Journal of Geophysics Research*. 1998. V. 103. P. 24127–24139.
3. Davie M.K., Zatsepina O.Y., Buffett B.A. Methane solubility in marine hydrate environments // *Marine Geology*. 2004. V. 203. P. 177-184.
4. Гинсбург Г.Д., Соловьев В.А. Субмаринные газовые гидраты. СПб, ВНИИОкеангеология, 1994. 199 с.
5. Matveeva T., Soloviev V., Shoji H., Obzhairov A. (eds). Hydro-Carbon Hydrate Accumulations in the Okhotsk Sea (CHAOS Project Leg I and *Leg II*). Report of R/V Akademik M. A. Lavrentyev Cruise 31 and 32. VNIIOkeangeologia, St.Petersburg, 2005. 164 p.
6. Mazurenko L.L., T.V. Matveeva, E.M. Prasolov, H. Shoji, A.I. Obzhairov, Y.K. Jin, J. Poort, E.A. Logvina, H. Minami, H. Sakagami, A. Hachikubo, A.S. Salomatin, A.N. Salyuk, E.B. Prilepskiy and CHAOS 2003 Scientific Team. // *Geological Society, London, Special Publications*. 2009. V. 319. P. 51-72.
7. Matveeva T.V., L.L. Mazurenko, V.A. Soloviev, J. Klerkx, V.V. Kaulio, E.M. Prasolov Gas hydrate accumulation in the subsurface sediments of Lake Baikal (Eastern Siberia) // *Geo-Marine Letters*. 2003. V. 23. P. 289-299.

Original large dataset on hydrate-related interstitial fluids obtained from different fluid discharge areas at the Sea of Okhotsk, Black Sea, Gulf of Cadiz, Lake Baikal (Eastern Siberia) allow to suggest close relation of the subaqueous GH formation process to anomalous hydrochemical profiles. We have studied the chemical and isotopic composition of interstitial fluids from GH-bearing and GH-free sediments obtained at different GH accumulations. Most attention was paid to possible influence of the interstitial fluid chemistry on the kinetic of GH formation in a porous media.

**Моргунова И.П., Петрова В.И., Литвиненко И.В.,
Черкашёв Г.А.**

(ФГУП ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга, Санкт-Петербург, inik@list.ru)

**Углеводородные маркеры в осадочных отложениях
гидротермального поля «Семенов» (СХ, 13°с.ш.)**

Morgunova I.P., Petrova V.I., Litvinenko I.V., Cherkashev G.A.

(VNIIOkeangeologiya named after I.S. Gramberg, St.Petersburg)

**Hydrocarbon markers in the bottom sediments of the
hydrothermal field “Semenov” (MAR, 13°N)**

Углеводородные маркеры, или так называемые «биомаркеры», являются универсальными индикаторами событий и изменений, происходящих в биологических системах, а также позволяют качественно и количественно оценить влияние на эти системы различных факторов окружающей среды. Обширные рудопоявления, обнаруженные в зонах спрединга срединно-океанических хребтов, как правило, ассоциированы с гидротермальной активностью, которая представляет особенный интерес с точки зрения изучения влияния экстремальных условий среды на преобразование биогенного органического вещества (ОВ). Окислительные процессы, протекающие в металлоносных осадках и сульфидных отложениях гидротермальных полей способны служить источником энергии для развития местных хемолитоавтотрофных и гетеротрофных организмов. При этом характерные аномальные значения гидрофизических показателей (T° , P , Eh , pH , солёности, мутности) этих областей обеспечивают уникальные условия для ускоренной трансформации, транспортировки и захоронения биогенного ОВ [1,2].

Гидротермальное рудное поле Семёнов было открыто в 2007 году в ходе 30 экспедиции НИС «Профессор Логачев». В результате повторной экспедиции в этот район в 2009 году (32 рейс НИС «Профессор Логачев») были получены дополнительные данные, свидетельствующие о том, что гидротермальное поле представляет собой кластер из пяти месторождений массивных руд, расположенных как на склонах, так и на вершине апифтной зоны протяжённого подводного поднятия высотой до 800 м, залегающего на глубине от 2160 до 3020 м. При этом присутствие гидротермальной биоты и полученные видеоданные по разгрузке гидротермального флюида подтвердили наличие гидротермальной активности только на одном из участков рудного поля, которое в целом можно считать неактивным [3].

Осадочные отложения для данной работы (10 поверхностных образцов) отбирались в ходе совместного рейса ПМГРЭ и ВНИИОкеангеология на НИС «Профессор Логачёв» в 2009 году с помощью коробчатого пробоотборника, телегрейфера и драги. Осадки сохранялись до момента

камеральных исследований в стерильной таре при температуре -18°C . Стандартная аналитическая процедура включала в себя определение элементного состава отложений (Сорг, Скарб), группового и молекулярного состава растворимой части рассеянного органического вещества (РОВ) методами препаративной жидкостной хроматографии и ГХ-МС с применением системы Agilent Technologies GC System 6850/5973.

Литологически осадочный материал представлен двумя типами пород: кокколито-фораминиферовыми, сильно карбонатными илами и металлоносными, бескарбонатными осадками, содержащими включения рудного материала. Изучение распределения углеводородных маркеров в этих отложениях позволило выявить в их составе ряд характерных для данного региона особенностей.

По геохимическому составу сильно карбонатные ($\text{C}_{\text{карб}} = 7.5 \div 9.3\%$, $\text{CaCO}_3 = 62.6 \div 77.6\%$) и металлоносные осадки ($\text{C}_{\text{карб}} \leq 2\%$) рудного поля Семенов характеризуются не самыми высокими для гидротермальных регионов Атлантики содержаниями органического углерода: $\text{C}_{\text{орг}} = 0.2 \div 0.9\%$ (рис. 1, а). При этом количество углеводородов (УВ) в осадках вполне сопоставимо величинами, установленными ранее для активного гидротермального поля Ашадзе (13° с.ш., САХ) [4] и достигает в некоторых образцах 94 мкг/г, что, скорее всего, обусловлено поступлением автохтонного биогенного и частично переотложенного РОВ.

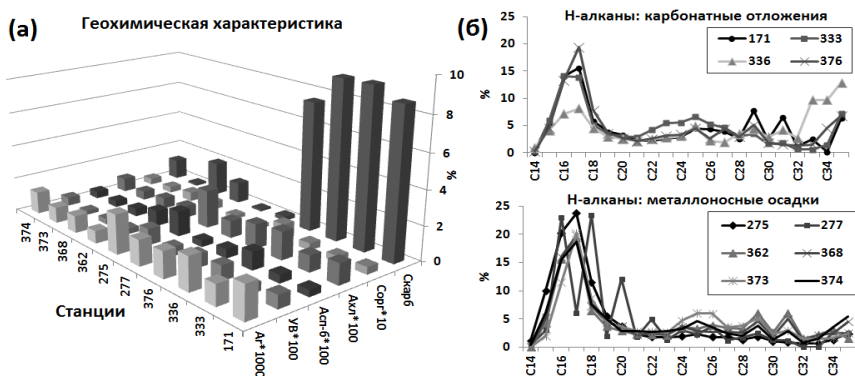


Рис. 1. (а) Общая геохимическая характеристика гидротермальных отложений; (б) Распределение н-алканов в карбонатных и металлоносных осадках гидротермального поля Семенов

Относительно высокие содержания углеводородов в породе (до 0.01%) и органическом веществе (до 2.4%), а также существенные вариации в значениях коэффициента битуминозности ($\beta_{\text{АХЛ}} = 0.6 \div 5.54\%$) и остаточного ОВ ($\text{ООВ} = 90.8 \div 98.9\%$) свидетельствуют о том, что формирование и

трансформация РОВ поверхностных осадков гидротермального поля Семенов происходит под влиянием различных факторов.

Распределение алифатических углеводородов в изученных поверхностных отложениях крайне неоднородно. Большинство карбонатных и металлоносных осадков характеризуются бимодальным распределением *n*-алканов (рис. 1, б) с явным преобладанием гидробионтной составляющей ($C_{15} \div C_{19} / C_{27} \div C_{31} = 1.35 \div 8.9$) преимущественно высокой степени зрелости ($OEP_{\leq n-C_{21}} \sim 1$, $CPI = 0.8 \div 1.9$). При этом для станции 277, находящейся в зоне влияния гидротермального флюида, соотношение нечётных и чётных гомологов резко меняется, что указывает на поступление в осадок свежего биогенного материала. Наличие ярко выраженного максимума в области $n-C_{23} \div n-C_{27}$, характерное для нескольких станций, может маркировать бактериальное происхождение ОВ, а также присутствие диатомовых водорослей [5].

Гораздо слабее представлена в осадках высокомолекулярная (гумусовая) компонента, степень преобразования которой ($OEP_{C_{27} \div C_{31}}$) варьирует от 1.25 до 2.59, что в первую очередь обусловлено интенсивными процессами биodeградации РОВ. Данный факт подтверждается также обнаружением в некоторых образцах заметных концентраций алкилциклогексанов (m/z 83), алкилбензолов (m/z 91) и в меньшей степени алкилциклопентанов (m/z 68), что одновременно со снижением содержания *n*-алканов может указывать на гипергенетическое преобразование РОВ [5].

Картина распределения гопановых углеводородов (m/z 191) в поверхностных осадочных отложениях гидротермального поля Семенов достаточно однообразна и характеризует РОВ региона, как биогенное, сильно преобразованное. Присутствие в большинстве проб хейлантанов и величины отношений $Ts/Tm \sim 0.5$ и $C_{30}/C_{29} > 1$, при соотношении стереоизомеров $C_{31} \div C_{33}$ $S/(S+R) \sim 0.6$ подтверждают это предположение. Особенностью гопанограмм некоторых металлоносных осадков является наличие биогенных $\beta\beta$ -гопанов, а также максимумов C_{35} гомогопанов, свидетельствующих о сильно восстановительных, анокисных условиях среды, в которых отлагалось бактериальное вещество и гидротермальных процессах сульфуризации ОВ - образования комплексов с серой [5].

Нужно отметить, что гопанограмма поверхностных осадков станции 333 кардинально отличается от других образцов, т.к. в её составе одновременно обнаруживаются хейлантаны и геогопаны диагенетического уровня зрелости ($C_{30}/C_{29} \sim 2$), $\beta\beta$ -гопаны и гомологический ряд алкилированных гопанов, маркирующих присутствие цианобактерий (рис. 2) [1]. Вклад свежего биогенного материала подтверждается для этой станции относительно низкими величинами показателей $Ts/Tm \sim 0.1$, $C_{31} \div C_{33}$ $S/(S+R) \sim 0.4$, а также наличием гаммацера, который считается продуктом преобразования тетрагиманола - компонента мембран простейших [5].

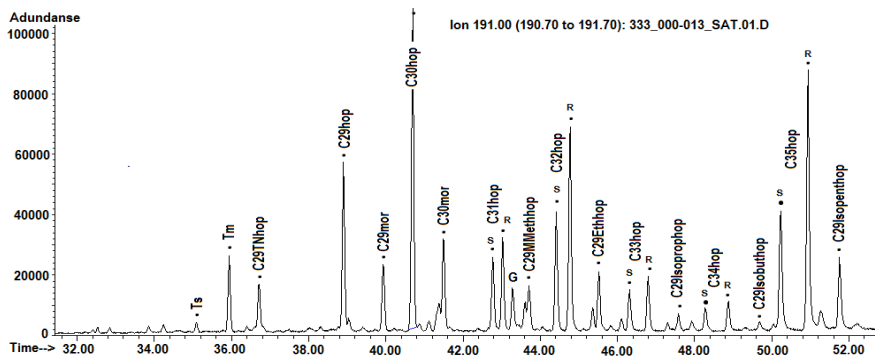


Рис. 2. Масс-фрагментограмма распределения гопановых углеводородов (m/z 191) в осадках станции 333

В то время как гопаны маркируют преимущественно бактериальный генезис ОВ (прокариотические организмы), стераны, являясь диагенетическими продуктами трансформации стеролов, указывают на эукариотические источники его происхождения (морские и лагунные водоросли, высшие растения).

Анализ масс-фрагментограмм стеранов изучаемых проб показал, что соотношения эпимеризованных, геологически устойчивых $\alpha\beta\beta$ (m/z 218) стеранов и менее устойчивых $\alpha\alpha\alpha$ -форм (m/z 217) составляет ~ 0.5 , при этом наличие во всех пробах прегнана, гомопрегнана и диастеранов, а также отношения стереоизомеров $C_{27}\div C_{29}$ (S/S+R) близкие к 0.5 подтверждают высокий уровень преобразованности РОВ. В целом, для большинства гидротермальных проб характерны высокие содержания C_{29} $\alpha\alpha\alpha R$ гомолога ($C_{27}/C_{29}\alpha\alpha\alpha R \ll 1$), что свидетельствует о значительном влиянии аллохтонного вещества на состав РОВ. Исключения составляют лишь уже отмеченные ранее станции 275, 277 и 333 ($C_{27}/C_{29}\alpha\alpha\alpha R \sim 1$), расположенные в зоне влияния гидротермального флюида, в осадках которых преобладает свежее биогенное ОВ.

Полиароматические углеводороды (ПАУ) отложений гидротермального поля Семенов по отношению к н-алканам являются минорной составляющей. Такая же тенденция отмечалась нами и для донных осадков гидротермального поля Ашадзе [4], но количественное их содержание для поля Семенов на порядок превышает ранее установленные значения ($\Sigma PAU \geq 2107$ нг/г, по сравнению с 90 нг/г). В составе ПАУ доминируют фенантрен и его алкилгомологи, также представлены триметил- и тетраметилгомологи нафталина, флуорантен, пирен, биснорабистан. Метилфенантеновый индекс, не превышающий для всех проб значения $MP11=0.40$, свидетельствует о диагенетической стадии зрелости вещества, а соотношение $Флу/(Флу+Пир) \leq 0.7$ о присутствии в составе РОВ

пирогенной составляющей. Её поступление в осадки может происходить за счёт размыва и переотложения более глубокопреобразованного вещества пород в условиях сложной гидродинамической обстановки региона.

Таким образом, анализ состава углеводородных маркеров поверхностных осадочных отложений гидротермального рудного поля Семенов показал, что наряду с типичными для пелагических областей Атлантики источниками поставки ОВ, для исследуемого региона характерно также наличие автохтонных источников ОВ, преимущественно бактериальной природы, развивающихся в основном в зоне распространения гидротермального флюида и определяющих специфику состава и свойств РОВ, дальнейшее преобразования которого во многом обусловлено физико-химическими особенностями гидротермальной среды рудного поля.

Авторы выражают благодарность Полярной морской геолого-разведочной экспедиции за предоставление для данной работы материалов, отобранных в рейсах НИС «Профессор Логачёв», финансировавшихся Федеральным агентством по недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brocks J.J., Summons R.E. Sedimentary Hydrocarbons. Biomarkers for Early Life // Treatise on Geochemistry. 2003. V. 8. P. 63-115.
2. Simoneit B.R.T. Petroleum generation in submarine hydrothermal systems: an update // Canadian Mineralogist. 1988. V. 26. P. 827-840.
3. Cherkashov G., Poroshina I., Stepanova T. et al. Seafloor Massive Sulfides from the Northern Equatorial Mid-Atlantic Ridge: New Discoveries and Perspectives // Marine Georesources and Geotechnology. 2010. V. 28. P. 222-239.
4. Моргунова И.П., Петрова В.И., Куршева А.В. и др. Углеводородные маркеры в осадочных отложениях гидротермальных полей Ашадзе-1 и Ашадзе-2 (13°с.ш., САО).
5. Peters K., Walters C.C., Moldowan J. The biomarker guide. Second edition. Cambridge University press. 2005. V. 2. P. 472-1155.

The distribution of hydrocarbon markers in the bottom sediments of the inactive hydrothermal ore field Semenov (13° N, MAR) was studied. Received results allowed to assume that the specificity of composition and properties of the dispersed organic matter are mainly due to the native autochthonous biological communities, which grow under the influence of hydrothermal environment.

Нерода А.С., Мишуков В.Ф., Горячев В.А.

(Тихоокеанский Океанологический Институт им. В.И. Ильичева aneroda@poi.dvo.ru)

Радиоактивные изотопы в составе атмосферных аэрозолей над Владивостоком в Марте- Июне 2011 г.

Neroda A.S., Mishukov V.F., Goryachev V.A.

(V.I.I'ichev Pacific Oceanological Institute)

Radioactive isotopes in atmosphere aerosols over Vladivostok in March- June 2011

Радияция является одной из форм энергии, которая естественным образом присутствует вокруг нас. Природные радионуклиды терригенного (К-40) и космогенного (Ве-7) происхождения, как правило, постоянно присутствуют в атмосферном воздухе в составе аэрозолей и поэтому не вызывают такого интереса, как искусственные радионуклиды, такие, как цезий-134 (Cs-134), цезий-137 (Cs-137) и йод-131 (I-131).

Помимо радионуклидов космогенного и терригенного происхождения, после аварии на Чернобыльской АЭС в окружающей среде в течение долгого времени присутствовал Cs-137. В момент аварии, концентрация Cs-137 в воздухе достигала 2 Бк/м^3 (5-6 мая 1986 года) и его выпадения на поверхность земли составляли 24 кБк/м^2 в районе Салоник, Северной Греции [1].

Следует отметить, что большая часть искусственных радионуклидов попала в атмосферу в результате испытаний ядерного оружия, проводимых США и СССР, в 1950-х и начале 1960-х годов, и в меньшей степени, от испытаний, проведенных Соединенным Королевством, Францией и Китаем.[2]

Последний крупный выброс продуктов деления искусственных радионуклидов произошел у восточного побережья Японии. 11 марта 2011г., в 14:46 по местному времени, произошло подводное землетрясение у восточного побережья острова Хонсю(Япония), которое вызвало сильное цунами, что явилось причиной радиационной аварии на АЭС Фукусима-1. В результате аварии на АЭС Фукусима-1 в атмосферу были выброшены радиоактивные элементы, включая радиоактивный йод – 131 и радиоактивный цезий – 134 и 137.

Обор проб начался 11 марта в 12:00 по местному времени, в пригороде г. Владивостока на ст. Чайка. С помощью японской установки (фирма Kimoto, Япония) по методике, апробированной в международной программе SEAREX [3] было отобрано 14 образцов проб. Атмосферные аэрозоли отбирались на кремний-волоконистые мембранные фильтры Pallflex. Объем прокаченного воздуха составлял в среднем - 3500 м^3 . Фильтры до и после прокачки доводились до постоянного веса в эксикаторе и затем взвешивались. По разности веса при известном объеме прокаченного

воздуха была определена концентрация пыли в атмосфере.

Гамма-спектрометрический анализ аэрозольных проводился в лаборатории ядерной океанологии ТОИ ДВО РАН им. В.И. Ильичева на гамма-спектрометре с детектором из сверхчистого германия GEM150.

На рис. 1 представлены результаты гамма-спектрометрического анализа образцов проб атмосферных аэрозолей.

Мы установили, что повышение концентрации атмосферных аэрозолей с 25 марта по 15 апреля от 121 мкг/м^3 до 330 мкг/м^3 сопровождается ростом концентрации радиоактивных изотопов, таких как, Cs-134, Cs-137 и I-131. В период с 18 марта по 8 апреля 2011г. концентрации Cs-137 и Cs-134 увеличиваются на два порядка от $1.0\text{E-}06 \text{ Бк/м}^3$ до $1.0\text{E-}04 \text{ Бк/м}^3$, концентрации I-131 так же резко повышаются от $3.0\text{E-}05 \text{ Бк/м}^3$ до $8.0\text{E-}04 \text{ Бк/м}^3$. Далее с 8 апреля по 6 мая 2011г. идет плавное понижение концентраций I-131, при повторном повышении концентраций с 20 по 27 мая 2011г до отметки $1.0\text{E-}04 \text{ Бк/м}^3$ для Cs-134. Изменчивость концентраций природных изотопов, таких как, Be-7, K-40 не превышает одного порядка в течении всего периода отбора проб.

Радионуклиды I-131 и Cs-137, Cs-134 вероятно адсорбировались на ядрах субмикронного размера в момент взрыва и были перенесены, под воздействием сильных западных ветров, от Японии в Тихий океан. Вскоре радиоактивные частицы достигли берегов США и Канады, а затем пересекли Атлантический океан и дошли до Европы. Период полураспада Cs-134 и Cs-137 достаточно долгий, поэтому эти радионуклиды могли, проходя через засушливые районы и районы с открытыми почвами на Азиатском континенте, связаться с пылью или каплями воды посредством коагуляции и вернувшись в регион Японского моря выпасть на поверхность воды или почвы.

Наши прошлые исследования показывают, что на формирование атмосферных аэрозолей около Владивостока в значительной степени влияет глобальный атмосферный перенос, который наблюдается в зимне-весенний период. В эти периоды происходит перенос атмосферных аэрозолей с запада и центральных районов азиатского континента. Этот глобальный атмосферный перенос дает вклад макроэлементов от природных источников (глины, земной коры и почвы) [4].

В результате корреляционного анализа между концентрациями радионуклидов и концентрацией атмосферных аэрозолей для первых 6 проб, было выделено 2 группы связей: Аэрозоль - Cs-134 - Cs-137- I-131, с коэффициентом корреляции от 0,7 до 0,9. Вторая группа объединила в себе радионуклиды природного происхождения.

На рис. 2 представлены 7- суточные обратные траектории движения воздушных масс к месту отбора проб в период максимальных концентраций Cs -134 и Cs-137, с 1 по 22 апреля 2011. Мы видим, что в этот период воздушные массы пришли к месту отбора проб через Сибирь и северо –

восточную часть КНР. С 15 по 22 апреля воздушные массы двигались от юго-западных берегов Аляски через Берингово и Охотское моря.

По данным Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды концентрации йода-131 ($I-131$) в атмосфере вблизи Владивостока (ст. «Садгород») за период с 26 марта по 31 марта составили в среднем $4,4E-04$ Бк/ m^3 . На 4 апреля показатели составили $4,5E-04$ Бк/ m^3 . Образцы проб атмосферных аэрозолей отбирались на ст. «Садгород» с использованием ВФУ «Тайфун-4», работающей в круглосуточном режиме. Гамма-спектрометрический экспресс-анализ суточных проб атмосферных аэрозолей проводился в региональной лаборатории мониторинга радиоактивного загрязнения.[5] Данные по другим радионуклидам отсутствуют.

На рис. 3 представлена связь между общим количеством осадков и концентрацией $Cs-134$ (и $Cs-137$). Увеличение общего количества осадков сопровождается уменьшением концентрации $Cs-134$ и $Cs-137$. Это говорит о том, что осадки играют важную роль в процессе самоочищения атмосферы от радионуклидов. $Cs-134$ активнее вымывается из атмосферы, чем $Cs-137$.

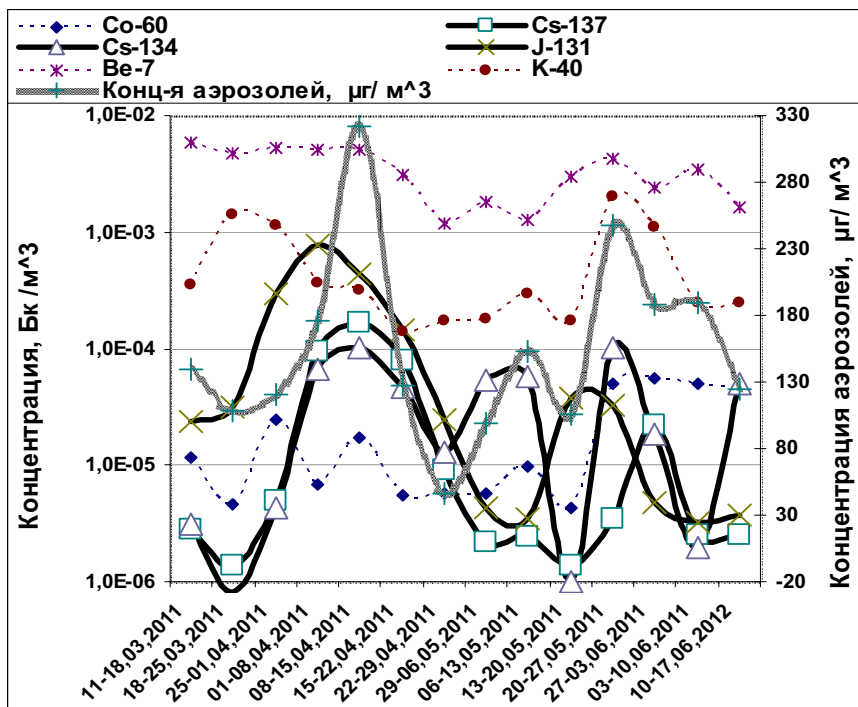


Рис. 1. Изменение во времени концентрации природных и антропогенных изотопов в атмосфере над г.Владивостоком($43^{\circ}20'14.04''$ в.ш и $131^{\circ}.92'73.82''$ з.д)(левая ось)и концентрации атмосферных аэрозолей(правая ось)

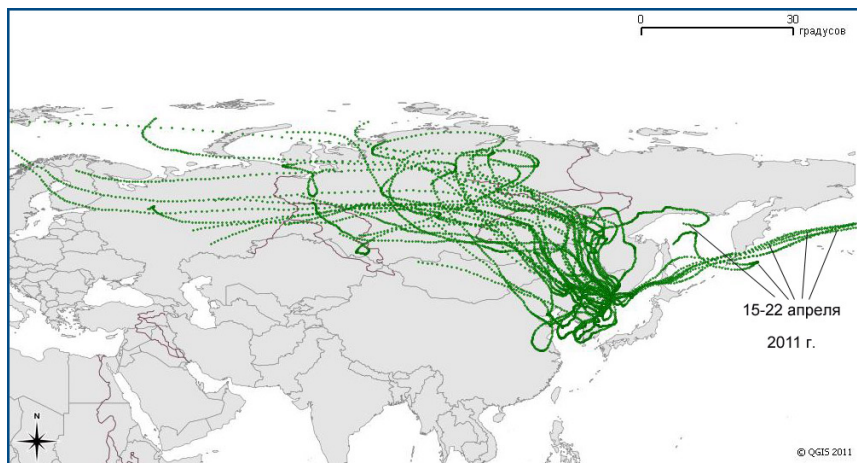


Рис. 2. Обратные траектории движения воздушных масс к месту отбора проб в период при максимальных концентрациях Cs-134 и Cs-137 (с 1 по 22 апреля 2011) (Синоптические данные <http://www.arl.noaa.gov/>)

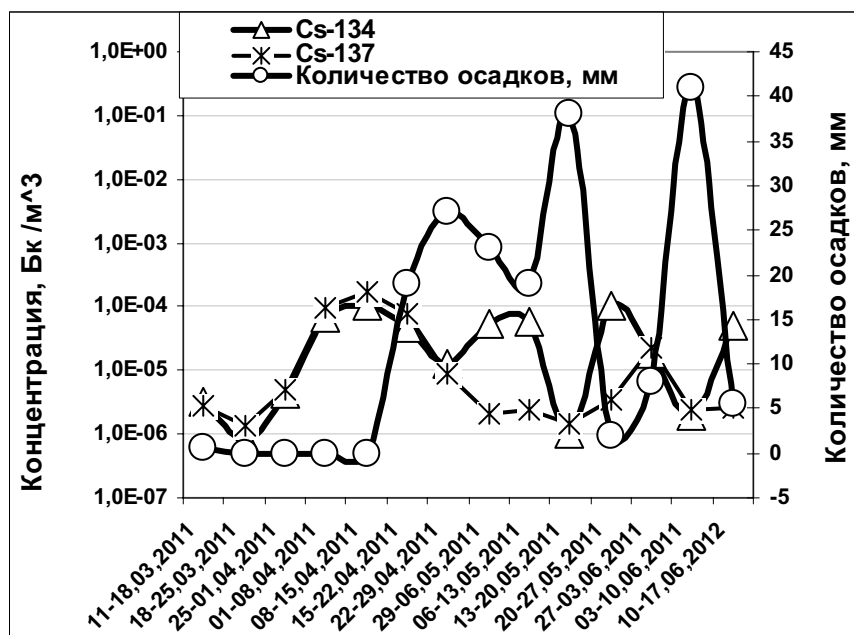


Рис. 3. Концентрации Cs -134 , Cs -137 (левая ось) и общее количество осадков за время отбора каждой пробы (правая ось)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Papastefanou C., Manolopoulou M., Charalambous S. Radiation measurements and radioecological aspects of fallout from the Chernobyl reactor accident // J. Environ. Radioact. 1988. V. 7. P. 49–64.
2. Harold L., Beck Monitoring Nuclear Fallout // Radioactive Air Sampling Methods. Ed. by Mark D. Hoover. CRC Press LLC. 2011. Chapter 18. P. 369-387.
3. 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. V. 88. P. 5343-5352.
4. Mishukov V.F., Medvedev A.N., Neroda A.S. Effects of natural and anthropogenic sources of elements on atmospheric environment near Vladivostok // Pacific oceanography. 2004. V. 2. N 2. P. 109-116.
5. Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. <http://www.primgidromet.ru>

Some results of study radioactive isotopes in atmosphere aerosols over Vladivostok of Russia. Atmospheric transport is one of the processes fundamental for the understanding of the environmental fate of pollutants. Some of these chemicals are subject to long-range transport.

Овсебян А.Э.

(Южный федеральный университет, геолого-географический факультет, Ростов-на-Дону, miricle@bk.ru)

Особенности накопления ртути в одном из элементов биогеохимического цикла – гидробионтах устья реки Северная Двина

Ossepyan A.E.

(Southern Federal University, Geology and Geography Department, Rostov-on-Don)

Features of the accumulation of mercury in one of the of the biogeochemical cycle elements – hydrobionts at the mouth of the Northern Dvina River

Арктические области Земли по сравнению с другими районами планеты и густонаселенными районами Российской Федерации в настоящее время остаются относительно чистыми. Однако в местах интенсивной хозяйственной деятельности в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) возникли экологические «горячие точки», в которых масштабы деградации окружающей среды достигли опасных значений, а уровни загрязнения существенно превышают допустимые нормы [1]. Эти вопросы рассматриваются на правительственном уровне РФ, разрабатываются и реализуются программы и инвестиционные проекты по ликвидации последствий прошлого экологического ущерба по приоритетным видам загрязнения территорий и акваторий АЗРФ, в том числе по снижению ртутного загрязнения [1].

Для бассейна Белого моря обозначен следующий ранжированный список приоритетных горячих точек: Кольский залив – Архангельск – Двинская губа – Кандалакшский залив – Онежская губа – Кандалакша – Соломбала – Коряжма – Северодвинск [1]. Устьевая область реки Северная Двина длительное время подвергалась воздействию сбросов сточных вод и выбросов крупных целлюлозно-бумажных комбинатов, в технологический цикл которых входила ртуть [2, 3, 4]. Несмотря на актуальность рассматриваемой темы, исследования в этой области весьма малочисленны, и не представляяют возможности на данный момент сложить ясное представление о сложившейся в регионе ситуации, в особенности для гидробионтов.

Регулярными комплексными исследованиями, призванными прояснить особенности накопления ртути в устьевой области Северной Двины с 2004 г. проводятся сотрудниками Южного федерального университета. За это время определены концентрации ртути в почвах, воде, донных отложениях, гидробионтах, дождевых осадках, снеговом покрове в «чистых» и импактных районах г. Архангельска и прилегающих территорий. Полученные результаты позволяют говорить об устойчивом уровне

загрязнения ртутью вод и донных отложений протоков и рукавов Северной Двины, протекающих через г. Архангельск и г. Новодвинск [4, 5].

С ноября 2009 г. проводятся исследования, целью которых является изучение содержания ртути в гидробионтах.

Всего отобрано порядка 37 проб тканей гидробионтов. Исследуемыми видами рыб являлись – сиг (*Coregonus lavaretus*), лещ (*Abramis brama*), камбала (*Platichthys flesus bogdanovi*), сибирская плотва (*Coregonus rutilus lacustris* (Pallas)), корюшка (*Osmerus eperlanus*) в 2009-м; и корюшка, плотва и окунь (*Perca fluviatilis* L.) в 2010-м, выловленные в дельте реки Северная Двина и Белом море (Северодвинск). Образцы отбирались из реки Северная Двина, её протоков и рукавов в районе г. Архангельск, в верховьях устьевой области, а также в Белом море – район г. Северодвинск.

Опробовались следующие ткани гидробионтов: мышцы, печень, жабры, жир. Отобранные образцы помещались в пробирку и консервировались 4%-ным раствором бихромата калия в концентрированной азотной кислоте.

Анализ на содержание ртути производился в лаборатории Южного федерального университета с применением атомно-абсорбционной спектроскопии в холодном паре.

Содержание ртути в рыбе, выловленной в устьевой области р. Северной Двины в 2009 г., изменялось в пределах 0,105 – 0,765 мкг/г, в среднем составив 0,29 мкг/г.

При анализе образцов отдельных органов и тканей на содержание ртути были получены следующие результаты. Наибольшие количества ртути обнаружены в печени рыб. В частности, концентрации ртути в печени леща и корюшки составляют 0,33 мкг/г, сига – 0,76 мкг/г. Относительно низкие концентрации выявлены в жабрах исследованных рыб. Так, в жабрах леща концентрации ртути составили 0,2 мкг/г, корюшки – 0,15 мкг/г, сига – 0,18 мкг/г. Имеющиеся данные позволяют выстроить следующие ряды ранжирования содержания ртути в отдельных органах и тканях рассматриваемых видов рыб устьевой области реки Северная Двина:

лещ	печень>жабры>мышцы
сиг	печень>мышцы>жабры
корюшка	мышцы>печень>жабры
плотва	жир>мышцы
камбала	печень>мышцы
мышцы	корюшка>сиг>лещ
печень	сиг>лещ>корюшка
жабры	сиг>лещ>корюшка

Из всего массива данных максимальные концентрации обнаружены в печени сига (0,76 мкг/г), выловленного в районе о. Кумбыш, минимальные – в мышцах леща (0,1 мкг/г), выловленного в Никольском рукаве.

Для 2010 года характерно следующее: содержание ртути в рыбе, выловленной в ходе исследований, изменялось в пределах 0,009 – 0,11, в

среднем составив 0,045 мкг/г. Наибольшие количества ртути обнаружены в печени рыб. В частности, концентрации ртути в печени корюшки, отловленной в Белом море, составляют 0,065 мкг/г, а сороги, пойманной в Трепузово – 0,095 мкг/г. Относительно низкие концентрации выявлены в мышцах исследованных рыб. Так, в мышцах сороги концентрации ртути составили 0,023 мкг/г, корюшки – 0,051 мкг/г, сига – 0,038 мкг/г. Имеющиеся данные позволяют выстроить следующие ряды ранжирования содержания ртути:

сорога	печень ≈	жабры >>	мышцы
корюшка	печень >	жабры >	мышцы
окунь	печень ≈	жабры >	мышцы
печень	корюшка	> сорога >	окунь
жабры	сорога >	корюшка >	окунь
мышцы	корюшка	>> сорога =	окунь

Из всего массива данных максимальные концентрации обнаружены в жабрах сороги (0,11 мкг/г), выловленной в Соломбалке, минимальные – в мышцах сороги (0,009 мкг/г), выловленной в Трепузово. Отметим, что все исследуемые виды гидробионтов, кроме окуня, являются мирными. Повышенные концентрации ртути в жабрах выловленной в Соломбалке рыбы, по-видимому, связана с сильным загрязнением протоки и, вследствие этого, накоплением загрязняющих веществ на фильтрующих органах гидробионтов. Здесь отмечаются повышенные концентрации ртути во взвеси [4, 5], что приводит к её улавливанию и накоплению в жабрах. Резкое превышение содержания ртути в печени над другими тканями в пункте деревня Трепузово объясняется, скорее всего, наличием в воде высоких концентраций ртути и сравнительно небольшим возрастом рыбы.

Анализируя частоту встречаемости различных концентраций ртути в рыбе отметим, что в 2009-году в 62,5 процентах случаев содержание ртути не превышало ПДК, равных 0,3 мкг/г для мирных видов [6]. В 2010-м году предельно допустимые концентрации не превышены нигде.

Отобранные виды гидробионтов в пищевой цепочке занимают место консументов первого порядка, и, скорее всего, определяющим фактором имеющейся картины распределения ртути явился возраст и размер исследованных образцов. В целом характерно следующее распределение ртути: наибольшее количество обнаружено в тканях сига, корюшки, далее, по убывающей, следуют плотва и лещ. Эти данные в целом не противоречат более ранним результатам других авторов, в частности исследователями [7] выявлено превышение допустимых норм содержания ртути в мышцах леща, выловленного из р. Северная Двина в зоне влияния стоков Архангельского ЦБК. Кроме того, на загрязненных участках реки наблюдалось снижение биомассы фитопланктона в 3 раза, зоопланктона - более чем в 2,5 и зообентоса - в 10 раз по сравнению с данными середины XX века. Также следует упомянуть, что ранее в исследуемом районе наблюдались случаи

экстремально высоких концентраций ртути в воде и донных отложениях [2, 3]. При сравнении полученных автором результатов с имеющимися в литературе данными по содержанию ртути в рыбах водных экосистем циркумполярного Арктического региона (рис. 1), видим, что содержание ртути в гидробионтах устьевой области р. Северная Двина находится на уровне, сравнимом с гидробионтами рек Аляски и Канады, значительно ниже аналогичных характеристик для рек Финляндии (в 2 раза). В тоже время, эти значения практически в 4 раза превышают концентрации ртути в рыбах относительно чистых, удаленных от крупных промышленных объектов районов Чукотки и Таймыра.

Наибольшие концентрации ртути выявлены в печени рыб, что также свидетельствует о недостаточно благоприятной экологической ситуации.



Рис. 1. Содержание ртути в мышцах пресноводных рыб рек бассейна Северного Ледовитого океана (составлен автором по обобщенным данным [8])

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов Президента РФ МК-1453.2011.5., НШ-8030.2010.5, Г/к № 02.740.11.0334, РФФИ (проект №

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегическая программа действий по охране окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации / Одобрена Морской коллегией при Правительстве Российской Федерации (протокол совещания от 19 июня 2009 г. № 2 (11), раздел I, пункт 2).
2. Оленичева А.В. Об опыте работы Северного УГМС по обследованию районов экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) природной среды // Информационное письмо СУГМС №1 (164). Архангельск, 1997. С. 17-22.
3. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Колесниченко Н.Н. Проблемы качества поверхностных вод в бассейне Северной Двины. М.: Наука, 2003. 233 с.
4. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Коробов В.Б. Особенности распределения, миграции и трансформации ртути в водах устьевой области р. Северная Двина // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 85-92.
5. Ртуть в устьевой области реки Северная Двина / А.Э. Овсепян, Ю.А. Федоров. Ростов-на-Дону – Москва: ЗАО «Ростиздат», 2011 г. 198 с.
6. Овсепян А.Э. Особенности накопления ртути гидробионтами устьевой области реки Северная Двина // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Международного симпозиума. М.: ГЕОХИ РАН, 2010. С. 300-304.
7. Экологическое состояние рыбохозяйственных водоемов России / Госдоклад. <http://www.ecocom.ru/Gosdoklad/Section5.htm>, 2004.
8. AMAP Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programm (AMAP) report, Oslo, 2005. 265 p.

The content of mercury in one of the elements of the biogeochemical cycle of this metal in the mouth of the Northern Dvina River – water organisms are investigated. The key features of the accumulation of mercury in fish tissue identified. Comparative analysis of world data realized.

**Пересыпкин В.И.¹, Смуров А.В.², Лобус Н.В.³,
Шульга Н.А.¹, Банг Ч.В.⁴**

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, peresyppkin@ocean.ru,
²Музей земледения МГУ им. М.В. Ломоносова, ³Институт биологии внутренних
вод им. И.Д. Папанина РАН, ⁴Российско-Вьетнамский тропический научно-
исследовательский и технологический центр, Приморское отделение (Вьетнам,
Нячанг)

**Состав органического вещества донных осадков на разрезе
река–море в заливе Нячанг (Южно-Китайское море, 2010 г)
Peresyppkin V.I.¹, Smurov A.V.², Lobuc N.V.³, Shulga N.A.¹,
Bang Ch.V.⁴**

¹Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; ²Earth Science Museum of MSU,
³Institute of Biology of Inside Water RAS, ⁴Joint Russian-Vietnamese Tropical Research
and Development Center)

**Composition of organic matter in sediment on the cut of the
river - sea in the gulf Nha Trang (South China Sea, 2010)**

Залив Нячанг, расположенный в провинции Кхань Хоа, занимает площадь около 500 кв. км. Привлекательность залива связана с разнообразием коралловых рифов [1], состояние которых в настоящее время оценивается как весьма неблагоприятное [2, 3]. На севере в залив впадает одна из самых полноводных во Вьетнаме р. Кай, несущая с водами большое количество взвеси и органических веществ (ОВ) различного генезиса, осаждающихся в заливе [5]. В последнее время антропогенный пресс на экосистему залива значительно увеличился в связи с интенсивным развитием курортной и туристической индустрии. Поэтому изучение биогеохимических процессов происходящих в системе река-море и мониторинг состояния прибрежных экосистем залива Нячанг имеют здесь большое научное и прикладное значение.

Целью настоящего исследования явилось исследование состава и генезиса органического вещества (ОВ) в верхнем слое донных осадков р. Кай, ее эстуария и в мористой части залива Нячанг (рис. 1). Пробы донных осадков были отобраны в ходе экспедиции по теме «Биоразнообразие и структурно-функциональная организация морских прибрежных экосистем» (май-июль 2010 г.) в заливе Нячанг и водосборном бассейне р. Кай. Такие работы были проведены впервые, поскольку детальных исследований ОВ в донных осадках этого района вьетнамскими коллегами до нас не проводились.

Пробы донных отложений отбирали стратометром (на станциях реки и эстуария) или в процессе водолазного погружения (глубоководные станции залива), помещали в контейнеры и транспортировали в термоконтейнерах при температуре 5-10°C. В лаборатории грунты разделялись на две части.

Осадки, предназначенные для определения углеводов высушивали в сушильном шкафу при 60°C. Количественное определение органического углерода в донных отложениях проводилось на анализаторе TOC 5000-V-CPH «Shimadzu-Europe». Экстракты углеводов анализировались на газовом хроматографе GC-2010 фирмы «Shimadzu» Японии [4].

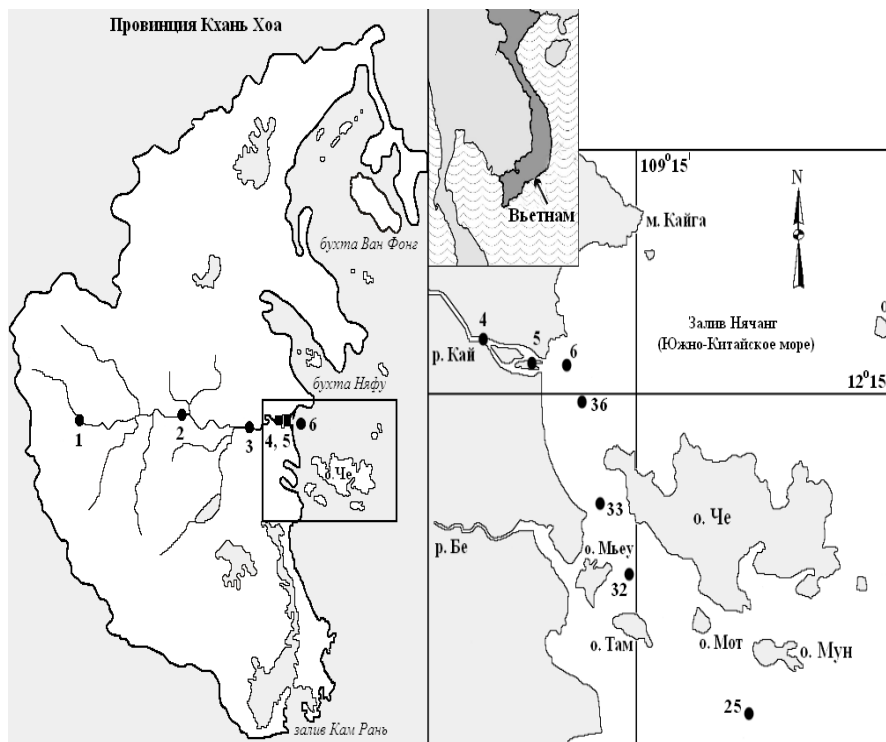


Рис. 1 Карта-схема района исследований с точками отбора проб донных осадков

Содержание $C_{\text{орг}}$ в донных осадках разреза довольно мозаично и изменяется в пределах $0.03 \div 1.95\%$. Минимальные концентрации $0.03\text{--}0.04\%$ отмечены в речных крупнозернистых терригенных песках в верхнем и среднем течении р. Кай (ст. 1, 2), увеличиваясь в заиленных песках по приближению к эстуарию – $0.73 \div 0.92$ (ст. 3-6) и достигают максимальных величин (до 1.95%) в пелитово-алевритовых илах залива (ст. 33, 32). Такие концентрации характерны для сравнительно небольших заливов, где идет постоянный сброс биогенного и терригенного ОВ из реки в осадки и его быстрое захоронение. Малая величина $C_{\text{орг}}$ в речных пробах объясняется тем, что ОВ плохо сорбируется на крупнозернистых поверхностях осадка и

выносятся течениями в более глубоководную часть залива.

Представление о генетическом разнообразии состава ОВ отложений дает распределение биомаркеров – *n*-алканов. Концентрации *n*-алканов низкие и колеблются в пределах – $0.65 \div 4.82$ мкг/г воздушно-сухого осадка. Анализ хроматограмм и групповое распределение *n*-алканов позволило выявить три основных генетических типа ОВ, тесно связанных со спецификой осадконакопления и гидродинамикой данного района исследований. Характер распределения УВ в донных осадках напрямую зависит от этих типов и пространственного размещения станций. Состав УВ здесь определяется характером исходного органического материала – биомассы планктона, водорослей, бактерий и терригенных растительных остатков.

ОВ - I типа, образованное остатками гидробионтов и фитопланктона, узко локально и наблюдается на станциях (1, 2) расположенных в верхнем и среднем течении реки Кай (рис. 2). Состав УВ этих проб характеризуется одномодальным распределением *n*-алканов с максимумами в области C_{12} – C_{22} - липиды фитопланктона, бактерий и гидробионтов. В сумме распределения *n*-алканов доминирует фракция короткоцепочечных C_{10} – C_{22} , составляющая более 95%. Об этом также свидетельствуют высокие величины отношения $\Sigma C_{10}-C_{22} / \Sigma C_{23}-C_{36}$ в пределах $23.7 \div 35.9$. В нижнем течении (ст. 3) в составе ОВ увеличивается доля терригенных соединений, поступающих от наземной растительности (до 36%) и характер распределения становится бимодальным (рис. 2).

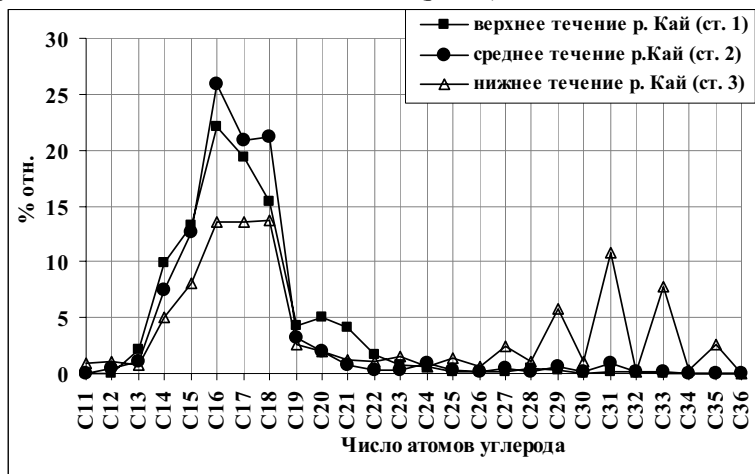


Рис. 2. Распределение *n*-алканов в донных осадках реки Кай

ОВ - II типа, смешанное планктоногенно-терригенное (ст. 4-25), приурочены к эстуарию и типично морским осадкам залива. Здесь состав УВ определяется количеством речного зоопланктона и его массовой гибелью в зоне смешения речных и морских вод, а также поставкой с

водами реки значительного количества терригенного ОБ, о чем свидетельствует присутствие в распределении *n*-алканов максимумов в области C₂₉–C₃₁.

В эстуарии реки и в заливе распределение *n*-алканов сохраняется бимодальным, но соотношение низкомолекулярных и высокомолекулярных гомологов $\Sigma C_{10}-C_{22}/\Sigma C_{23}-C_{36}$ находится в пределах 1.91 ÷ 4.82, что говорит о примерно равном поступлении биогенного морского и терригенного материала в воды реки (рис. 3, 4).

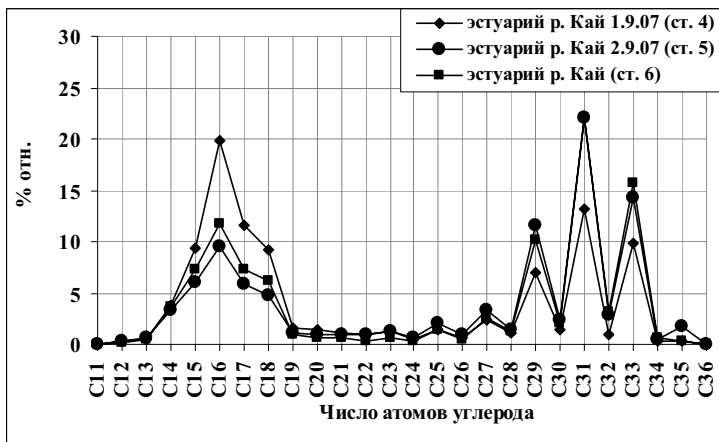


Рис. 3. Распределение *n*-алканов в эстуарии реки Кай

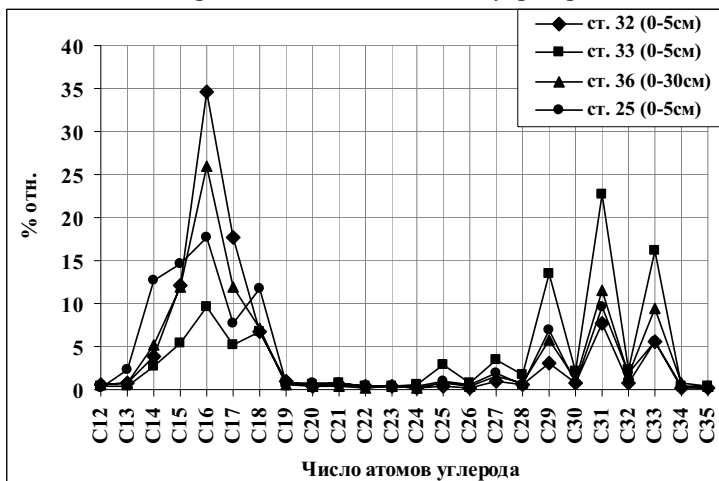


Рис. 4. Распределение *n*-алканов в морских осадках залива Нячанг
Молекулярный и групповой состав *n*-алканов в донных отложениях полигона позволил выделить два типа ОБ – морского и смешанного. Все

типы ОВ тесно связаны со спецификой осадконакопления и гидродинамикой вод данной акватории.

На некоторых станциях выявлено наличие антропогенного загрязнения донных осадков нефтепродуктами и другими органическими соединениями, связанное с промышленными стоками города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латыпов Ю.Я. Состав и распределение склерактиний на рифах провинции Фукхань (Южный Вьетнам) // Биология моря. 1982. № 6. С. 3–12.
2. Смуров А.В., Павлов Д.С. Современное состояние прибрежных коралловых рифов южного Вьетнама (залив Нячанг) – как возможное следствие загрязнения диоксинодержущими рецептурами. В сборнике серии "Диоксины суперэкоотоксиканты XXI века", выпуск 8 - "Отдаленные последствия применения оранжевого агента/диоксида армией США во Вьетнаме: проблемы общей и тропической экотоксикологии.". М. ВИНТИ, Российско-Вьетнамский тропический Центр, ИПЭЭ РАН. 2003. С. 173–187.
3. Павлов Д.С., Смуров А.В., Ильяш Л.В., Маторин Д.Н., Клюев Н.А., Котелевцев С.В., Румак В.С., Смурова Т.Г. Современное состояние коралловых рифов залива Нячанг (Южный Вьетнам) и возможные причины неблагополучия среды обитания склерактиний // Биология моря. 2004. Т. 30. № 1. С. 60–67.
4. Пересыпкин В.И. «Геохимия лигнина в Мировом океане» Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. М.: ОНТИ ГЕОХИ РАН. 2006. 52 с.
5. Пересыпкин В.И., Смуров А.В., Шульга Н.А., Сафонова Е.С., Смурова Т.Г., Банг Ч.В. Состав органического вещества воды, взвеси и донных осадков залива Нячанг (Вьетнам, Южно-Китайское море) // Океанология. 2011. Т. 51. № 6. С. 1–11.

Research was conducted in Nha Trang Bay (southern Vietnam, South China Sea) on the cut from the river, estuary to Cai, seaward of the bay, as well as in areas. Object of study is a river bottom sediments and sea sediment. Molecular and group composition of n-alkanes in sediment landfill allowed identifying three types of organic matter (OM): planktonogenic, mixed and preliminary terrigenous origin.

Петрова В.И.

(Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга, С-Петербург, petrovavi@mail.ru)

Молекулярная геохимия рассеянного органического вещества (РОВ) донных осадков Мирового океана: достижения и перспективы

Petrova V.I.

(Academician I.S. Gramberg All-Russia Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean St.-Petersburg)

Molecular geochemistry of organic matter of the bottom sediments of the World Ocean: achievements & prospects

Прогресс в освоении минеральных ресурсов Мирового океана напрямую связан с совершенствованием инструментов познания процессов их формирования. Одним из ключевых направлений в данной области знаний является изучение рассеянного органического вещества (РОВ), которое, как неотъемлемый компонент геосферы, участвует во всей совокупности процессов осадконакопления в Мировом океане. Прочно связанное с минеральными частицами РОВ проходит с ними весь путь от зоны иммобилизации до бассейна конечной седиментации, кодируя в своей молекулярной структуре геологическую судьбу осадочного материала.

Изучение особенностей распределения молекулярных маркеров в составе рассеянного органического вещества донных осадков и осадочных пород в последнее время стало одним из стратегических направлений развития органической геохимии. Вариации молекулярного состава РОВ по стратиграфическому разрезу способствуют пониманию долгопериодных изменений в глобальном цикле углерода, отражая особенности структуры керогена. При этом эндогенные и экзогенные процессы могут проявляться в искажении молекулярных профилей, типичных для данной зоны осадконакопления вне влияния дополнительных факторов, что позволяет использовать полученную информацию для *ресурсных прогнозов* или определения временных и пространственных *границ техногенеза*.

Идея и цель исследования заключается в установлении закономерностей распределения молекулярных маркеров в донных отложениях различных геоструктурных зон Мирового океана в контексте общих геохимических закономерностей преобразований РОВ и выявлении их индикаторных функций.

В основе данного обобщения лежат материалы многолетних (1970-2008 гг.) геолого-геохимических исследований ВНИИОкеангеология, сформированные в электронную базу данных. Масштаб экспедиционных работ (региональный, субрегиональный, локальный) и широкий спектр аналитических методов исследования (битуминологических, физико-

химических, хромато-масс-спектрометрических) позволил охарактеризовать РОВ позднечетвертичных отложений и определить основные факторы, контролирующие формирование геохимического фона различных литолого-фациальных зон: от эстуарно-дельтовых до абиссальных.

Полученные результаты наглядно свидетельствуют, что исследование состава РОВ на уровне молекулярных структур позволяет оценить дифференциальный вклад различных источников осадочного материала - терригенных и аквагенных, современных и древних, а также пути их поступления, условия седиментации и трансформации в геосфере. Наряду с этим, изучение молекулярных маркеров актуально при проведении палеорекопструкций, особенно в районах, где возможность микропалеонтологической стратификации осадочных отложений ограничена.

В качестве специфических молекулярных маркеров, наследующих строение углеродного каркаса и особенности стереохимии живой клетки, могут выступать углеводороды алканового ряда (нормального и изостроения), насыщенные цикланы (сескви-, ди-, тритерпеноиды), ароматические цикланы. Индикаторными свойствами обладают также полиароматические углеводороды, позволяющие дифференцировать ОБ биогенного, нафтидогенного и пирогенного генезиса.

Современный уровень развития аналитической техники обеспечивает не только высокую достоверность и прецизионность получаемых данных, но и позволяет перейти на новую информационную ступень, когда в качестве реперов могут выступать не только группы соединений, но и *индивидуальные молекулярные таксоны*.

Анализ распределения молекулярных биомаркеров в позднечетвертичных осадках Евразийского сектора СЛО позволил выявить литолого-фациальные особенности их латерального распределения и состава. Так, в речных и эстуарных осадках гоопаны и геостераны практически отсутствуют, и фиксируются лишь компоненты, характерные для самой ранней стадии трансформации биогенного ОБ (гопанолы, гопены, стеролы). Более того, в них идентифицированы хемотаксоны, маркирующие специфические виды высшей наземной растительности – D-фридоолеан-14-ен (род *polipodium*) и олеан-12-ен (отдел *angiosperms*), отсутствующие в шельфовых и глубоководных осадках. В шельфовых осадках в составе терпеноидов присутствуют как био-, так и геотаксоны, однако состав последних свидетельствует о низком уровне преобразования РОВ, соответствующем раннему диагенезу. На это указывают значения гопановых коэффициентов зрелости (Ts/Tm , $22S/22S+22R$ C_{31}), а также отношение $Te/Tm+Ts$, отражающее относительную долю биогенных компонентов. В направлении пелагиали, в осадках континентального склона доля биотаксонов закономерно снижается, а в абиссальной зоне вообще не фиксируется. В составе ароматических биомаркеров в изученных

осадках были идентифицированы ретен, тетрагидроретен, дегидроабитан, продукты трансформации абитанов, содержащихся в смолах хвойных растений, и кадален, который является маркером высших наземных растений, преимущественно покрытосеменных. В ходе диагенеза происходит последовательная ароматизация абитанов с образованием моно- (дигидроабитаны), ди – (тетрагидроретен) и триароматических структур с ретенным скелетом, конечным продуктом в ряду которых является фенантрен. Соответственно, относительное содержание этих структур может быть использовано, как показатель интенсивности диагенеза. Аналогичным показателем может служить отношение тетрагидрохризенов - продуктов деструкции α - и β -амиринов, маркеров восков высших растений, и конечного продукта их трансформации – хризена. В направлении пелагиали в целом отмечается последовательный рост ароматизации таксонов, отражающий глубину диагенетической трансформации РОВ. Интересно отметить, что содержание кадалена, маркирующего относительно теплолюбивую покрытосеменную флору, резко снижается в северном направлении и не выходит за пределы эстуарной зоны. Прямая аналогия с распределением в этих осадках олеаненов, позволяет говорить о корректности применения данного соотношения для палеореконструкций.

Примером подобных исследований на арктическом шельфе может служить реконструкция позднекайнозойского осадконакопления, проводившаяся в ходе комплексного изучения керна неглубоких (12 м) скважин на акватории Чукотского моря и включавшая сейсмоакустические, палеомагнитные, литолого-минералогические, биостратиграфические, радиоуглеродные и органо-геохимические исследования. Геохимическая характеристика РОВ осадочных отложений верхней части разреза соответствовала фоновым показателям для терригенно-морских голоценовых отложений арктического шельфа. Нижняя часть разреза характеризовалась резким изменением его группового и молекулярного состава. В последнем доминирующими компонентами в составе терпеноидов являлись олеан-18-ен и D-фридоолеан-14-ен, специфические таксоны высших наземных растений самой ранней стадии трансформации. В составе ароматических биомаркеров были зафиксированы кадален и ретен. При этом кадален присутствовал лишь в нижней части разреза в интервалах, предположительно приуроченных к климатическому оптимуму. Параллельно возрастало содержание ретена, достигая максимальных значений в прослоях, характеризующихся наиболее высоким содержанием споро-пыльцевых таксонов голосеменных растений. В этом же интервале наблюдалось повышенное содержание перилена, полиароматического углеводородного маркера, характерного для РОВ осадков мелководных акваторий, формирующегося на стадии раннего диагенеза в восстановительных условиях осадконакопления. Данные споро-пыльцевого

анализа подтвердили, что верхняя часть разреза формировалась в условиях преобладания лесотундрового и тундрового типов растительности. Формирование нижней части разреза происходило в условиях преобладания относительно теплолюбивой смешанной хвойно-широколиственной растительности. В результате была определена последовательность аллювиальных, аллювиально-морских и морских фаций в плиоцен-голоценовой истории осадконакопления.

Таким образом, сравнительное изучение молекулярного состава РОВ разнофациальных кайнозойских отложений арктического мегабассейна позволяет оценить вклад различных источников (речной сток, турбидитные потоки, океанские вдольсклоновые течения, субаквальный размыв и переотложение коренных пород) в формирование рыхлого осадочного чехла. В частности, в результате проведенных исследований была показана ведущая роль терригенного материала для позднекайнозойских осадков шельфа и глубоководной части арктического бассейна, включая зону Северного полюса. Наряду с этим, комплексный анализ органо-геохимических, литолого-минералогических характеристик осадочных отложений дал возможность надежно выделить и охарактеризовать гляциально-дегляциальные этапы осадконакопления в позднем кайнозое.

В заключение следует отметить, что накопленная в ходе многолетних исследований обширная фактологическая база и её теоретическое осмысление открывают широкие перспективы для решения как практических, так и академических задач. К первым могут быть отнесены, в частности, геохимическая съёмка на нефтегазоперспективных акваториях и оценка экологических последствий разработки углеводородных залежей. Исследование генезиса углеводородов и их роли в процессах глубиной миграции (зоны гидротермальной активности, грязевой вулканизм) могут внести определённый вклад в развитие теории нафтидогенеза.

The investigation purpose and idea is to determine the distribution patterns of hydrocarbon molecular markers in the sediments of different geostructural areas of the Eurasian Arctic megabasin in a context of general geochemical ways of dispersed organic matter (DOM) transformation and to identify their indicator functions.

Розанов А.Г., Черевко И.В.

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

**Исследование химического обмена на границе вода-дно
(опыт участия в шведской экспедиции с лендерами)**

Rozanov A.G., Cherevko I.V.

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

**Study of chemical exchange on the bottom water-sediment
interface (case-study in the Swedish expedition with landers)**

Проблема химического обмена на границе вода-дно охватывает многие аспекты поступления, рециклинга и баланса вещества в морской воде и донных отложениях. Наряду с косвенными методами оценок в настоящее время появляются прямые методы измерений потоков химических элементов через поверхность осадков. В конце прошлого века для этих измерений стали создаваться автоматизированные донные станции лендеры, и шведы были одними из первых, кто применил лендеры в океанских исследованиях [1]. В Институте океанологии в это же время измерения химических потоков начинались путем проведения боксовых экспериментов с участием водолазов-ныряльщиков [2]. Десять лет назад в Институте океанологии РАН был испытан и введен в эксплуатацию первый российский лендер [3], наработки и совершенствование которого продолжаются [4, 5]. Принципиальная схема боксовых экспериментов и экспериментов с лендером состоит в постановке на морском дне изолированных инкубационных камер (боксов) с придонной водой, находящейся в контакте с поверхностью осадков. Изменение концентраций химических компонентов внутри боксов, фиксируемое путем периодического отбора проб, является мерой обмена этими компонентами между придонной водой и осадками. Летом 2011 г по приглашению профессора Гетеборгского университета Пера Халья в шведскую экспедицию с применением лендеров в шельфовой зоне был откомандирован магистрант МГУ И.В. Черевко, выполняющий магистерскую работу в Институте океанологии под руководством А.Г. Розанова. Целью поездки в шведскую экспедицию на НИС «Скагерак» было ознакомление с новыми подходами и аппаратурой, используемой в экспериментах, и участие в проведении измерений некоторых параметров обмена, в частности элементов карбонатной системы.

По известным оценкам в прибрежной зоне, занимающей 10% площади Мирового океана, создается 30% всей первичной продукции (ПП) органического вещества (ОВ), из которой почти 50% осаждается на шельфе. Поэтому вопросы рециклинга ОВ, имеющие не только фундаментальное, но и большое экологическое значение, были поставлены в одну из задач, решаемых в экспедиции. ОВ, основным продуцентом которого является

фитопланктон, играет ведущую роль в формировании потоков биогеохимического обмена в поверхностном слое донных осадков. Общая тенденция тем большего захоронения ОВ, чем больше скорости осадконакопления осложняется вариациями качественного состава осадочного материала. Например, поступление свежего фитодетрита вызывает повышенное потребление кислорода и более глубокие преобразования неорганических компонентов осадка. Особые условия создаются во фиордах, занимающих краевую часть западного шельфа Швеции, где проходила экспедиция. Исследования проходили в Бифиорде и фиорде Кальо, которые глубоко врезаются в континент (до 30 км), но сохраняют при этом активный обмен с морем (пролив Каттегат).

Методы исследования химического обмена включают обширный комплекс физических, биогеохимических и геологических подходов и измерений параметров, обуславливающих трансформацию ОВ в поверхностном слое донных отложений. Непременным фактором этих подходов является оценка гидрологических условий района работ, включающая структуру и скорости течений, влияние приливов, сезонные характеристики температуры и солености. Среди химических условий придонной воды преобладающее влияние имеет насыщенность придонной воды кислородом, которая в проливе Скагерак практически не зависит от сезона. Обильная макрофауна представлена пассивными фильтраторами, в частности офиурами, полихетами (до 10000 организмов на м²). Скорость осадконакопления, оцениваемая по ²¹⁰Pb, в прибрежном шельфовом районе достигает 1 см в год.

Шведские лендеры последнего поколения содержат несколько инкубационных камер, снабженных перемешивающими устройствами, имитирующими гидродинамику придонного слоя. Лендер снабжен оптическими датчиками кислорода (оптодами) внутри камер и снаружи, доплеровским измерителем течений RCM, а также датчиками температуры, давления, электропроводности, мутности и батометром Нискина, устанавливаемыми снаружи. Снаружи в верхней части лендера монтируются две седиментационные ловушки, которые перед постановкой заполняются охлажденным концентрированным солевым раствором, не содержащим ядов или консервантов. Практически всё оборудование поставляется норвежской фирмой Aanderaa. Всплытие лендеров на больших глубинах обеспечивается применением синтактика. В описываемом рейсе на меньших глубинах лендеры поднимались с помощью судовой лебедки.

Применение оптодов существенно улучшило и расширило представления о динамике кислорода в процессах окисления ОВ поверхностного слоя осадков. Линейный ход уменьшения кислорода в камерах и соответствующее увеличение общего углерода позволяет рассчитать потоки этих компонентов. Но следует учесть также, что не только кислород является окислителем ОВ. Шведы пытаются учитывать

влияние нитратов, в наших оценках впервые появились данные о влиянии окисленных форм железа, марганца и сульфатов. Кроме того расход кислорода на окисление ОВ зависит от его состава (липиды, углеводы). С другой стороны не только окисление ОВ увеличивает содержание общего неорганического углерода (C_T) в камерах. Осадки содержат карбонаты, выделяющие при растворении в ходе инкубации карбонатные ионы, которые, по некоторым данным увеличивают C_T от 10 до 50%. Проведение корректирующих исследований и экспериментов существенно увеличивает правильность результатов. К их числу относится учет влияния резиновых и пластиковых прокладок в применяемом инструментарии на концентрацию растворенного органического вещества в камерах. Шведы независимо от лендра проводят анализ иловых вод, который по соотношению химических компонентов позволяет отдельно оценить диффузионный механизм переноса химических компонентов от переноса в результате биотурбации и биоирригации.

Наряду с исследованиями придонной воды снаружи и внутри камер исследования химического обмена предполагают детальную обработку осадков, которые из района постановки лендеров доставлялись с помощью бокскорера. Из верхней части бокскорера над осадком отбиралась придонная вода, которая после фильтрации (0.45 мкм) подвергалась химическому анализу, а керны из нижней части переносились в помещение с температурой близкой к *in situ*, где с помощью специального устройства производилась разделка осадка на слои толщиной 0.5-2 см. Иловая вода отделялась на центрифуге (200 об/мин в течение 20 мин), фильтровалась и подвергалась анализу на борту (C_T) или оставлялись после заморозки (-20°C) для дальнейшей обработки в стационарных лабораториях. Органический и неорганический углерод, ^{210}Pb и другие компоненты будут определяться из сухих проб на берегу. Оценки реакционной способности ОВ осадков по содержанию хлорофилла, который определяется флюориметрически из замороженных проб осадков после экстракции этанолом и фильтрации, также делается в береговой лаборатории сразу после рейса. Макрофауна определялась ситованием проб (0.5 и 1.0 мм), фиксацией формалином и спиртом и взвешиванием с последующим внесением поправок на влажность, наличие трубчатых и раковинных частиц.

На борту судна и в стационарной лаборатории используется известная аналитическая техника, из которой отметим инфракрасный анализатор CO_2 Li-COR 7000, в котором обрабатывались пробы придонной воды из камер и наружной воды, а также пробы иловой воды. Для определения растворенного $C_{\text{орг}}$ в пробах воды, предварительно освобожденных от карбонатов, применяется анализатор Shimadzu. Содержание $C_{\text{орг}}$, карбонатность и пористость определяются после высушивания образцов при 70°C с помощью CHN-анализатора фирмы Pisons Instruments. Большое

значение придается, технике подбора и подготовки контейнеров для отбора и хранения проб, значительная часть которых отправляется для анализа в специальные лаборатории различных стран, представители которых участвовали в экспедиции.

Итоговые результаты экспедиции должны представить как аэробное, так и анаэробное потребление кислорода поверхностными осадками и установить связь с количеством окисляемого ОВ, в том числе с количеством ОВ, растворенного в придонной воде. Предполагаемая связь скорости потребления кислорода с качественным составом ОВ может быть подтверждена на основе данных по содержанию хлорофилла в донных отложениях обследованной акватории. Сравнение измеренных потоков S_T с расчетными потоками, полученными по результатам исследования иловых вод, должно определить вклад диффузионного потока в общий поток показать CO_2 из осадков. Эти результаты, в частности, увеличение реального потока CO_2 по сравнению с диффузионным, должны продемонстрировать роль макробентоса в формировании химического обмена на границе вода-дно. Данные по скорости осадконакопления и скорости накопления ОВ в донных отложениях, наряду с результатами по седиментационным ловушкам помогут в составлении баланса ОВ и других химических элементов в исследованном районе Северного моря.

Сравнение наших экспериментальных возможностей с возможностями европейских стран и США свидетельствует о значительной продвинутой исследований по прямым измерениям потоков химических компонентов через границу вода-дно за рубежом. Наибольшие трудности в нашей стране составляют не столько проблемы разработки и конструирования соответствующего оборудования, сколько производственные проблемы и проблемы приобретения дорогостоящей измерительной техники за рубежом. Оснащение лендеров измерительным оборудованием, также как и организация программирования и лабораторной обработки материалов и проб опирается на кооперативное участие многих институтов и организаций на коммерческой основе. Достаточно сказать, что двенадцать участников экспедиции представляли научные организации пяти стран (Швеция, Дания, Германия, Россия, Украина). Понятно, что дальнейшее развитие этого направления требует существенной финансовой поддержки и кооперации.

Мы выражаем благодарности шведскому Университету Гетеборга и лично профессору Перу Халю за приглашение участвовать в экспедиции на НИС «Скагерак», всем участникам рейса и экипажу судна за постоянную помощь и доброжелательные консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tengberg A. et al. Benthic chambers and profiling landers in oceanography // Progr. Oceanogr. 1995. V. 35. P. 253-294.
2. Розанов А.Г., Стоянов А.С., Вершинин А.В. О методике прямого измерения химического обмена на границе придонная вода – морское дно //

Океанология. 1988. Т. 28. № 4. С. 680-685.

3. Розанов А.Г., Егоров А.В., Вершинин А.В. Лендер ИО РАН – донная станция для изучения химического обмена на дне моря // Океанология. 2006. Т. 46. № 4. С. 612-620.

4. Вершинин А.В., Егоров А.В., Розанов А.Г., Потоки растворенных форм химических элементов в Гданьском заливе Балтийского моря: измерения с помощью лендера // Океанология. 2009. Т. 49. № 4. С. 501-507.

5. Розанов А.Г., Вершинин А.В., Егоров А.В. Исследование химического обмена на границе вода-дно в Голубой бухте Черного моря // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 3. С. 341-350.

Information on taking part of Russian scientists in Swedish expedition on R/V “Scagerak” in June 2011 is presented. The exchange of dissolved chemical components through the bottom water - sediment interface was studied with the help of automatic bottom stations – landers.

**Русанов И.И.¹, Засько Д.Н.², Захарова Е.Е.¹, Федотов Д.В.¹,
Абдуллин Р.Р.³, Пименов Н.В.¹**

¹Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, rusanov_igor@mail.ru;

²Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, ³Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова)

Микробная продукция и трансформация растворенного органического вещества на гидротермальных полях Менез Гвен и Лост Сити

**Rusanov I.I.¹, Zasko D.N.², Zakharova E.E.¹, Fedotov D.V.¹,
Abdullin R.R.³, Pimenov N.V.¹**

¹Winogradsky Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences, Moscow;

²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow; ³Moscow State University, Russia)

Microbial production and transformation of dissolve organic composition to the Menez Gwen and Lost Sity hydrothermal systems

В глубоководных гидротермальных экосистемах бактериальный хемосинтез осуществляется главным образом группой аэробных хемоавтотрофных микроорганизмов, использующих в качестве единственного источника углерода углекислоту, а в качестве источников энергии – восстановленные неорганические соединения серы, азота, некоторых металлов и водород. Органическое вещество, образованное этими микроорганизмами, составляет первичное звено трофической цепи гидротермальных сообществ, развивающихся у выходов активных гидротерм. Основным методом определения в морских водоемах, как первичной продукции фотосинтеза, так и бактериальной ассимиляции углекислоты, является в настоящее время радиоуглеродный метод, предложенный в 1952 году Стиман-Нильсеном. Углекислоту фиксируют различные группы микроорганизмов. Для одних (гетеротрофные, метанотрофные) это дополнительный неосновной источник углерода в конкретных реакциях. Для автотрофных микроорганизмов углекислота является основным или единственным источником углерода. При темновой ассимиляции углекислоты образуются разнообразные продукты микробной жизнедеятельности. Основными являются биомасса микроорганизмов (БОВ) и растворенное внеклеточное органическое вещество (РОВ). При этом БОВ достаточно хорошо оценена количественно, в то время как количественный и качественный состав РОВ еще необходимо дополнительно исследовать. Важность этой оценки проявляется в том, что основная часть РОВ является наиболее усвояемой для широкого круга микроорганизмов, часто выступая продуктом жизнедеятельности одних,

субстратом или промежуточным метаболитом для других.

Растворенное органическое вещество в гидротермальных экосистемах может образовываться как автотрофно в процессе хемосинтеза, из неорганического углерода при микробном окислении восстановленных соединений гидротермального раствора, так и при микробной трансформации, деструкции и минерализации взвешенного и растворенного органического вещества, замыкая цикл углерода. Деструкционно-минерализационная ветвь в естественных условиях представлена широким спектром микроорганизмов и наиболее сложна.

Для того чтобы убедиться, что определяемое нами внеклеточное органическое вещество не является результатом разрыва, лизиса или гидролиза клеток, был проведен ряд экспериментов с разными фиксаторами, различными режимами фильтрации, оптимальным объемом и составом промывных вод. Было показано, что клеточная биомасса не разрушается, а определяемые нами экзометаболиты действительно являются органическим веществом, прижизненно выделяемым клетками во внешнюю среду, или же образуемым микроорганизмами вне полости клетки.

Разные условия формирования и функционирования исследуемых гидротермальных систем приводят и к существенным различиям физико-химических составляющих истекающих гидротермальных растворов. Это, в свою очередь, приводит к формированию специфических сообществ микроорганизмов и животных, контактирующих с конкретными гидротермальными полями. Объектом исследования являются гидротермальные растворы и постройки на 2 гидротермальных полях Срединно-Атлантического хребта – Менез Гвен и Лост Сити – различающихся между собой по составу истекающих растворов, соотношению газов, температуре флюидов, по структуре биологических сообществ.

Водные образцы и растворы полученные на Менез Гвен были восстановленными или слабо восстановленными (от -178 до -243 мВ) и имели в основном слабо кислый pH ($5.0-6.3$). Практически во всех образцах обнаружены значительные содержания H_2S ($1-9$ мг/л). Общая щелочность составляла $2.1-2.2$ мМ в растворах отобранных титановыми герметичными батометрами (ТБ), а в 30-ти литровых батометрах Нискина (БН), в связи с большим чем в ТБ разведением придонной водой она была выше (2.6 мМ). Концентрация метана в растворах была на 3 порядка, а водорода на 2 порядка выше, чем во флюидах Лост Сити.

В водных растворах и пробах с поля Лост Сити отмечались слабо окисленные и окисленные условия. Величина pH была нейтральной или слабо щелочной ($7.0-8.5$). Сероводород нами в ряде проб не был обнаружен или зафиксированы его следы, но в нескольких пробах его содержание составляло $3-8$ мг/л. Общая щелочность в БН была близка по значениям

морской воде, а в ТБ она доходила до 3.4–3.55 мМ. Флюид Лост Сити имеет низкую температуру (30–70°C) и низкое содержание металлов. Концентрация растворенного водорода здесь не превышала 650 мкмоль/л, а метана достигала 810 мкмоль/л.

В подавляющем большинстве проб с обоих гидротермальных полей были проведены эксперименты по определению биогеохимической активности различных микробных процессов. Диапазон значений микробной ассимиляции углекислоты в растворах и муарах, как на Менез Гвен, так и на Лост Сити, оказался сходным и колебался от первых сотен нанogramм до 12–15 мкгС/л*сут. Интенсивность сульфатредукции была определена в большинстве образцов и варьировала от 2 до 57 мкгS/л*сут. Активность микробного образования метана из ацетата на обоих полях была сходной и составляла первые нанолитры на литр в сутки. Такие же величины продукции метана из углекислоты отмечены на поле Менез Гвен. А в теплых растворах Лост Сити автотрофный метаногенез составлял сотни нанолитров в сутки в пересчете на литр. Кроме этого, в ряде образцов определялся гетеротрофный потенциал по активности микроорганизмов при ассимиляции и деструкции глюкозы и ацетата. Микробная активность по глюкозе оказалась сходной, составляя первые десятки нгС/л*сут. Активность микробной ассимиляции и окисления ацетата оказалась несколько выше на поле Менез Гвен, достигая значений 330–380 мкгС/л*сут.

Наряду с традиционными определениями интенсивности различных микробных процессов в исследуемых образцах, нами был проведен ряд дополнительных экспериментов.

В большинстве проб исследовалось изменение активности в зависимости от температуры инкубации. Были определены 3 основные температуры инкубации образцов, оптимальные для развития психрофильных (5–6°C), мезофильных (20–25°C) и термофильных (70–80°C) микроорганизмов. Это позволит определить распределение тех или иных форм в различных зонах исследования, а так же приблизит нас к пониманию – живут ли и активно развиваются термофильные микроорганизмы в полостях гидротермальных построек и подстилающих пород, или анализируемые аномалии биологического происхождения образуются за счет деятельности мезофильных и психрофильных микроорганизмов уже после выхода растворов, в зоне контакта и смешения с придонными водами.

Зависимость активности ассимиляции углекислоты от температуры инкубации в разных растворах на поле Менез Гвен значительно различается, но везде наблюдается общая закономерность. Максимальные значения обнаруживаются при инкубации 25°C. Интенсивность хемосинтеза термофилами значительно уступает активности мезофильных микроорганизмов, но при этом она существенно выше, чем у психрофилов. При этом доля и соотношение фиксированной углекислоты в биомассе и

экзометаболитах в разных растворах распределяется вне зависимости от температуры инкубации. Примерно такая же картина наблюдается при инкубации гидротермального раствора на поле Лост Сити.

Кроме этого, нас интересовало изменение активности процесса в зависимости от времени инкубации образцов. Показано, что при 5 градусах общая интенсивность значительно ниже, чем при 70. Однако, как при 5°C, так и при 70°C, большая часть фиксируемой углекислоты обнаруживается в растворенном органическом веществе, а не в биомассе. Причем при 70°C эта тенденция выражена наиболее наглядно. Совсем другая картина наблюдается при инкубации той же пробы воды (отобранной над муаром) при 25°C. Здесь больший процент фиксированной углекислоты обнаруживается в биомассе, а не в экзометабитах.

Показано влияние тиосульфата и сероводорода на активность хемосинтеза при различных температурах инкубации, при их добавлении к пробам. Сероводород во всех случаях значительно подавлял активность ассимиляции углекислоты в растворе с поля Менез Гвен. А вот тиосульфат значительно стимулировал интенсивность хемосинтеза при 25°C, но существенно подавлял его при 5 и 70°C. В отличие от этого гидротермального поля, на Лост Сити тиосульфат при всех температурах инкубации стимулировал активность CO₂-ассимиляции.

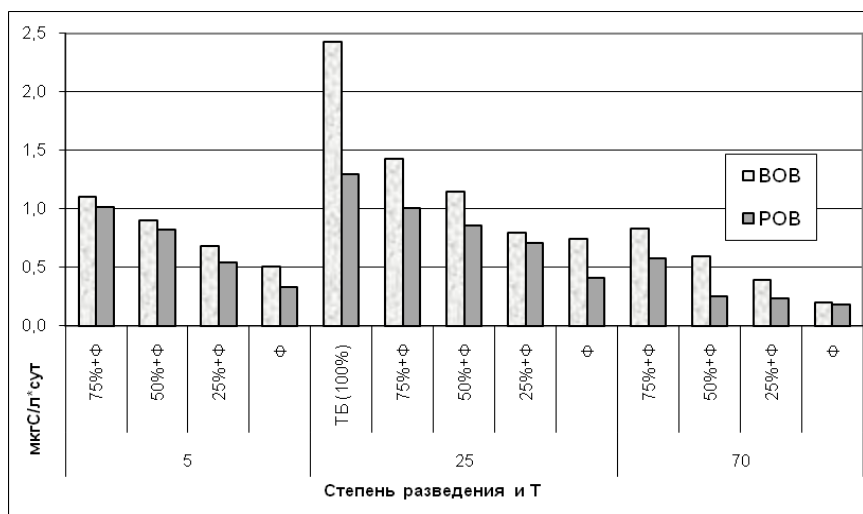


Рис. 1. Зависимость интенсивности микробной ассимиляции углекислоты, в зависимости от степени разбавления и температуры инкубации

Для решения вопроса влияния разбавления гидротермального раствора придонной водой был проведен еще один эксперимент. Пробы были разбавлены последовательно на 25, 50 и 75% как обычной, так и

профильтрованной придонной морской водой. В качестве контролей в эту серию входили 100% раствор, придонная вода и фильтрованная прокипяченная вода. Все эти пробы (в повторностях) были проинкубированы при трех различных температурах, благоприятных для развития психрофилов, мезофилов и термофилов (5–6°C; 20–25°C и 70–80°C, соответственно). На рисунке 1 видна четкая зависимость падения интенсивности ассимиляции углекислоты при разных температурах инкубации от степени разбавления гидротермального раствора. Эта тенденция значительно не изменялась как при разведении фильтрованной, так и не фильтрованной придонной водой. Это указывает на то, что в отобранном растворе достаточно активной микрофлоры, либо уже находящейся в истекающем растворе, либо поступившей туда при смешении в момент отбора образца. При этом, как видно из рисунка, представлены группы микроорганизмов, активные при разных температурах инкубации. Максимальную активность проявляют мезофилы, а интенсивность психрофильных и термофильных групп существенно им уступает, при некотором превосходстве психрофилов. Однако остается открытым вопрос – различная интенсивность ассимиляции углекислоты при разных температурах определяется численным превосходством тех или иных групп, или их большей или меньшей биохимической активностью.

Кроме экспериментов с растворами и придонной водой, были проведены исследования активности фрагментов карбонатной постройки с поля Лост Сити. Были взяты одинаковые кусочки с верхней, средней и нижней частей постройки и проинкубированы при разных температурах. Наибольшая активность отмечается в средней части постройки, несколько меньшая в верхней. В нижней части постройки интенсивность ассимиляции углекислоты значительно слабее. При этом, во всех зонах карбонатной постройки максимальные значения хемосинтеза отмечаются при 70°C, то есть наибольший вклад принадлежит термофилам.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ 10-05-01116.

It was shown, that CO₂ assimilation rate was decreasing proportionally when hydrothermal fluid was mixed with bottom water. The ratio of amounts of DOC and POC was similar any dilution of hydrothermal fluid. The major part of CO₂ was assimilated in DOC in incubation at 5–10°C and 45–70°C, bat in microbial biomass at 20–30°C.

**Русанов И.И.¹, Засько Д.Н.², Захарова Е.Е.¹, Федотов Д.В.¹,
Абдуллин Р.Р.³, Пименов Н.В.¹**

¹Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, rusanov_igor@mail.ru;

²Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН,

³Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова)

**Продукция растворенного органического вещества при
микробном окислении метана в гидротермальных системах
Rusanov I.I.¹, Zasko D.N.², Zakharova E.E.¹, Fedotov D.V.¹,
Abdullin R.R.³, Pimenov N.V.¹**

¹Winogradsky Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences, Moscow;

²Shirshow Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow;

³Moscow State University, Russia)

**Production of dissolve organic composition by microbial
methane oxidation to the hydrothermal systems**

В глубоководных гидротермальных экосистемах основным источником энергии являются восстановленные соединения, в значительном количестве поступающие в составе гидротермального раствора. Это, прежде всего, водород, сероводород и метан, содержание которых в первичном гидротермальном растворе может достигать десятков миллилитров на литр. Функцию первичных продуцентов в гидротермальных экосистемах берут на себя хемоавтотрофные микроорганизмы, которые осуществляют синтез органического вещества за счет энергии неорганических восстановленных соединений и углекислоты окружающей морской воды.

Наряду с хемоавтотрофами к первичным продуцентам на гидротермальных полях могут быть отнесены также и метанооксиляющие бактерии. Показано, что аналогично интенсивностям CO_2 -ассимиляции, наибольшие скорости окисления метана наблюдаются в непосредственной близости от гидротермальных источников, где содержание метана на несколько порядков величин выше, чем в окружающих придонных водах.

Большинство исследователей, при изучении интенсивностей метаноокисления, использовали при расчетах только количество углекислоты образовавшейся из углерода метана. В ряде случаев учитывалась также и биомасса микроорганизмов. Между тем известно, что углерод метана, при его микробной трансформации, обнаруживается не только в углекислоте и биомассе клеток, но и в растворенном органическом веществе (РОВ).

По единой методике радиоизотопным методом нами были проведены исследования активности микробного окисления метана в различных растворах и придонной воде глубоководных гидротермальных полей. Особое внимание было направлено на количественное измерение продукции растворенного органического вещества (РОВ)

микроорганизмами.

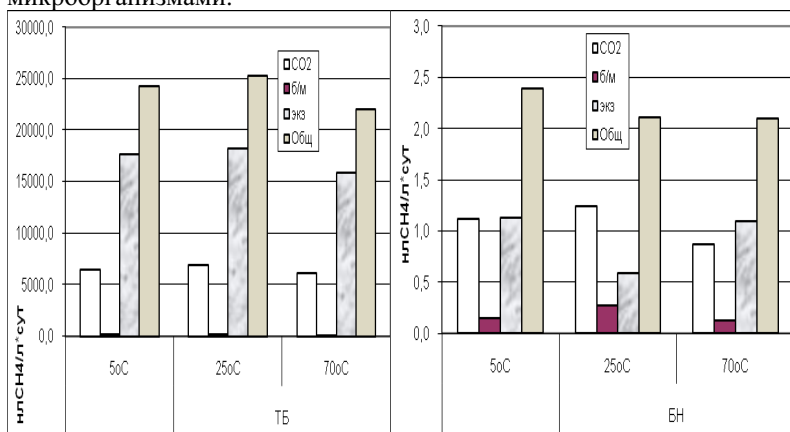


Рис. 1. Влияние Т на распределение углерода метана, при его микробном окислении, в гидротермальных растворах взятых титановым батометром (ТБ) и разбавленных растворах, взятых 30-ти литровым батометром Нискина (БН)

Как видно из рисунка 1, активность окисления метана в гидротермальных растворах и пробах разбавленных придонной водой значительно различается. При этом не наблюдается общей тенденции в активности и распределении углерода метана в зависимости от температуры инкубации. В одних и тех же растворах наблюдается примерно одинаковая интенсивность метаноокисления при разных температурах инкубации. Изменения заметны только при сравнении разных растворов и проб воды. Этот же вывод можно сделать и по распределению углерода метана в разные фракции (углекислота, биомасса и экзометаболиты - внеклеточное растворенное органическое вещество) при его микробном окислении. Общей закономерностью является то, что доля углерода метана пошедшая на образование биомассы является во всех случаях незначительной. Другая закономерность заключается в том, что интенсивность метаноокисления в гидротермальных растворах на 3-4 порядка превышает активность в придонных водах, отобранных вблизи построек.

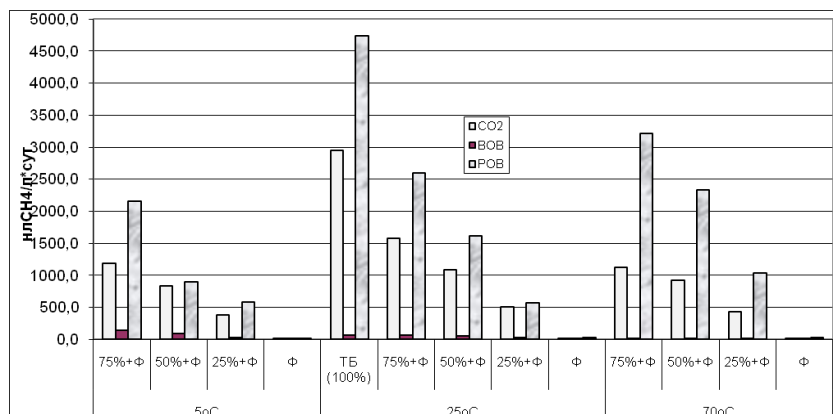


Рис.2. Зависимость распределения углерода метана, при его микробном окислении, от степени разбавления гидротермального раствора фоновой водой при разных температурах

Как и в случае с интенсивностью хемосинтеза, нами был проведен эксперимент по влиянию разбавления гидротермального раствора фильтрованной фоновой водой. На рисунке 2 четко видна тенденция уменьшения интенсивности метаноокисления с разбавлением раствора. В данном эксперименте наибольшая интенсивность наблюдалась при 25°C, несколько меньшая при 70°C и самая маленькая при 5°C. Эта закономерность говорит скорее не о превосходстве численном или биохимическом той или иной группы микроорганизмов окисляющих метан при разных температурах. Скорее это указывает на диапазон оптимальной температуры для активности примерно однородной группы микроорганизмов.

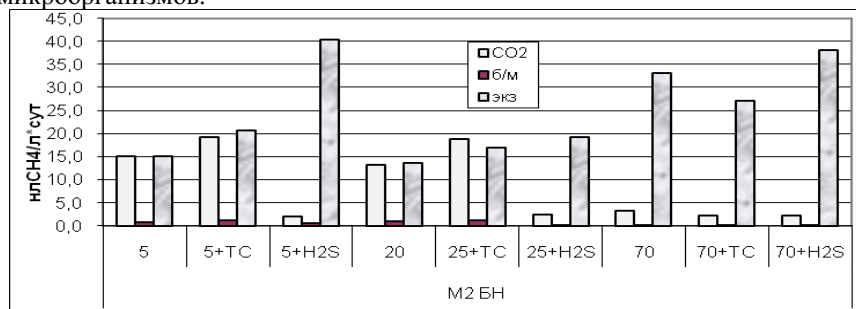


Рис. 3. Зависимость интенсивности метаноокисления и распределения углерода метана от добавления углерода метана при разных температурах

Так же был проведен эксперимент по влиянию тиосульфата и сероводорода на активность окисления и распределения углерода метана при различных температурах инкубации. Как видно из рисунка 3, тиосульфат при 5 и 25°C пропорционально стимулирует распределение

углерода метана при его окислении. При 70-градусной инкубации наблюдается заметное ингибирование общей величины метаноокисления. При этом происходит непропорциональное распределение углерода метана в сторону увеличения биомассы и, особенно, экзометаболитов, за счет окисления до углекислоты. Этот факт является интересным в свете изучения типов питания беспозвоночных животных, приуроченных к гидротермальным постройкам.

Сероводород значительно ингибирует окисление метана до углекислоты и включение углерода метана в биомассу при всех температурах инкубации. Однако он заметно стимулирует (особенно при 5 и 70°C) включение углерода метана в растворенное органическое вещество. Этот факт также имеет интерес при изучении вопроса питания приуроченных к гидротермам беспозвоночных.

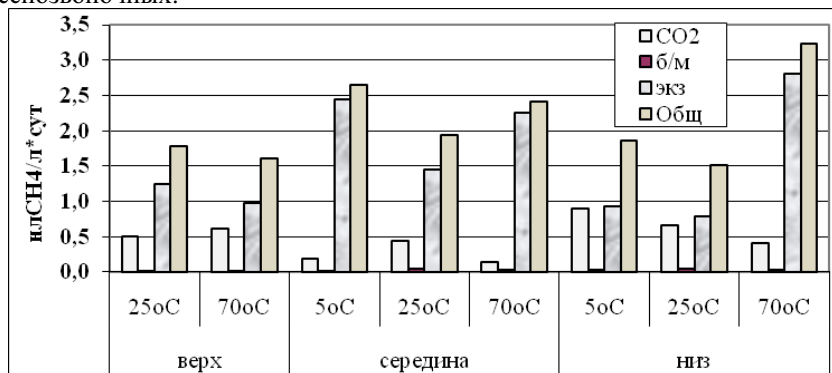


Рис.4. Распределение углерода метана при его микробном окислении в разных частях карбонатной постройки в зависимости от температуры инкубации.

Кроме экспериментов с водными пробами и растворами, был также проведен эксперимент по активности окисления и распределению углерода метана в различных зонах карбонатной постройки с поля Лост Сити при различных температурах инкубации. Наибольшая активность показана для средней и нижней частей постройки. При этом активность при 70°C была выше, чем при 25°C, за счет активизации включения углерода метана в растворенное органическое вещество. При этом в верхней части постройки максимальные величины интенсивности зафиксированы при 25-градусной инкубации, в средней при 5-градусной, а в нижней при 70°C.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-05-01116.

More than half of methane carbon formed by its microbial oxidation was detected in DOC in all studied hydrothermal fluids. Temperature and dilution of hydrothermal fluids did not affect significantly on the ratio of DOC, POC and DIC in the process of microbial methane oxidation.

Савенко А.В., Стрелецкая И.Д.

(Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Alla_Savenko@rambler.ru, irinastrelets@gmail.com)

Новые данные о распределении растворенных фосфатов и кремния в эстуарии Енисея и на прилегающей акватории Savenko A.V., Streletskaia I.D.

(M.V. Lomonosov Moscow State University)

New data about distribution of dissolved phosphates and silica in the Yenisei River estuary and adjacent water area

В течение последних 20 лет проводятся регулярные комплексные исследования арктических экосистем, в наименьшей степени подверженных влиянию антропогенных изменений окружающей среды. Основное направление гидрохимических исследований связано с изучением трансформации материкового стока в процессе его взаимодействия с морской водой. При этом особое внимание уделяется мониторингу тяжелых металлов и биогенных элементов.

В настоящей работе приведены новые данные о распределении растворенных фосфатов ($P-PO_4$) и кремния ($Si-SiO_3$) в устьевой области Енисея – наиболее полноводной реки, впадающей в Карское море, главным фактором гидрологического режима которого является речной сток.

Отбор проб воды для химического анализа проходил с 29 августа по 11 сентября 2009 г. и с 10 по 25 сентября 2010 г. во время рейсов НИС “Советская Арктика”. Исследования охватывали устьевую область Енисея и примыкающую к ней акваторию Гыданской губы. В 2009 г. работы выполнялись на 17 станциях, на 10 из которых были опробованы как поверхностные, так и глубинные горизонты. В 2010 г. исследования проводились на 14 станциях в поверхностном слое. Расположение станций показано на рис. 1 за исключением двух наиболее удаленных: ст. I-1 на речном участке около с. Потапово ($68^{\circ}40'$ с.ш., $86^{\circ}16'$ в.д.) и ст. II-10, находящейся в открытом море ($76^{\circ}10'$ с.ш., $75^{\circ}15'$ в.д.).

Пробы воды отбирались пластиковым батометром, после чего сразу отфильтровывались через плотный бумажный фильтр в полипропиленовые флаконы и консервировались добавлением небольшого количества хлороформа. Концентрации растворенных фосфатов и кремния определялись методом спектрофотометрии, содержание хлоридов – объемным меркуриметрическим методом. Погрешность измерений не превышала $\pm 3\%$.

Согласно результатам проведенных исследований (таблица, рис. 2), в поверхностном распресненном слое во время обеих съемок происходило снижение концентраций растворенных фосфатов с ростом содержания хлоридов, обусловленное, по-видимому, процессами биологической ассимиляции. При этом в 2010 г. концентрации $P-PO_4$ на речной границе

зоны смешения (0,007–0,009 мг/л) были примерно в 2 раза ниже соответствующих значений 2009 г. (0,013–0,020 мг/л), что приводило к практически полному удалению фосфатов из раствора при содержании хлоридов свыше 500 мг/л. Подобные вариации распределения фосфатов в поверхностных водах при сохранении общей тенденции к снижению концентраций с ростом солености наблюдались также в ходе предшествующих гидрохимических исследований эстуария Енисея, проводившихся в период летне-осенней межени 1993, 1999, 2003 и 2007 гг. [1, 2].

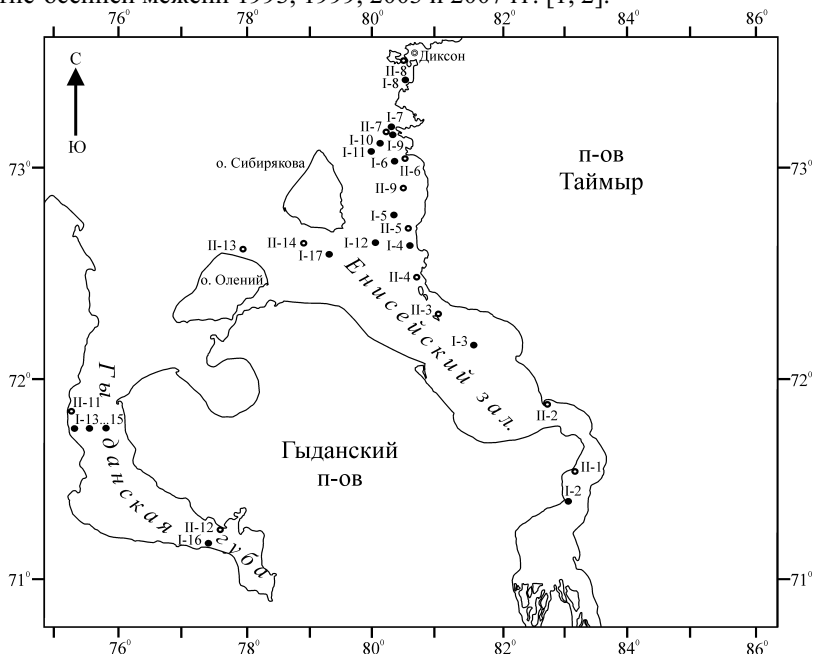


Рис. 1. Расположение станций отбора проб в 2009 (I-№) и 2010 (II-№) гг.

В промежуточном слое (10 м) и придонных водах эстуария Енисея в 2009 г. отмечалось существенное увеличение концентраций растворенных фосфатов с ростом солености до величин, в 2 раза превышающих их среднее содержание на речной границе зоны смешения (0,033 мг/л при содержании хлоридов 17,3 г/л, или солености 31,3‰), что было установлено также в 1993, 1999, 2003 и 2007 гг. [1, 2] и возникает вследствие разложения осаждающегося органического вещества детрита и отмерших организмов. Исключение из общей зависимости составляют лишь две пробы из придонных горизонтов на станциях I-7 и I-8 с повышенным и пониженным содержанием растворенных фосфатов, что связано, вероятно, с локальными особенностями обменных процессов на границе раздела вода–дно.

Таблица. Содержание растворенных фосфатов и кремния в эстуарии Енисея и на прилегающей акватории в 2009 и 2010 гг.

№ станции	Глубина, м	Cl, мг/л	Si-SiO ₃ , мг/л	P-PO ₄ , мкг/л
<i>2009 г.</i>				
I-1	0,2	12,1	2,38	12,7
I-2	0,2	23,8	2,31	20,4
I-3	0,2	596	2,02	12,4
«	27,0	15700	1,12	28,1
I-4	0,2	2050	1,65	14,4
«	10,0	2160	1,56	12,8
I-5	0,2	2460	1,50	11,0
«	10,0	3710	1,33	11,4
I-6	0,2	2070	1,50	9,4
I-7	0,2	2670	1,36	9,6
«	10,0	11370	1,08	23,9
I-8	0,2	3910	1,23	14,5
«	10,0	10550	0,97	15,5
«	24,0	17970	0,69	8,1
I-9	0,2	2350	1,52	15,4
«	10,0	3160	1,50	9,8
«	22,0	17310	0,71	33,3
I-10	0,2	2490	1,47	14,4
«	10,0	7050	1,24	10,5
I-11	0,2	2350	1,50	9,5
«	10,0	5610	1,28	11,0
I-12	0,2	3840	1,42	10,0
«	16,0	16840	0,76	31,6
I-13	0,2	3520	0,40	6,7
I-14	0,2	4050	0,50	7,3
I-15	0,2	4500	0,73	6,2
I-16	0,2	173	0,17	12,9
I-17	0,2	5860	1,24	10,5
«	10,0	6700	1,19	10,2
<i>2010 г.</i>				
II-1	0,2	11,1	2,46	7,1
II-2	0,2	18,4	2,18	2,7
II-3	0,2	459	—	1,5
II-4	0,2	559	2,25	3,2
II-5	0,2	375	2,12	2,9
II-6	0,2	4350	—	1,9
II-7	0,2	6740	—	1,8
II-8	0,2	9570	—	1,5
II-9	0,2	1930	1,75	—
II-10	0,2	3350	1,61	—
II-11	0,2	4940	1,42	1,9
II-12	0,2	142	1,83	8,9
II-13	0,2	3310	1,23	1,9
II-14	0,2	881	—	2,0

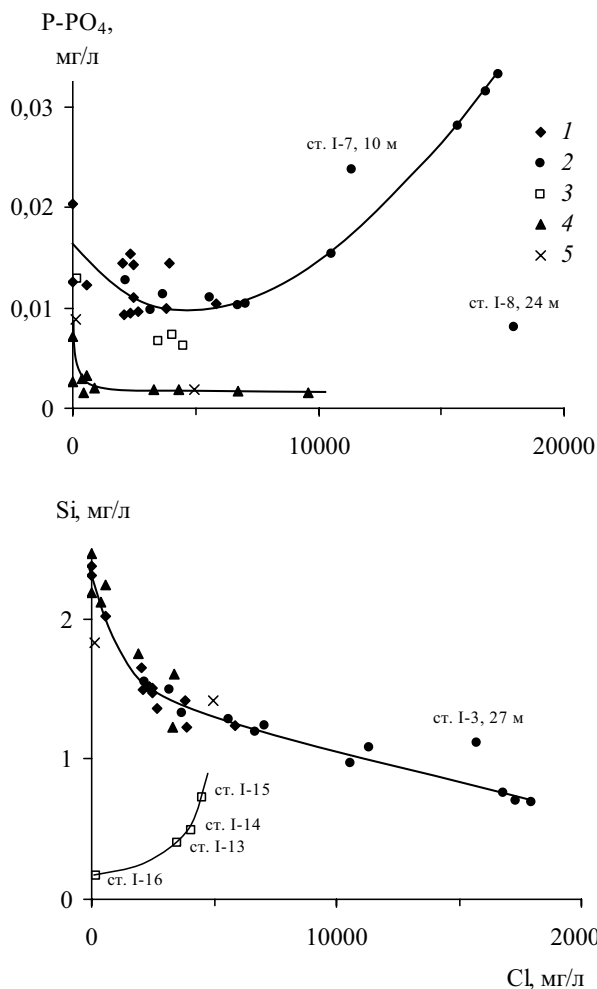


Рис. 2. Распределение растворенных фосфатов и кремния в эстуарии Енисея и на прилегающей акватории

1 – эстуарий Енисея, 2009 г., поверхностный слой; 2 – то же, промежуточный и придонный горизонты; 3 – Гыданская губа, 2009 г., поверхностный слой; 4 – эстуарий Енисея, 2010 г., поверхностный слой; 5 – Гыданская губа, 2010 г., поверхностный слой.

Для растворенного кремния в эстуарии Енисея было характерно снижение концентраций с ростом содержания хлоридов в соответствии с общей для 2009 и 2010 гг. зависимостью, состоящей из двух линейных

участков: с градиентом dSi/dCl , равным -3×10^{-4} на начальных стадиях смешения речных и морских вод и -5×10^{-5} при хлорности $>2,5$ г/л (рис. 2). Более высокий градиент изменения концентраций кремния в распресненных водах фотического слоя обусловлен, по-видимому, его потреблением диатомовыми водорослями, тогда как в нижележащих горизонтах продуцирование органического вещества прекращается, а реминерализация кремния происходит намного менее интенсивно, чем фосфатов. Существенное повышение концентрации кремния в придонных водах в результате его диффузии из донных отложений наблюдалось только на станции I-3. Также обращают на себя внимание пробы, отобранные в 2009 г. со станций I-13–I-16 в Гыданской губе, которые отличаются пониженным содержанием кремния и образуют отдельную зависимость, хотя в 2010 г. концентрации Si-SiO₃ в этом районе были близки к таковым в эстуарии Енисея. Факт сильной межгодовой изменчивости распределения растворенного кремния был отмечен и в обобщающей работе В.В. Гордеева с соавторами [1], где указывалось, что в 1993 и 2001 гг. в Енисейском заливе происходило уменьшение содержания Si-SiO₃ в процессе смешения речных вод с морскими, а в 1999 г., напротив, было зафиксировано его увеличение при солености $<10\%$.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09–05–00692).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gordeev V.V., Beeskov B., Rachold V. Geochemistry of the Ob and Yenisey estuaries: A comparative study. Berichte zur Polar- und Meeresforschung. 2007. V. 565. 235 p.
2. Маккавеев П.Н., Стунжас П.А., Мельникова З.Г. и др. Гидрохимическая характеристика вод западной части Карского моря // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 730–739.

The data about distribution of dissolved phosphates and silica in the Yenisei River estuary and adjacent water area in 2009 and 2010 are presented. It was shown that concentrations of both elements in the desalinized waters of photic layer decreased with increase of chloride content under influence of biological consumption. Concentrations of dissolved phosphates in the intermediate and near-bottom layers of the Yenisei River estuary increased essentially with salinity increment due to regeneration of precipitated organic matter, whereas silica remineralization proceeds less intensively than phosphates.

Стунжас П. А., Виноградова Е.Л.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия,
pastunzhas@mail.ru; vinogradova@ocean.ru)

Кремний в воде и осадках Северного Ледовитого океана Stunzhas P., Vinogradova E.

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

Silica in the Arctic water and sediment

Рассматриваются особенности поступления и трансформации растворенного кремния (Si) в Северном Ледовитом океане. Так как при деструкции органического вещества регенерация Si, в отличие от других биогенных элементов – фосфатов и нитратов, только косвенно связана с деятельностью бактерий, а в основном обусловлена физико-химическими процессами растворения, то можно было бы ожидать, что она будет более медленной, как это имеет место в районах океанических апвеллингов. Однако анализ имеющихся данных показывает, что процесс растворения панцирей диатомей в морях Арктики идет столь же быстро, как и выделение фосфатов, и основная его часть завершается до глубин 100-150 м, несмотря на низкую температуру вод.

Регенерация Si на большей части Баренцева и Карского морей не значительна, и увеличивается только в застойных зонах, таких как впадины Белого моря или Новоземельский желоб. В целом в Баренцевом море, несмотря на относительно высокую его биопродуктивность, регенерация кремния мала (рис. 1). Максимальные концентрации «вторичного» кремния превышают зимние концентрации «первичного» кремния только на 5-8 мкМ. По соотношению Si:AOU можно выделить районы с доминированием диатомового и недиадомового планктона: в первом (линия 1) соотношение C:Si=106:24.7, т.е. близко к таковому по Редфилду C:Si=106:23, во втором (линия 2) фиксируется 4-х кратное уменьшение доли кремния в минерализующемся взвешенном веществе. (Для пересчета на углерод принималось мольное отношение $\Delta C:\Delta AOU=106:138$) Нелинейная зависимость концентрации кремния от глубины (рис. 1,б) обусловлена, тем, что в нижний слой, представленный атлантическими водами, быстро перемещающийся в северо-восточном направлении, поступает мало взвешенного органического вещества, в результате чего средняя насыщенность O_2 в нем ~ 86% и не зависит от глубины.

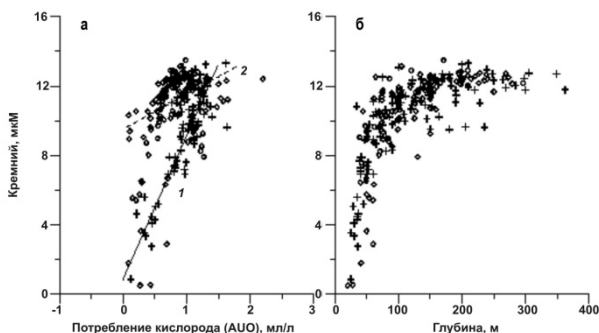


Рис. 1. а. Соотношение между кажущимся потреблением кислорода (АОУ) и содержанием кремния. Баренцево море
 б. Зависимость содержания кремния от глубины: + станции севернее 77°25'; о – станции южнее 77°25'. Баренцево море

Данные по основным сибирским рекам – Обь, Енисей, Лена показывают малую утилизацию кремния на шельфе и вынос его со льдами в центральный бассейн СЛО. Об этом говорит тот факт, что в распресненных вследствие речного стока частях этих морей наблюдается линейная корреляция щелочности и кремния с соленостью. Среднее потребление Si за один летний сезон составляет 5-7 мкМ.

Наибольшая регенерация Si происходит на кромке шельфа морей, находящихся под влиянием вод, поступающих из Берингова пролива. Здесь трансформация кремния и биогенов имеет место в подповерхностном слое на глубинах 50-150 м, и концентрация «вторичного» кремния достигает 40-60 мкМ. На рис. 2 показана зависимость кремния от АОУ и от глубины в море Бофорта, причем на рис. 2, а выделяется нетипичная для других районов СЛО ниспадающая ветвь такой зависимости. На малых (0-200 м) и больших (500-4000 м) глубинах зависимость может быть представлена прямыми 1 и 2, соответственно. В первом случае нарастание кремния примерно на 30 мкМ происходит при увеличении АОУ на 3 мл/л, что дает соотношение в 1.7 раза превышающее соотношение Редфилда характерное для Баренцева и Карского морей. Для линии 2, отражающей ситуацию типичную для всех глубоководных частей СЛО, это соотношение ближе к типичным значениям для Баренцева и Карского морей, где преобладает диатомовый фитопланктон: C:Si=106:36, но все же превышает их примерно в 1.5 раза. Последнее может быть связано как с изменением состава органического вещества, опускающегося на большие глубины (относительным обеднением его углеродом), так возможно и с проявлением здесь дополнительного, т.е. не биогенного кремния взвеси. На фоне почти полного отсутствия погружающихся створок диатомей становится заметным растворение кремния эоловой взвеси.

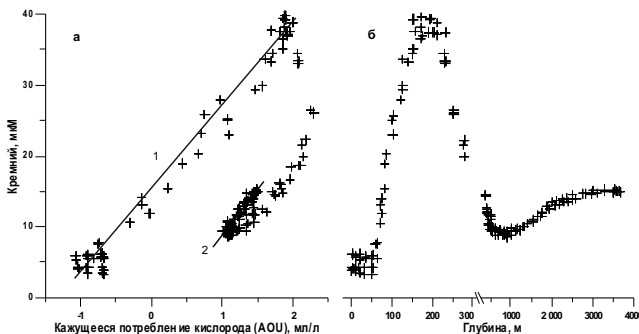


Рис. 2. а. Море Бофорта. Соотношение между кремнием и кажущимся потреблением кислорода (АОУ). Линия 1 – усредненное соотношение между кремнием и потреблением кислорода для глубин 0-200 м, линия 2 – для глубин 500-4000 м.

б. Там же. Зависимость кремния от глубины.

Максимальная концентрация «вторичного» кремния была зафиксирована на шельфе Чукотского моря – 104 мкМ, при концентрации фосфатов 3.1 мкМ.

Сопоставление этих величин с максимальной величиной первичной продукции Чукотского моря, говорит о том, что время такой трансформации биогенов превышает 1 год, а возможно и 5 лет. Об этом же свидетельствует то, что в море Бофорта минимум O_2 и максимум кремния до 40-50 мкМ наблюдались в апреле 1985 г. подо льдом.

Отложение биогенного кремния в осадках СЛО слабо коррелирует с ПП, но очень хорошо – с глубиной. В тех районах СЛО, где глубина превышает 500-1000 м, в осадках находят только единичные створки диатомей, вследствие почти полного растворения их растворения в столбе воды. Это справедливо как для центральных районов СЛО, так и для высокопродуктивного Баренцева моря. В окраинных морях с глубинами 50-150 м содержание створок диатомей значительно увеличивается, особенно в районах Карского моря и моря Лаптевых, с пониженной соленостью за счет долгого присутствия речных вод. Здесь концентрация створок может достигать 1-2 млн на 1 г осадка. Однако максимальные известные концентрации створок (до 10 млн на 1 г осадка) были найдены в некоторых районах Чукотского моря, находящихся под влиянием вод Берингова пролива.

Однако в среднем в осадках СЛО, несмотря на преобладание диатомовых в составе фитопланктона, значительного кремненакопления не происходит, вследствие быстрого растворения створок диатомей.

The peculiarities of the silica inflow and transformation in the Arctic Ocean are discussed.

Титова К.В., Кокрятская Н.М.

(Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, nkokr@yandex.ru)

Реакционноспособное железо в воде и донных осадках

малых озер водосборного бассейна Белого моря

Titowa X.W., Kokryatskaya N.M.

(Institute of ecological problems in the North Ural Branch Russian Academy of Science, Arkhangelsk)

Reactive iron in the water and sediments of small lakes in the catchment area of the White Sea

Озёра занимают примерно 2% площади Архангельской области, причем большая их часть сосредоточена на юго-западе. При этом большая часть расположенных здесь озер относится к малым (площадью 1-10 км²). Экосистемы малых озер наиболее четко отражают специфику условий их формирования. Озера, являющиеся водоемами с замедленным водообменом, служат, с одной стороны, транзитными системами в общем круговороте веществ в природе, с другой – своеобразными системами очищения и захоронения элементов в донных осадках. Вещество же донных отложений неоднородно по составу вследствие различия источников поступления осадочного материала, условий седиментогенеза и постседиментационных изменений.

Железо – один из ключевых элементов круговорота вещества в водных экосистемах. Это наиболее распространенный в природной среде элемент (в литосфере это четвертый по распространенности элемент - кларк его равен 4.65), который играет важную роль в окислительно-восстановительных процессах, процессах трансформации и перераспределения органических и минеральных соединений в водоемах.

Источники поступления соединений железа в воду и поровый раствор илов различных водоемов – железосодержащие минералы, грунтовые и подземные воды, минерализация органического вещества на водосборе и в самом водоеме. Соединения железа аккумулируются на дне водных объектов в виде кластического (обломочного) материала, разнообразных коллоидных взвесей и железо - органических комплексов. В процессах перераспределения химических соединений внутри осадка и в обмене с придонной водой, имеющих физико-химическую или биологическую (как правило, микробиологическую) природу, участвуют в первую очередь реакционноспособные формы химических элементов, растворенные в иловой воде или переходящие в раствор (или в осадок) при соответствующем изменении условий.

Объектом исследования в данной работе выступило озеро Вильно (Кенозерский национальный парк (КНП)). Расположено в юго-западной части Архангельской области. Водосборная площадь озера Вильно является

частью водосборных бассейнов левых притоков реки Онеги, впадающей в Онежский залив Белого моря.

Озеро Вильно вытянуто меридианально. Площадь водной поверхности – $2,7 \text{ км}^2$, длина – 3,0 км, наибольшая ширина – 1,4 км, максимальная глубина – 5,0 м, средняя – 2,3 м. Дно плоское без значительных понижений. Свал глубин постепенный. Общий объем воды в озере $5,77 \text{ млн. м}^3$.

Выбор станций отбора проб обусловлен морфометрическими особенностями рассматриваемого озера. Отбор осуществлялся на станции глубина которой составляла около 5 м в марте и июле 2011 г. Образцы донных осадков отобраны прямооточной грунтовой трубкой с дискретностью 5 см в соответствии с установленными требованиями, упакованы в полиэтиленовые пакеты, из которых максимально отжат воздух. Поровая вода отделялась от осадка центрифугированием. Отбор проб воды с разных горизонтов водной толщи водоемов осуществлялся с помощью батометра с созданием условий предотвращения контакта пробы с воздухом. Анализ воды проводился незамедлительно после отбора.

Анализируемые осадки представлены в основном илами коричневатого цвета со средней влажностью 88,49% в марте и 89,13% в июле, которая изменялась от 91,17 до 85,71% и от 93,32 до 85,75% соответственно по мере погружения в толщу отложений.

В исследуемых образцах донных отложений определялось реакционноспособное железо обеих форм из растворов после экстракции донных осадков натуральной влажности 3,5 N серной кислотой (железо (II) – дихроматометрически, железо (III) – йодометрически). Содержание железа в воде определялось фотометрически с феррозином.

Максимальное суммарное содержание растворенного в воде железа составило около 200 мкг/л в зимний и летний периоды (около 3 мг/л для придонного горизонта зимой). В марте концентрация железа (II) от поверхности до глубины 4 м изменяется незначительно от 78 до 94 мкг/л, концентрация железа (III) снижается со 118 до 19 мкг/л. В придонном горизонте содержание обеих форм становится примерно одинаковым и составляет 1,5–1,6 мг/л. Что связано с оседанием гидролизованного железа(III) и связыванием железа (II) с неорганическими лигандами, в соединениях с которыми оно остается устойчивым, и значительным снижением содержания кислорода. В июле концентрация восстановленной формы остается в целом такой же, как и в марте, слегка увеличиваясь ко дну, концентрация окисленной формы в поверхностном слое составила 49 мкг/л и к низу снижалась.

Общее содержание реакционноспособного железа ($\text{Fe}_{\text{реакц}}$) (здесь и далее в расчете на сухой осадок) составило в марте 1,68% (1,18%–2,52%), в июле – 2,56% (1,71%–4,99%). Максимум концентрации $\text{Fe}_{\text{реакц}}$ в зимний период приходится на поверхностный горизонт осадков (0-1 см) 2,23% и горизонт 10-15 см 2,52%; в летний период – на поверхностный слой (0-5см) 4,99%.

Как видно из представленных данных, содержание железа в июле возросло примерно в 2 раза по сравнению с зимней меженью. По мере углубления в толщу отложений общее содержание реакционноспособного железа в марте снизилось с 2,23 до 1,18% (проходя максимум в слое осадков 10-15 см), а в июле наблюдалось заметное уменьшение концентрации с 4,99 до 1,7% (рис. 1).

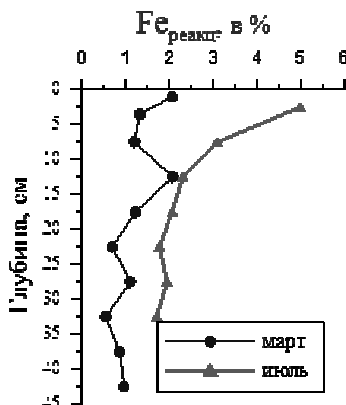


Рис. 1. Содержание общего реакционноспособного железа в донных отложениях

Следует отметить, что как зимой, так и летом в верхнем слое осадков доминировала окисленная форма реакционноспособного железа 93 и 87% соответственно, что, скорее всего, связано с окислением железа в водной толще в аэробных условиях и оседанием малорастворимого FeOOH на дно.

По мере углубления в толщу отложений наблюдается немонотонное изменение в содержании обеих форм реакционноспособного железа с преобладанием той или иной формы в разных горизонтах осадках. Причем уменьшение концентрации одной из них приводило к увеличению ее для другой в оба периода наблюдений, за исключением горизонтов осадков 10-15 см в марте и поверхностных слоев (0-5 см) в июле, когда заметное изменение в содержании (увеличение и уменьшение соответственно по сезонам) окисленной формы в составе реакционноспособного железа не приводило к столь же ярко выраженному колебанию в содержании восстановленной формы. В июле, однако, к нижнему горизонту осадков соотношению форм меняется и их содержанию становится примерно одинаковым (рис. 2).

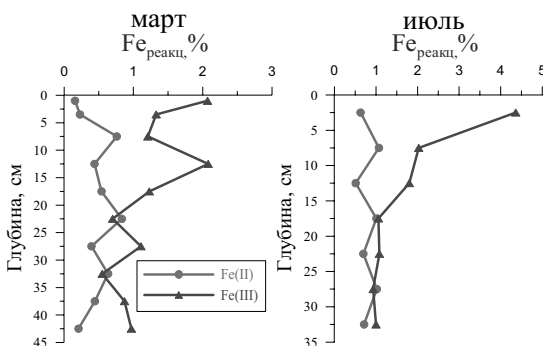


Рис. 2. Распределение форм железа в составе реакционноспособного по сезонам

Содержание восстановленной формы железа в иловой воде в марте немонотонно увеличивалась почти от 0 до 5 мкг/л по мере погружения в толщу отложений, в июле наблюдалась такая же тенденция, но концентрация этой формы была заметно выше от 260 до 1400 мкг/л.

В зимнюю межень выявилась закономерность для осадков горизонта 10-15 см – увеличение содержания Fe (III) сопровождалось снижением (1,38 мкг/л) концентрации восстановленной формы растворенного железа в иловой воде по сравнению с прилегающими горизонтами осадков (5-10 см – 2,46 и 15-20 см – 3,25 мкг/л) и восстановленной же формы (хотя и не столь значительно) в донных осадках (совокупностью этих двух факторов и объясняется данный максимум концентрации Fe (III) для данного слоя осадков) (рис. 3).

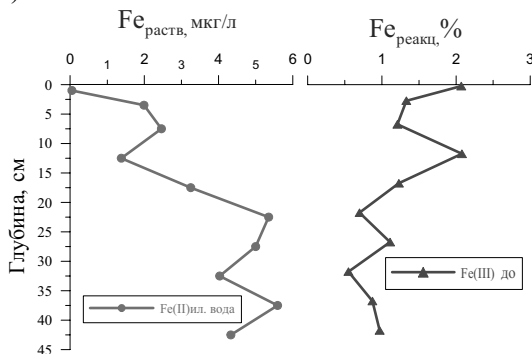


Рис. 3. Содержание форм железа в иловой воде и донных отложениях в марте

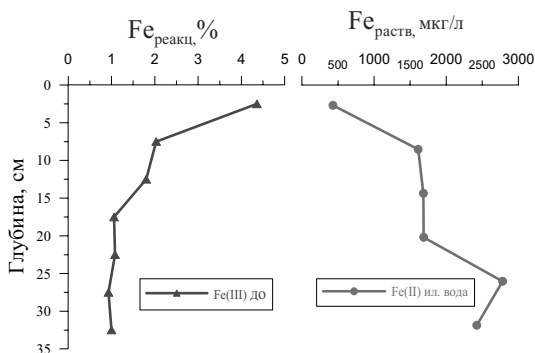


Рис. 4. Содержание форм железа в иловой воде и донных отложениях в июле

В летнюю межень максимум концентрации Fe (III) в поверхностном слое отложений (рис. 4), скорее всего, связан, как уже говорилось, с поступлением малорастворимого гидроксида Fe (III) из воды, причем вклад вносит не только железо, поступающее из вне (из водной толщи), так и переход из иловой воды F (II) с последующим окислением. Содержание восстановленной формы в иловой воде для данного горизонта осадков заметно меньше (430 мкг/л) по сравнению с нижележащим слоем 1,6 мг/л.

Таким образом, показано, что на соотношение форм железа в донных отложениях озера Вильно влияет как их перераспределение в осадке, так и обмен с иловой водой.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 11-05-98802.

This paper presents the results of a study of the reactive iron content in water and sediments of Lake Vilno catchment of the White Sea in March and July 2011.

Ульянцев А.С., Романкевич Е.А.

(Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, uleg85@gmail.com)

Современные подходы к изучению коллоидного органического вещества океана

Ulyantsev A.S., Romankevich E.A.

(Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Contemporary approach to the investigation of the marine colloidal matter

Роль коллоидного вещества в осадкообразовании и биогеохимии океана остается малоизученной. В эстуарных и прибрежных водах коллоидное вещество вносит большой и пока существенно недооцененный вклад в поток углерода и микроэлементов [1]. В решении океанологических проблем большое значение коллоидного вещества связано с его влиянием на свойства воды, биопродукционные, седиментационные и химические процессы, формирование поверхностного микрослоя (ПМС), на переход растворённого вещества во взвешенное, формирование звуко рассеивающих слоев, придонного слоя, характеристик течений и водных масс. Изменения среды под воздействием коллоидов и взвеси влияют на поглощение и рассеивание света, коагуляцию и биопоглощение тяжелых металлов и радионуклидов, изменение их миграционной подвижности, а также газового обмена в системах океан-биота, океан-атмосфера. Коллоиды ПМС являются источником загрязнения воздуха тяжелыми металлами [2].

Коллоидным веществом в океанологии принято считать фракцию частиц с диаметром от 1 нм до 1 мкм [3]. Разделение веществ на взвешенные и растворенные в океанологии основано на использовании различных фильтров с диаметром пор обычно от 0,2 до 0,7 мкм. Исторически сложилось, что чаще всего применяются фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Обычно 30-70% растворенного органического вещества (РОВ), проходящего через фильтр 0,45 мкм, представлено коллоидами [4].

Счётная концентрация частиц диаметром от 400 до 1000 нм оценивается в 10^7 шт. в мл. Более мелкие коллоиды (5-200 нм) насчитывают порядка 10^9 шт. в мл. Удельная площадь поверхности коллоидного вещества океана оценена в $6000 \text{ м}^2/\text{см}^3$ [5] и, благодаря наличию огромной поверхностной энергии, сильно влияет на стабильность подобных систем. Большой энергетический потенциал коллоидов способствует адсорбции на поверхности частиц микроэлементов и радионуклидов; органические коллоидные вещества можно использовать в качестве органо-геохимических индикаторов потоков в Мировом океане.

Основными источниками коллоидного вещества в океане является биота (автохтонная составляющая) и поступление с суши (аллохтонная компонента) в составе речного и плоскостного стоков, эоловых выносов,

абразии берегов, разгрузки подземных вод. Первичными источниками коллоидного органического вещества являются фитопланктон, фитобентос, часть бактерий, ледовые и донные микроводоросли (диатомовые и другие). Бактериальный хемосинтез вносит малый, но пока недооцененный вклад в продукцию ОВ [6].

Техногенные наночастицы начали активно поступать в водную среду и атмосферу после нанотехнологической революции на рубеже нашего века. Так загрязнение водной среды и воздуха углеродными наночастицами (фуллерены) уже является одним из новых вызовов экологической безопасности [7].

К основным природным механизмам генерации частиц коллоидного вещества, содержащегося в природных средах, в частности в водах Мирового океана относятся:

1) *Биогенные пути*, связанные с выделением живыми организмами продуктов метаболизма, субклеточных структур, секреторных выделений. Значительная часть биогенных коллоидных частиц представляют собой субклеточные структуры, полученные при гибели одноклеточных организмов (бактерий, водорослей, простейших) и отмирании тканей многоклеточных организмов: от белков и липопротеидных комплексов до обломков полимеров клеточных стенок. Отдельной фракцией являются нуклеопротеидные комплексы – вирусы и вирусные частицы.

2) *Химические процессы* формирования частиц связаны с хорошо известными механизмами образования коллоидных систем, которые в природных средах часто сопряжены с окислительными процессами и требуют ядер конденсации, затравок при полимеризации или иных неоднородностей в условно гомогенном элементе объема среды. Формирование коллоидных частиц в водных растворах наиболее часто сопряжено с уже сформированными наноструктурами.

3) *Генерация аэрозолей* водной поверхностью при ветро-волновом взаимодействии, а также иных видах механохимического возмущения поверхностного микрослоя, отличающегося особыми физико-химическими и биохимическими характеристиками. К таким видам возмущения можно отнести разрушение пузырьков газов, насыщение поверхностного микрослоя взвешенными частицами, явление электротермодиффузии при колмогоровской диссипации кинетической энергии [2].

4) *Процессы диспергирования* различных минералов при взаимодействии с атмосферой, водой и донными осадками (выветривание, перенос, гальмиролиз).

5) *Потоки* различных компонентов из недр Земли и переход из растворенной формы в коллоидную и взвесь (рифтовые зоны, вулканы и холодные высачивания), а также седиментационная разгрузка вод и льдов.

Методы анализа коллоидов в настоящее время включают ряд этапов и подходов.

1) *Фракционирование*. К этой группе относятся классические методы центрифугирования и мембранной ультрафильтрации, а также более современные: перекрестная фильтрация (cross-flow filtration, CFF) и поточное полевое фракционирование (flow field-flow fractionation, flow FFF). Последний метод основан на разделении коллоидов по молекулярной массе. Принцип этого метода аналогичен хроматографии, разделение коллоидов основано на разнице коэффициентов диффузии.

2) *Распределение частиц по размерам*. Сюда относятся классические методы анализа дисперсных систем: малоугловое лазерное светорассеяние (LALLS) и динамическое светорассеяние (DLS). К этой же группе относится рентгеновское светорассеяние, микроскопия.

3) *Химический анализ* включает ионную и молекулярную хромато-масс-спектрометрию, атомно-абсорбционную (AAS) и атомно-эмиссионную спектроскопию с индуктивно связанной плазмой (ISPAES).

4) *Структурный анализ* осуществляется чаще всего на основе сканирующей (SEM) и трансмиссионной (TEM) электронной микроскопии. Также применяется рентгеновская дифракция для определения структурных и морфологических особенностей коллоидов.

При различных аналитических подходах к изучению коллоидов возможно выделение и других групп методов.

Следует выделить три приоритетных, практически и теоретически важных проблемы, которые нельзя решить без всестороннего изучения коллоидов. Во-первых, проблема функционирования важнейшей пограничной зоны река-море и ее маргинального фильтра, регулирующего осадочные потоки и биопродуктивность приконтинентальных районов океана, во-вторых, проблема тонкого поверхностного микрослоя и его влияние на газовый обмен океана с атмосферой и, наконец, проблема формирования системы лед-вода и её влияния на полярные области. Системный и новый аналитический экспериментальный подходы постепенно закрывают белое «коллоидное» пятно в океанологии.

Изменение состава и дальности переноса органических и минеральных коллоидов различной степени дисперсности отражает климатические процессы и сценарии общего изменения климата. Актуальным в этом вопросе являются полученные данные о составе растворенного, коллоидного, взвешенного органического вещества в маргинальных фильтрах арктических рек: Северной Двины, Оби, Лены [8-11]. Однако коллоидное вещество в цикле углерода остается малоизученной компонентой.

Большой интерес представляет изучение механизма образования «эстуарного снега» - явления осаждения тонкодисперсного материала в маргинальных фильтрах. Механизм этого процесса тесно связан с коллоидным веществом, например, с исчезновением заряда на поверхности раздела фаз, которое может происходить под действием солей морской

воды. В результате происходит флокуляция коллоидов. Сформированные флоккулы являются активным биогеохимическим реактором, в котором образуется и трансформируется взвешенное и коллоидное вещество [1,9,10].

Арктический лед также интересен с точки зрения решаемой проблемы, так как является основной системой переноса вещества на поверхности морей Арктики и Северного Ледовитого океана. При формировании льдов происходит кристаллизация воды, в результате которой имеет место удаление коллоидов и других примесей. Одной из особенностей при формировании льда является захват поверхностного микрослоя (ПМС), отличающего особыми физико-химическими и биохимическими характеристиками. При замерзании в ледяную толщу кроме ПМС попадают обитатели экосистемы льдов и их продукты жизнедеятельности – органические вещества различного молекулярного веса и изотопного состава [12-14].

Ледовая арктическая система является потенциально важной в первичной и вторичной продукции ОВ. Ледовый транспорт является уникальным и эффективным путем выноса распространения терригенного взвешенного, коллоидного и растворенного ОВ [15].

Влияние формирования льда на содержание ОВ в океане до сих пор остается малоизученным. Лишь на экспериментах по замораживанию морской воды удалось оценить степень удаления ОВ из льда [15]. Несмотря на то, что большая часть льда формируется на шельфе Евразийского арктического бассейна, богатого терригенным ОВ, лишь малая его часть захватывается льдом [16]. Чтобы понять, насколько важен ледовый перенос ОВ в Арктике, необходимы выработка комплексных мер по решению данной проблемы, организация и проведение соответствующих экспедиционных работ. В решении подобной проблемы важным будет географический аспект: необходимо учитывать положение мест формирования льдов и их разгрузки. Следует также уделить большое внимание процессам флокуляции коллоидов и биотрансформации ОВ в рамках изучения глобального изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Нерешенные проблемы океанологии Арктики // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный Мир. 2001. С. 31-74.
2. Смирнов А.Н., Лапшин В.Б., Балышев А.В., Лебедев И.М., Гончарук В.В., Сыроешкин А.В. Структура воды: гигантские гетерофазные кластеры воды // Химия и технология. 2005. Т. 27(2). С. 111-137.
3. Wilkinson K.J., Lead J. Environmental Colloids and Particles: Behaviour, Separation and Characterisation. Wiley, 2007. 702 p.
4. Fløge S.A., Wells M.L. Variation in colloidal chromophoric dissolved organic matter in the Damariscotta Estuary, Maine // Limnol. Oceanogr. 2007. V. 52(1). P. 32–45.

5. Bratby J. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. IWA Publishing, 2006. 407 p.
6. Романкевич Е.А., Ветров А.А., Пересыпкин В.И. Органическое вещество Мирового океана // Геология и геофизика. 2009. Т. 50(4). С. 401-411.
7. Сыроешкин А.В., Гребенникова Т.В., Лапшин В.Б., Лесников Е.В., Ульяновцев А.С. и др. Наночастицы в природных водах // Труды ВНИИФТРИ «Наночастицы в природных и технологических средах. Методы и средства измерений». 2009. Вып. 56 (148)ю С. 91-101.
8. Romankevich E.A. Geochemistry of organic matter in the ocean. Berlin: Springer-Verlag. 1984. 334 p.
9. Vetrov A.A., Romankevich E.A. Carbon cycle in the Russian Arctic seas. Berlin: Springer-Verlag. 2004. 331 p.
10. Лазарева Е.В., Романкевич Е.А. Транспорт органического вещества и глинистых минералов в эстуариях арктических морей (эксперимент и натурные наблюдения) // Океанология. 2009. Т. 49(1). С. 53-60.
11. Cauwet G., Sidorov I. The biogeochemistry of Lena River: organic carbon and nutrients distribution // Marine Chemistry. 1996. V. 53. P. 211-227.
12. Munro D.R., Dunbar R.B., Mucciarone D.A., Arrigo K.R. and Long M.C. Stable isotope composition of dissolved inorganic carbon and particulate organic carbon in sea ice from the Ross Sea, Antarctica // J. of Geophysical Research. 2010. V. 115. P. 1-14.
13. Juhl A.R., Krembs C., Meiners K.M. Seasonal development and differential retention of ice algae and other organic fractions in first-year Arctic sea ice // Marine Ecology Progress Series. 2011. V. 436. P.1-16.
14. Muller S., Vahatalo A.V., Granskog M.A., Autio R., Kaartokallio H. Behaviour of dissolved organic matter during formation of natural and artificially grown Baltic Sea ice // Annals of Glaciology. 2011. V. 52. № 57. P. 233-241.
15. Stein R., Macdonald R.W. The organic carbon cycle in the Arctic Ocean. Berlin: Springer-Verlag, 2004. 364 p.
16. Stedmon C.A., Amon R.M.V., Rinehart A.J., Walker S.A. The supply and characteristics of colored dissolved organic matter (CDOM) in the Arctic Ocean: Pan Arctic trends and differences // Marine Chem. 2011. V. 124. P. 108-118.

We have analyzed the state of the problem on marine colloidal organic matter. Its classification, principal sources, analytical techniques have given. Main problems and its solving emphasized. Colloidal organic matter plays an important but still overlooked role in global organic carbon cycling. More work is required to identify the importance of colloids on carbon cycling and global climate changes.

Филатова Т.Б.

(Институт аридных зон Южного научного центра РАН, Ростов-на-Дону, filatova@ssc-ras.ru)

Особенности режима биогенных веществ в водах Керченского пролива

Filatova T.B.

(Institute of Arid Zones of the Southern Scientific Centre RAS, Rostov-on-Don)

The peculiarities of Biogenic Matters Conditions of the Kerch Strait

Керченский пролив интересен для исследований, так как подвержен периодически меняющемуся влиянию Чёрного и Азовского морей, воды которых во многом различны по своим гидрохимическим характеристикам, он играет важную роль в водном балансе Азовского моря, в водообмене между Азовским и Чёрным морем.

В 2007-2008 гг. Южным научным центром РАН на НИС «Денеб» была проведена серия комплексных экспедиций в Азовском и Чёрном морях. Анализы проводили сразу же после отбора проб непосредственно в судовой лаборатории. Концентрации растворённых биогенных веществ определяли после фильтрования проб: фосфаты – по методу Морфи и Райли [1]; нитриты – по методу Бендшнайдера и Робинсона [2]; нитраты – по методу Морриса и Райли (в модификации Грассхоффа; Стрикленда и Парсонса; Сапожникова, Гусаровой, Лукашёва) [2].

В апреле 2007 г. из вышеперечисленных биогенных соединений лишь содержание фосфатов в предпроливном участке Чёрного моря в придонном горизонте было значительным и составляло 34 мкг/л, содержание их как в северной части Керченского пролива, так и в южной, снижалось до аналитического нуля, в центральной части при этом составляя 15 мкг/л в поверхностном горизонте. Содержание нитратов было заметным в это время года и составляло на станции в северной части Керченского пролива 46 мкг/л в поверхностном горизонте и 28 мкг/л в придонном слое, на станции в южной части – 23 мкг/л в поверхностном слое и 16 мкг/л у дна, то есть у поверхности концентрации превышали придонные в 2 раза.

Летом 2007 г. содержание фосфатов было повышенным (37 мкг/л) в поверхностном горизонте в азовском предпроливном районе.

В 2008 году особое внимание было уделено состоянию качества вод Керченского пролива в связи с аварией судов, произошедшей 11 ноября 2007 года. Южный научный центр РАН располагает результатами определения биогенных веществ (фосфатов, нитритов, нитратов) в водах Керченского пролива, полученными при анализе отобранных на данной акватории проб до аварии, сразу после аварии и по прошествии различных периодов времени (через 5 месяцев, 7 месяцев и почти через год).

В ноябре 2007 года, сразу после аварии, на исследованном полигоне наблюдались наибольшие концентрации как фосфатов, так и нитритов, при этом в поверхностном горизонте фосфаты присутствовали в количестве 0–67 мкг/л, нитриты – 3–13 мкг/л. В придонном горизонте эти вещества изменялись в диапазоне 2–70 мкг/л и 2–16 мкг/л соответственно [3].

Анализ проб воды, отобранных в Керченском проливе в апреле 2008 г., показал, что на исследованной акватории содержание фосфатов в поверхностном горизонте изменялось в диапазоне от 1 до 34 мкг/л, нитритов – от 2 до 3 мкг/л, а нитратов – от 0 до 7 мкг/л. При этом в придонном слое воды концентрации фосфатов, нитритов и нитратов укладывались в интервалы 0–75 мкг/л, 2–4 мкг/л, 0–7 мкг/л соответственно. В это время фосфаты у выхода в Чёрное море имели значения несколько ниже (6 мкг/л), чем в северной части (8 мкг/л) в приповерхностном слое. Что касается их содержания у дна, то на севере оно было значительно и составляло 75 мкг/л.

В июне 2008 г. анализ проб воды, отобранных в Керченском проливе, дал следующие результаты: содержание фосфатов в поверхностном горизонте изменялось в диапазоне от 3 до 8 мкг/л, нитритов – от 1 до 2 мкг/л, нитратов – от 3 до 9 мкг/л, в придонном горизонте – 4–15 мкг/л, 1–2 мкг/л, 2–7 мкг/л соответственно. Концентрации фосфатов в северной части пролива были немного выше (8 мкг/л), чем в южной его части (5 мкг/л). Видимо, изменение концентраций находится в зависимости от направления ветровой активности и изменения сезонных течений в проливе.

Обнаруженные в октябре 2008 года в Керченском проливе концентрации нитрит-ионов (0–2 мкг/л) и ортофосфат-ионов (0–5 мкг/л) невысоки и характерны для периода снижения продукционной активности фитопланктона и низкой в это время года активности бактериальной переработки органического вещества. В этот период содержание нитритов, нитратов и фосфатов было незначительно выше в северной части Керченского пролива.

Весной в северной части пролива содержание минерального фосфора бывает ниже, чем в южной его части. Это связано с тем, что в Азовском море фосфаты весной могут снижаться до аналитического нуля, что не наблюдается в Чёрном море. Такое же своеобразное распределение наблюдается и по другим гидрохимическим компонентам. Осенью же, когда содержание фосфатов в Азовском море значительно, количество их в проливе может также значительно увеличиваться. Изменение содержания фосфатов в различные сезоны в Керченском проливе связано с постоянной сменой течений в нём, с перемешиванием вод Азовского и Чёрного морей, различных по содержанию в них фосфатов, и с жизнедеятельностью организмов.

Известно, что для водных масс Азовского моря характерно увеличение содержания фосфатов от поверхности ко дну. Однако вследствие

неравномерного развития фотосинтетических процессов в водной толще и в связи с перемешиванием вод во время штормовой активности это распределение может нарушаться. В Керченском проливе, например, происходит или некоторое увеличение фосфатов от поверхности ко дну, или наблюдается однообразное распределение по вертикали. Только в отдельных случаях их содержание у дна снижается [4].

Весной в Азовском и Чёрном морях интенсивно потребляются нитриты и нитраты, что связано с сильным развитием фитопланктона. Это приводит иногда к полному отсутствию нитритов в Керченском проливе по всей площади от поверхности до дна. В осенний период колебания в содержании соединений азота имеют очень большой диапазон. Изменения нитритов и нитратов по глубине характеризуются уменьшением содержания их от поверхности ко дну. Однако такое распределение легко нарушается при возникновении волнения и перемешивания водных масс, при пятнистом распределении планктона.

Проведённые в 2007-2008 гг. Южным научным центром РАН экспедиции позволили получить данные о содержании и распределении минеральных форм биогенных элементов в водах Керченского пролива.

Во время наших исследований закономерных изменений концентраций нитритов и нитратов по глубине не отмечалось, имело место как уменьшение, так и увеличение их концентраций с увеличением глубины. Их распределение, как и распределение фосфатов, также может легко нарушаться при возникновении волнения и перемешивания водных масс, а также при пятнистом распределении планктона. В азовском предпроливном районе у Керченского пролива на распределение биогенных веществ влияет подток черноморских вод. Изменения содержания биогенных элементов в водных массах связаны не только с особенностями экологии водоёма, с неравномерным развитием процессов трансформации органического вещества в водной толще, но и с гидрологической обстановкой, часто гидродинамические факторы играют ведущую роль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 52.24.382-2005. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом.
2. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М.: ВНИРО, 1988. 119 с.
3. Филатова Т.Б. О воздействии аварии в Керченском проливе 2007 года на содержание биогенных веществ в морской воде // Экологические проблемы. Взгляд в будущее. Сборник трудов V Международ. научно-практической конференции (7–10 сентября 2008 года). СОЛ «Лиманчик». Ростов-на-Дону, 2008. С. 464–466.
4. Гидрометеорологический справочник Азовского моря / Под ред. Аксёнова А.А. Л.:Гидрометеорологическое издательство, 1962. 854 с.

The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences' complex marine research trips to the Sea of Azov and the Black Sea that were carried out in 2007-2008 allowed to obtain data on contents and distribution of mineral forms of biogenic elements in waters of the Kerch Strait. The changes of biogenic elements' contents in water masses not only by ecological peculiarity of the waters, and inhomogeneous development of transformation processes of organic matter in water masses, but also with hydrobiological situation are caused.

Чупаков А.В., Морева О.Ю., Покровский О.С.

(Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, Архангельск, artem.chupakov@gmail.com)

Биогенный и микроэлементный (K, Cr, Mn, Fe, Co, As, Rb, Sr, Zr) режим озера Светлое (водосборный бассейн Белого моря)

Chupakov A.V., Moreva O.Yu., Pokrovsky O.S.

(Institute of ecological problems in the North Ural Branch RAS, Arkhangelsk)

Nutrients and traces elements (K, Cr, Mn, Fe, Co, As, Rb, Sr, Zr) of Lake Svetloe (the catchment area of the White Sea)

В Архангельской области сосредоточено большое количество озер, которые являются истоками для многочисленных рек и ручьев, и процессы трансформации, накопления вещества, происходящие в данных озерах, оказывают влияние на формирование химического состава всего водотока. Подавляющее большинство гидрологической сети Архангельской области принадлежит к водосборному бассейну Белого моря и возможно, что изменения, происходящие в озерах на водосборе, могут оказывать влияние на процессы в эстуариях.

Озеро Светлое находится примерно в 65 километрах на северо-восток от города Архангельска. Данное озеро является первым в системе из 5 озер, дающих начало реке Светлая, которая относится к водосборному бассейну Белого моря. По своим морфометрическим признакам озеро Светлое можно отнести к малым глубоководным озерам. Максимальная длина составляет около 900 метров, максимальная ширина 200 м, максимальная глубина 39 метров, площадь зеркала составляет 0.3047 km^2 , объем 0.0032 km^3 .

По данным геолого-структурного разреза Юго-Восточного Беломорья подстилающие породы в данном районе сформированы четвертичными отложения ледникового происхождения (мощность 25–30 метров), алевритами и песчаниками падунской свиты венда (мощность ≈ 150 метров), алевритами и аргиллитами мезенской свиты венда (мощность ≈ 125 метров) и аргиллитами усть-пинезской свиты венда (мощность ≈ 475 метров). Почвы подзолитые и подзолы со вторым осветленным горизонтом на суглинистой карбонатной морене с маломощным покровом песков и супесей.

Изменения температуры водной толщи в течении года установлены только на горизонтах до 22 метров. Толща воды находящаяся ниже имеет постоянную годовую температуру 3.9°C . Вертикальный профиль концентрации растворенного кислорода в целом имеет одинаковый характер во все сезоны. В октябре (период осенней гомотермии) наблюдалось понижение концентрации, вследствие конвективного перемешивания поверхностных горизонтов. Удельная электропроводность

на поверхности составляет в течение года 150-250 $\mu\text{Sm}/\text{cm}^2$, а в придонном горизонте 340-380 $\mu\text{Sm}/\text{cm}^2$. На глубинах от 21 до 25 метров происходит резкое увеличение данного показателя (рис. 1).

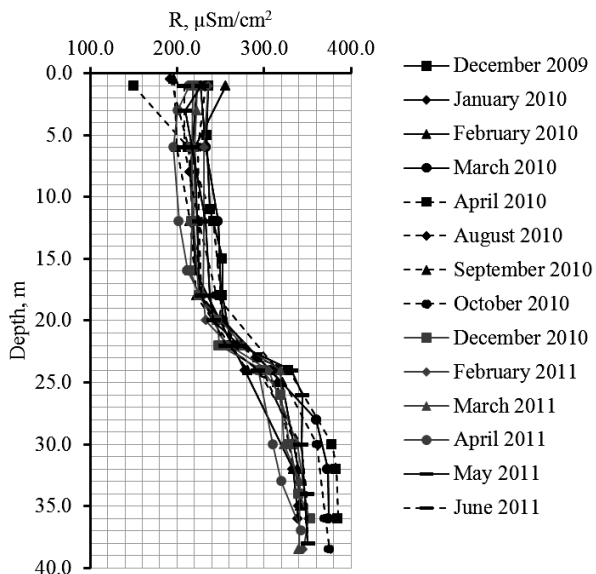


Рис. 1. Сезонная динамика удельной электропроводности

Изменение рН имеет более вариабельную структуру годовой изменчивости. Самые высокие значение для поверхностных горизонтах наблюдались в периоды массового развития фитопланктона. С изменением глубины наблюдается общая тенденция уменьшения данного показателя. На глубинах 24–25 метров прослеживается небольшой «скачек». Таким образом данное озеро является пресноводным меромиктическим водоем с небольшим градиентом минерализации. На глубинах от 18 метров начинается анаэробная зона (рис. 2) с содержанием сероводорода до 2.9 $\mu\text{M}/\text{l}$.

Проведенные в 2010 году исследования по элементному составу и содержанию биогенных элементов показали, что в монимлимнионе происходит значительное увеличение концентраций NH_4^+ , NO_2^- , N_{org} , PO_4^{3-} , Si, K, Mn, Fe в форме Fe^{2+} , Co, As, Sr, Zr, по сравнению с горизонтами миксолимниона.

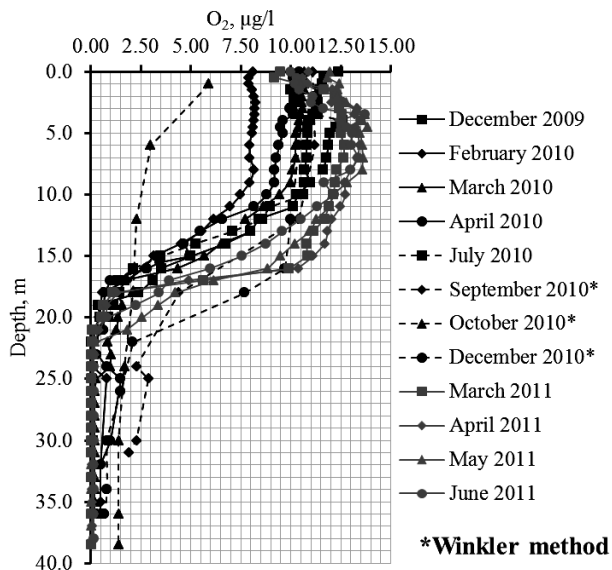


Рис. 2. Сезонная динамика содержания кислорода

Режим биогенных элементов в водоеме определяется их притоком с осадками, с поверхностными и грунтовыми водами, выносом со стоком. Круговорот биогенов в озере совершается в результате биохимической деятельности водных организмов и гидрологических процессов: перемешивания водных масс, их водообмена и взаимодействия с атмосферой. Поскольку перемешивания водных масс в озере Светлом практически не происходит, круговорот биогенных элементов остается не завершенным. Биогены, попадая в озеро с осадками и поверхностными водами, используются организмами в процессе их жизнедеятельности и после их отмирания опускаются в придонные слои, где происходит распад и минерализация органических соединений. Так как в придонных горизонтах недостаточное количество растворенного кислорода, минерализация органических соединений идет в восстановительных условиях. Аммонийный азот, образовавшийся в результате минерализации органических соединений, не окисляется до нитратов. Из-за недостаточного перемешивания минеральные соединения азота, фосфора и кремния накапливаются в придонных горизонтах и практически не поступают в миксолимнион озера.

Содержание биогенов в миксолимнионе озера невелико. Средние концентрации биогенных элементов составляли: фосфаты – 6.1 мкгP/л, аммонийный азот – 17 мкгN/л, нитриты – 1.3 мкгN/л, кремний – 2459 мкг/л.

В содержании биогенных элементов в миксолимнионе в течение года прослеживаются сезонные изменения – отмечено их снижение в период вегетации. В монимлимнионе озера наблюдались максимальные значения концентраций биогенных элементов, за исключением нитратов, во все периоды наблюдений, которые имели следующие средние значения: фосфаты – 1386.5 мкгP/л (рис. 3), аммонийный азот – 2056.2 мкгN/л, нитриты – 10.5 мкгN/л, кремний – 12246.8 мкг/л.

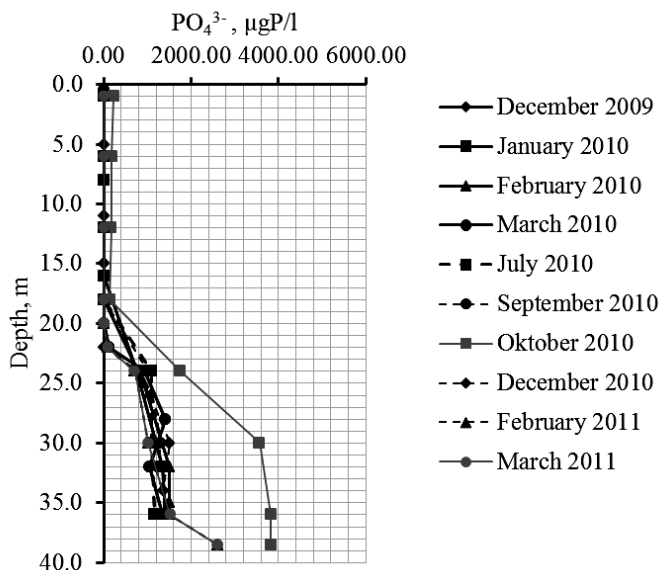


Рис. 3. Содержание минерального фосфора

Накопление микроэлементов (K, Cr, Mn, Fe, Co, As, Rb, Sr, Zr) в растворенной форме в монимлимнионе также как и биогенных элементов, обуславливается меромиктической структурой озера Светлое. На графике (рис. 4) отчетливо видно накопление железа в форме Fe^{2+} .

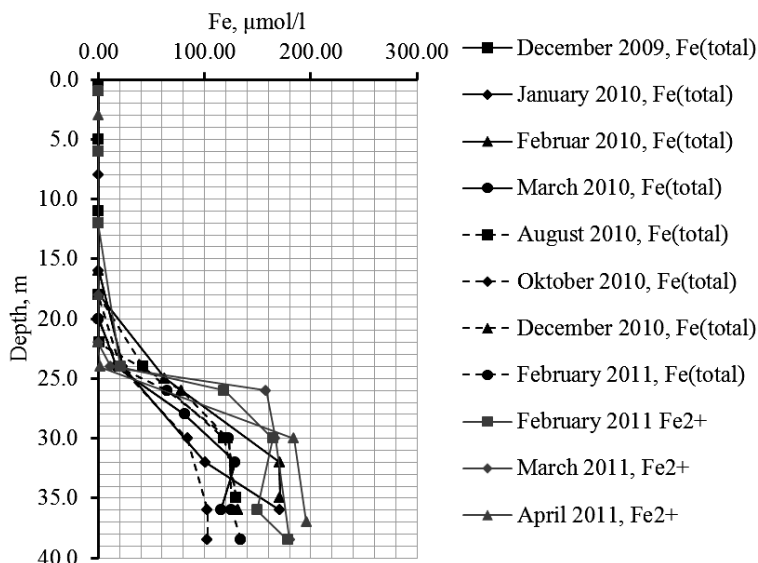


Рис. 4. Содержание общего железа и железа (II)

Меромиктическое пресноводное озеро Светлое является естественным резервуаром накопления выделенных элементов. Благодаря наличию анаэробной статичной зоны монимолимниона вещества, поступающие в озерные воды и продуцируемые внутри лимнической системы, аккумулируются в придонных горизонтах, что способствует уменьшению их выноса в эстуарий Белого моря с водотоками водосборного бассейна. Следовательно, меромиктические озера могут существенно влиять на поступление биогенных и некоторых микроэлементов с материковым стоком.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ-север «Биогеохимические циклы серы, углерода и сопряженных с ними элементов в экосистемах малых озер Архангельской области» № 11-05-98802 и проектов Молодые ученые УрО РАН 2010, 2011 годов.

The results of hydrochemical studies the distribution of nutrients and K, Cr, Mn, Fe, Co, As, Rb, Sr, Zr of meromictic freshwater Lake Svetloe of the Arkhangelsk region (the catchment area of the White Sea). Horizontal distribution of contents O_2 , concentration $P-PO_4^{3-}$, $N-NO_2^-$, $N-NH_4^+$, total P and N, dissolved Si in epi- and hypolimnion are considered.

Шулькин В.М.¹, Жабин И.А.²

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, shulkin@tig.dvo.ru;

²Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток)

Влияние вариаций химического состава стока р. Амур и процессов в Амурском лимане на биогеохимию железа в прилегающей акватории Охотского моря

Shulkin V.P.¹, Zhabin I.A.²

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, ²Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok)

The influence of Amur River runoff and processes in Amur Liman on the biogeochemistry of iron at the adjacent Okhotsk Sea area

Важная роль растворенных форм железа в обеспечении первичной продукции фитопланктона доказана и для океанических, и для прибрежных акваторий [1]. Повышенная концентрация растворенного Fe в стоке р. Амур по сравнению с другими крупными реками Евразии, значительный объем речного стока, превышающий 300 км³ в год, и данные спутниковых наблюдений, показывающие возможность выноса флювиогенного материала в юго-восточную часть Охотского моря, указывают на важную роль Амура в обеспечении растворенными формами железа прилегающей морской акватории. Эти же факты позволили выдвинуть гипотезу о возможной связи процессов на водосборе Амура с продукционными процессами в Охотском море [2].

В ходе проверки этой гипотезы в рамках работ по совместному Российско-Японскому проекту «Амур-Охотск» получены уникальные материалы по распределению железа и других показателей в южной части Охотского моря и вариациям стока воды, железа и некоторых других соединений в среднем и нижнем течении р. Амур [2, 3, 4]. Анализ процессов в Амурском лимане и в Сахалинском заливе, а также их влиянию на сток уделялось относительно меньше внимания, хотя для железа активно участвующего в процессах при изменении солёности, значение эстуарного этапа в миграции трудно переоценить.

Целью данной работы является анализ распределения солёности, взеси, растворенных и взвешенных форм железа в Амурском лимане и южной части Сахалинского залива в летний период, когда выносятся 87% годового стока [5]. Для оценки относительной роли физических и биогеохимических факторов, контролирующих биогеохимический цикл Fe в Сахалинском заливе, будут оценены элементы баланса растворенных и взвешенных форм железа в заливе с учетом их биоассимиляции фитопланктоном.

Анализ распределения солёности основан на результатах 4 представительных отборов в середине июня и июля 2005, в начале июня

2006, и в начале июня 2007 г. При этом расход реки в самом нижнем по течению гидрологическом створе п. Богородское (150 км выше устья) составлял 26500, 10131, 15000 и 14800 м³/с, соответственно, т.е. изменялся более чем в 2,5 раза. Данные по взвеси и концентрации форм железа приведены по результатам отборов в июле 2005 и июне 2007. Данные солёности получены при CTD зондировании. Пробы на содержание взвеси и форм Fe отбирали пластиковым батометром на капроновом фале с резиновой лодки во избежание загрязнения от корпуса судна. Растворенные формы отделяли сразу после отбора фильтрацией через капсульный фильтр с размером пор 0,45 мкм. Параллельную аликвоту 1-2 л фильтровали через предварительно взвешенные фильтры Millipore с тем же размером пор для определения содержания взвеси и взвешенных форм Fe. Количество растворенных форм Fe определяли атомно-абсорбционным методом. Кроме того, в Сахалинском заливе было отобрано 4 пробы планктона путем драгирования поверхностного (1-2 м) слоя воды планктонной сетью с размером ячеи 0,05 мм. Просмотр собранного материала под микроскопом показал, что его большая часть представлена диатомовым фитопланктоном, который является основным первичным продуцентом в Охотском море. Пробы планктона разлагали и анализировали аналогично взвеси.

Основное внимание уделено распределению параметров к северу от устья р. Амур, поскольку в теплое время года сток реки направлен в основном в Охотское море [5].

Анализ данных по распределению солёности показывает, что: 1) сезонные вариации расхода реки от 10131 до 26500 м³/с сопровождаются значительными изменениями в пространственном распределении солёности в верхнем 5-7 м перемешанном слое, особенно в пределах лимана; 2) независимо от расхода, южная часть Амурского лимана достаточно перемешана, тогда как в северной части лимана и, особенно в южной части Сахалинского залива, наблюдается стратификация с термохалинным скачком на глубине 10-12 м; 3) вариации расхода реки практически не влияют на положение слоя скачка и не ведут к изменению солёности ниже 12 м на акватории Сахалинского залива.

В поверхностном слое вод наиболее явную связь с изменением величины речного стока демонстрирует положение изохалин 5 и 10‰. При этом изохалина 5‰ не выходит за пределы Амурского лимана независимо от наблюдавшихся расходов реки. Положение изохалин 10 и 15‰ контролируется в большей степени гидрометеорологическими условиями в заливе в период отбора. Во время обсуждаемых в данной работе отборов изохалина 10‰ не смещалась севернее середины Сахалинского залива.

Таким образом, линза прибрежно-морских вод распресненных за счет стока р. Амур, расположена в восточной части Сахалинского залива и имеет солёность 10-25‰. Её северная граница, маркируемая в летнее время по спутниковым данным в инфракрасном диапазоне, не выходит за пределы

Сахалинского залива, несмотря на значительные (до 2,5 раз) вариации исходного речного стока.

Как хорошо известно, главной особенностью поведения растворенных форм Fe при смешении речных и морских вод является быстрый переход во взвесь за счет комплекса коагуляционных процессов [6] при солёности менее 5‰, то есть, в нашем случае, в пределах Амурского лимана. Ускоренное снижение концентрации растворенного Fe с ростом солёности до 5‰ происходит при любом исходном содержания Fe в речных водах. При этом 2^х кратное превышение растворенного Fe в водах Амура в летнюю межень 2005 г. по сравнению со спадом весеннего половодья в июне 2007 г., сопровождается лишь незначительным увеличением средней концентрации растворенного Fe с $4,0 \pm 2,1$ до $5,0 \pm 2,9$ мкг/л в водах с солёностью более 15‰. Таким образом, ускоренное выведение Fe из раствора на начальных этапах смешения снижает влияние вариаций речного стока на поступление растворенных наиболее биодоступных форм металла в море.

На распределении взвешенных форм Fe удаление металла из раствора не сказывается за счет того, что исходное содержание взвешенных форм Fe в речных водах Амура (1000-1500 мкг/л) на порядок выше, чем концентрация в растворе (140-300 мкг/л). В эстуарии Амурского лимана доминирует уменьшение концентрации взвешенных форм железа за счет осаждения взвеси. После выхода из Амурского лимана в Сахалинский залив содержание взвеси и взвешенных форм Fe контролируется осаждением и рассеянием за счет смешения с морскими водами

В центре Сахалинского залива в водах с солёностью 25-30‰ концентрация растворенного Fe снижается до 0,7-1,5 мкг/л, а взвешенных форм – до 20-40 мкг/л. В фотическом слое открытых водах северо-западной части Охотского моря, удаленных от центра Сахалинского залива на 150-250 км концентрация растворенных и взвешенных форм Fe падает до 0,1 и 0,3-0,5 мкг/л, соответственно [4]. То есть, в поверхностном слое вод северо-западной части Охотского моря по мере удаления от центра Сахалинского залива происходит уменьшение концентрации растворенных и взвешенных форм Fe на порядок и более, хотя солёность при этом меняется незначительно.

Таким образом, с одной стороны, влияние стока р.Амур, как приходной части баланса Fe в северо-западной части Охотского моря, несомненно. С другой стороны, корреляция и связь гидрохимических параметров, в том числе и концентрации растворенных и взвешенных форм железа, с сезонными вариациями величины речного стока обнаруживаются в ослабленном виде только в пределах юго-восточной части Сахалинского залива.

Это свидетельствует о преобладании внутрисистемных процессов, контролирующих миграцию Fe в экосистеме Сахалинского зал. Важнейшим из этих процессов является продуцирование органического вещества

планктоном. Первичная продукция фитопланктона в Сахалинском заливе в июле-августе составляет $0,41 \pm 0,21$ гС/м²/день и увеличивается до $0,82 \pm 0,30$ гС/м²/день на разрезе от северного окончания о.Сахалин на северо-восток [7]. Для оценки поглощения Fe фитопланктоном использованы как данные, полученные в экспериментах по ассимиляции планктоном Fe с радиоактивной меткой [8], так и данные по химическому составу сетного планктона, собранного в Сахалинском заливе.

Результаты расчета в сочетании с некоторыми другими элементами баланса Fe в экосистеме Сахалинского залива показывают (Табл.), что полное поглощение растворенного Fe фитопланктоном в восточной части Сахалинского залива, в пределах линзы распресненных вод, может произойти за 4-6 дней даже в период не самой высокой продуктивности [7].

Таблица. Элементы баланса биогеохимического цикла Fe в Сахалинском заливе.

	Июнь 2005	Июль 2005	Июнь 2007
Расход реки, м ³ /сек	26500	10130	15000
Исходный поток в лиман	н.о.	$262,6 \cdot 10^6$	$194,4 \cdot 10^6$
Fe _{раств} , г/сут			
Поток в Сахалинский зал.	н.о.	$3,5 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$
Fe _{раств} , г/сут*			
Исходный поток в лиман	$1832 \cdot 10^6$	$1400 \cdot 10^6$	$1037 \cdot 10^6$
Fe _{взвеш} , г/сут			
Поток в Сахалинский зал.	$550 \cdot 10^6$	$306 \cdot 10^6$	$73 \cdot 10^6$
Fe _{взвеш} , г/сут*			
Поглощение Fe, г/сут, при ПП= $0,41$ гС/м ² .д**	$0,6 \cdot 10^6$	$0,6 \cdot 10^6$	$0,6 \cdot 10^6$
То же, при ПП= $0,82$ гС/м ² .д**	$1,1 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$
Поглощение Fe г/сут, при ПП= $0,41$ гС/м ² .д***	$21,7 \cdot 10^6$	$21,7 \cdot 10^6$	$21,7 \cdot 10^6$
То же при , при ПП= $0,82$ гС/м ² .д***	$43,6 \cdot 10^6$	$43,6 \cdot 10^6$	$43,6 \cdot 10^6$

* - принимая, что весь сток Амура направлен в Сахалинский зал., и концентрация растворенных и взвешенных форм Fe на выходе составляет 2-4 мкг/л и 56-350 мкг/л, соответственно;

** - принимая содержание С в фитопланктоне 31,2% и концентрацию Fe в диатомовом фитопланктоне 73 мкг/г сухой массы;

*** - принимая содержание С в фитопланктоне 31,2% и концентрацию Fe в фитопланктоне 2800 мкг/г сухой массы.

Таким образом, основная часть растворенного Fe вовлекается в продукционный цикл фитопланктона в пределах Сахалинского залива. Если для расчета вовлечения Fe в биогеохимический цикл в Сахалинском заливе использовать концентрацию металла в сетном планктоне (2800 мкг/г), время

необходимое для перевода растворенного Fe, вынесенного из Амурского лимана, в биогенную взвесь снизится до нескольких часов (табл.).

При столь интенсивной биоассимиляции и биосорбции, вероятно, что именно продукционно-деструкционный цикл фитопланктона в сочетании с сорбцией на взвеси, а также гидрометеорологические характеристики акватории, а не вариации речного стока, будут определять особенности дальнейшей миграции растворенного Fe в северо-западной части Охотского моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Martin J.M., Gordon R.M. Northeast Pacific iron distribution in relation to phytoplankton productivity // *Deep Sea Res.* 1988. V. 35. P. 177-196.
2. Nakatsuka T., Nishioka J., Suzuki K. et al. Iron transport processes and their impacts on primary productivity in the Sea of Okhotsk // *Report on Amur-Okhotsk Project # 6.* Research Institute for Humanity and Nature. Kyoto. 2010. P. 31-40.
3. Nishioka J., Ono T., Saito H. et al. Iron supply to the western subarctic Pacific: Importance of iron export from the Sea of Okhotsk // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. C 10012 doi: 10.1029/2006JC004055.
4. Nishioka J., T. Ono, H. Saito, K. Sakaoka, T. Yoshimura. Oceanic iron supply mechanisms which support the spring diatom bloom in the Oyashio region, western subarctic Pacific // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. C02021, doi:10.1029/2010JC006321.
5. Якунин Л.П. Распределение речного стока по фарватерам устья Амура // *Тр. ДВНИГМИ.* 1978. Вып. 71. С. 162-168.
6. Sholkovitz E.R. The flocculation of dissolved Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co, Cd during estuarine mixing // *Earth Planet. Sci. Let.* 1978. Vol. 41. P. 77-86.
7. Sorokin Y.I., Sorokin P.Y. Production in the Sea of Okhotsk // *J. Plankton Res.* 1999. V. 21. P. 201-230.
8. Sunda W. and Huntsman S. Iron uptake and growth limitation in oceanic and coastal phytoplankton // *Marine Chemistry.* 1995. V. 50. P. 189-206.

The influence of Amur River runoff is traced at the composition of water within surface layer of estuary and coastal areas, and is leveled within Sakhalin Bay. The dissolved Fe is additionally leveled by the coagulation. Calculation of the Fe uptake by plankton indicates the decisive role of primary production processes in Sakhalin Bay in further migration of the metal in the Sea of Okhotsk.

Nasr S.M., El Eskandrani M., El Gamal Sh.M.M.

(Institute of graduate studies and research, Alexandria University, Egypt)

Geocemical and granulometric normalization for heavy metals in bottom sediments of Eastern harbour, Alexandria, Egypt

The Eastern Harbor of Alexandria (EH) is located in the central part of Alexandria. The discharge of many contaminating materials into the marine environment has the potential to degrade environmental quality. And it is difficult to determine what proportion of the sedimentary metal load are anthropogenic inputs and what proportion from natural input. The main objective of the study is to differentiate between natural and anthropogenic source of heavy metals in marine sediment of the Eastern Harbor by normalization technique. The technique consists of establishing the relationships between metal concentrations and the normalizer (grain size, total carbonate and total organic carbon), by estimating the linear regression model along with the 95 % confidence band). All points within the 95% confidence band of the model were representing natural sediments, whereas points above this area were representing contaminated sediments or anthropogenic input. The results show that the sediment contamination by metals are as given $Pb > Cu > Cr > Zn > Mn$.

Introduction

The Eastern Harbor of Alexandria (EH) is located in the southeastern Mediterranean Sea. It is located in the central part of Alexandria. It is a shallow, protected, semi-enclosed and circular basin, laying at latitude $31^{\circ}12' 00''$ and $31^{\circ}12' 53''N$ and longitude $29^{\circ} 52' 52''$ and $29^{\circ} 54' 20'' E$ covering an area of about 2.8 km^2 (Ismael et al., 2003). The harbor is currently used by fishing ships and as a fish dock as well as being used as a marina. Inside the Eastern Harbor many invaluable underwater archaeological finds were discovered (El Rayis et al., 2003). The main objective of the study is to differentiate between the natural and anthropogenic source of heavy metals in marine sediment of Eastern Harbor of Alexandria.

Materials and methods

Forty surfacial sediment samples were collected from the Eastern Harbor of Alexandria during 2002 (Fig. 1). The dry samples were divided into two portions. The first portion was used for grain size distribution by dry sieving (mechanical analysis). The second portion was used for chemical analysis. The organic carbon (OC) was determined by the direct method (El-Wakeel and Riely, 1957). The carbonate content ($CO_3\%$) is calculated from a gasometrical measurement using the Calcimeter apparatus (Machette, 1986). Heavy metal contents (Cu, Cr, Pb, Zn, Ni, Mn and Fe) were performed according to the methods described by

(Loring and Rantala, 1992), using Parkin Elmer Flame Atomic Absorption spectrophotometer (AAS).

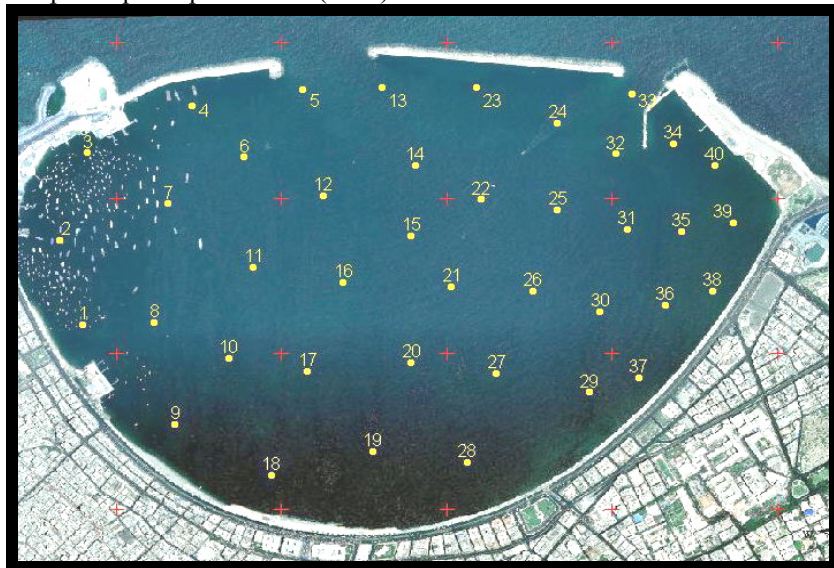


Fig. 1. Sampling sites of Study area

Results and Discussion

The study highlighted on the levels of the total heavy metals concentrations (Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Cr and Ni) (Fig. 2, 3 and 4) in the bottom sediment from Eastern Harbor of Alexandria, Egypt, also sediment texture, organic matter and total carbonates. The texture of sediments shows that, the percent of sand in the sediment represents about 85% of the sediment texture. The coarse sand represent about 17.5% , The medium sand represents about 30% ,The fine sand represent about 27.5% , very fine sand represent about 10% from the total area of EH. The mud cover about 15% from the sediment texture. Total organic matter is one of the most important factors of pollutant in marine sediments. It was ranging between (0.27 to 5.18%). The total carbonate percent (TCO3%) in the sediment of Eastern Harbor was ranging between (42.40 to 76%).

Normalization

In order to assess whether the observed high metal concentrations represent contamination of sediments, investigation of the relationships among concentrations of different metals and normalisers were performed. The technique consists of establishing relationships between metal concentrations and the normalizer (grain size MZ, total carbonate TCO3%, total organic carbon TOC %), by estimating the relative linear regression model along with the 95 % confidence band. All points within the 95% confidence band of the model were

considered as natural sediments, whereas points above or below this area representing contaminated sediments. The normalization of Iron **Fe** with (MZ), (TOM %) and (TCO3%) shows that, about half the points fall outside the confidence band 95%. It concludes that the main source of Fe is from anthropogenic input and the remaining part from natural background.

The normalization of manganese (**Mn**) with the mean grain size (MZ) is moderately positive correlation ($r = 0.65$), about half the points fall inside the confidence level 95%. According to the grain size normalization, it reflects that the source of Mn is mixture from natural and anthropogenic input, but most of it from natural background.

The normalization of Zinc (**Zn**) with (MZ), (TOM %) and (TCO3%) conclude that, the main source of Zn is from anthropogenic input and the other part from natural background.

The normalization of lead (**Pb**) with (MZ), (TOM %) and (TCO3%) (Fig. 5, 6 and 7) show that, more than half the points fall outside the confidence level 95%. It revealed that the main source of Pb is from anthropogenic input.

The normalization of copper (**Cu**) with (MZ), (TOM %) and (TCO3%) (Fig. 8, 9 and 10) show that, moderate positive correlation was found between Cu and (TOM %) ($r = 0.50$), and the main source of Cu is from anthropogenic input.

Also, the chromium (**Cr**) normalization with (MZ), (TOM %) and (TCO3%) (Fig. 11, 12 and 13) show that, the normalization of Cr with (TOC %), is moderately positive ($r = 0.49$). It means that the main source of Cr is from anthropogenic input (Fig. 12).

Assessment of sediment contamination

In the present study, three approaches were employed to evaluate the sediment pollution; comparison with the background value, sediment quality guidelines and contamination factors.

1. Comparison with the background value

The background values of the different elements were defined, depending on the international standards. The concentrations of Zn, Pb, Cu, Cr and Ni were greater than the elemental background concentrations. The concentrations of Mn at all stations were less than the background value.

2. Sediment Quality Guidelines (SQG)

To evaluate the level of contamination, sediment was classified into three categories: Non-polluted, moderately polluted and heavily polluted, based on SQG of US Environmental Protection Agency (EPA). Pb, Cu, Cr and Ni show that, they considered as heavily polluted as shown in fig 14, 15 and 16. Mn considered as Non-polluted.

3. Contamination Factor (Cf)

Contamination factor (CF) is defined as, the metal content ratio with respect to background level, and ranks the degree of sediment

contamination in four classes: $CF < 1$ = low CF, as shown with Mn. $1 \leq CF < 3$ = moderate CF as shown with (Zn and Cr). $3 \leq CF < 6$ = considerable CF as (Pb, Cu and Ni). $CF \geq 6$ = very high CF.

Pb > Ni > Cu > Cr > Zn > Mn

Principal Component Analysis (PCA)

Principle component analysis (PCA) is applied on the multivariate data derived from the geochemical analysis of 40 sediment samples of the (EH) of Alexandria. The data contains seven variables, (Fe), (Mn), (Zn), (Pb), (Cu), (Cr) and (Ni). There is only one significant factor, which explains 92.40% of the variance in the data set that can be extracted. The largest Eigenvalue represents about 92.4% of the total variance. The corresponding normalized Eigenvector X1 is very strongly coupled with Fe with weighing factor of 0.965, coupled with Mn with a factor 0.147 and weakly coupled with the remaining parameters.

Fe < Mn < Cu < Zn < Cr < Pb < Ni

The hot spots and cleanest stations were determined by using principle component analysis PCA it show that highest polluted area lies in the western part at El Boghaz and ship yard area and the cleanest area located in the eastern part of the harbor at El Silsila opening **Fig (17, 18)**.

REFERENCES

1. Ismael A.A., Khadr A.M. Alexandrium minutum cysts in sediment cores from the Eastern Harbour of Alexandria, Egypt // *Oceanologia*. 2003. V. 45 (4). P. 721–731.
2. Rayis O.A., Hemeda E.I., Ismael A.M., Jammo K. Approaches to environmental restoration of a polluted harbor with submerged archaeology: the Alexandria case study // *Marine Pollution Bulletin*. 2003. V. 47. P. 193-197.
3. El-Wakeel S.K., Riley J. P. Determination of organic carbon in marine mud. *Journal of conseil // Cons. Per. Int. explor. Mer*. 1957. V. 22(2). P. 180-183.
4. Machette M. Calcium and magnesium carbonates // Singer M.J. and Janitzky P., eds. / *Field and laboratory procedures used in a soil chronosequence study: U.S. Geological Survey Bulletin*. 1986. V. 1648. P. 30–33.
5. Loring D.H., Rantala R.T.T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter // *Regional Seas, Reference methods for marine pollution studies no. 63 UNEP, Earth-Science Reviews*. 1992. V. 32. P. 235-283.
6. Nasr S.M., Okbaha M.A., Shaif M.K. Environmental assessment of heavy metal pollution in bottom sediments of Aden Port, Yemen // *International Journal of Oceans and Oceanography*. 2006. V. 1 (1). P. 99-109.
7. Nasr S.M. Geochemistry and granulometric normalization for heavy metals in the bottom sediments off Alexandria, Egypt // *The second Conference on the Mediterranean coastal environment. MEDCOAST 95*. 1995. P. 1473-1481.

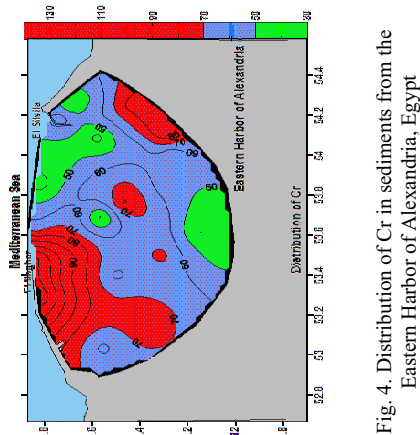


Fig. 4. Distribution of Cr in sediments from the Eastern Harbor of Alexandria, Egypt

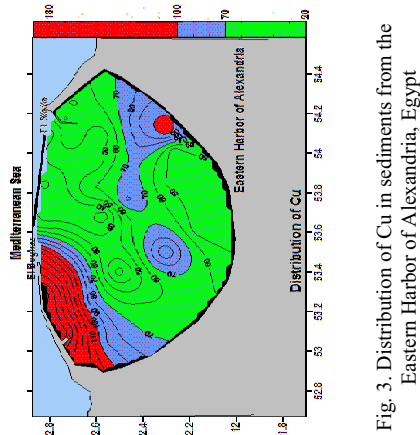


Fig. 3. Distribution of Cu in sediments from the Eastern Harbor of Alexandria, Egypt

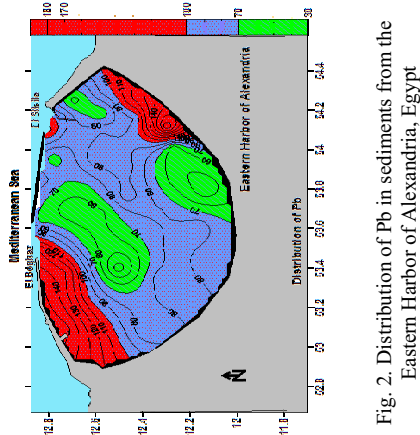


Fig. 2. Distribution of Pb in sediments from the Eastern Harbor of Alexandria, Egypt

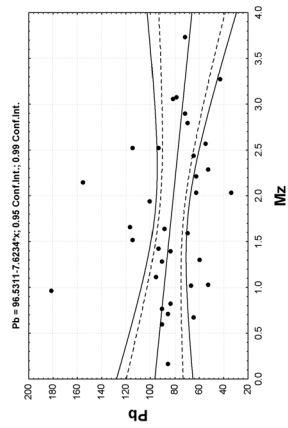


Fig. 5. relationship between trace metal (Pb) and

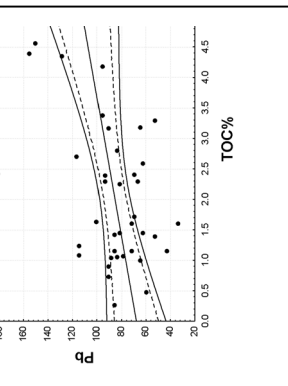


Fig. 6. relationship between trace metal (Pb) and

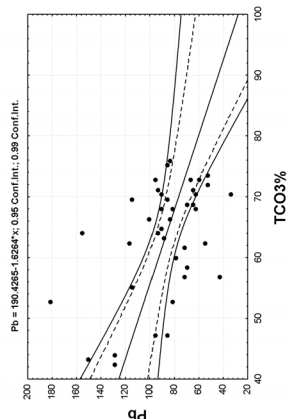


Fig. 7. relationship between trace metal (Pb) and

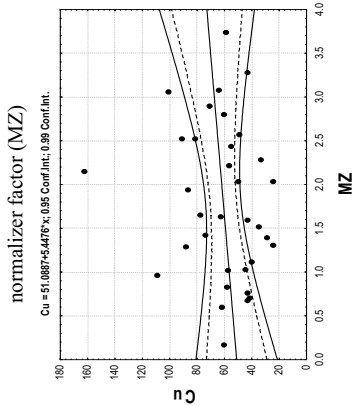


Fig. 8. relationship between trace metal (Cu) and normalizer factor (MZ)

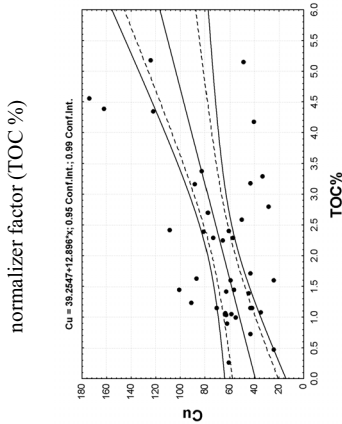


Fig. 9. relationship between trace metal (Cu) and normalizer factor (TOC %)

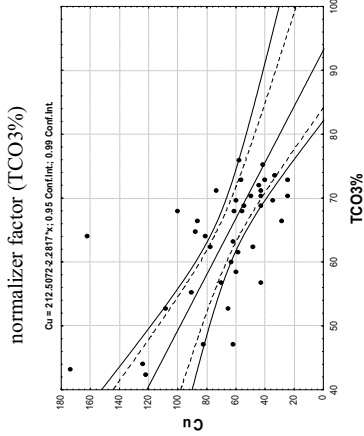


Fig. 10. relationship between trace metal (Cu) and normalizer factor (TCO3%)

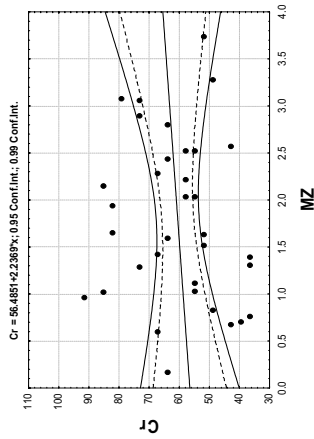


Fig. 11. relationship between trace metal (Cr) and normalizer factor (MZ)

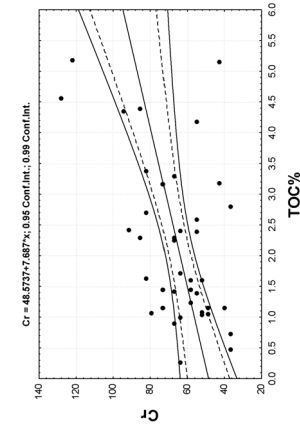


Fig. 12. relationship between trace metal (Cr) and normalizer factor (TOC %)

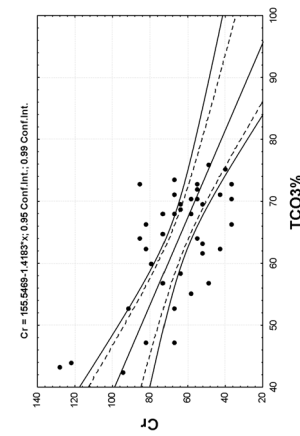


Fig. 13. relationship between trace metal (Cr) and normalizer factor (TCO3%)

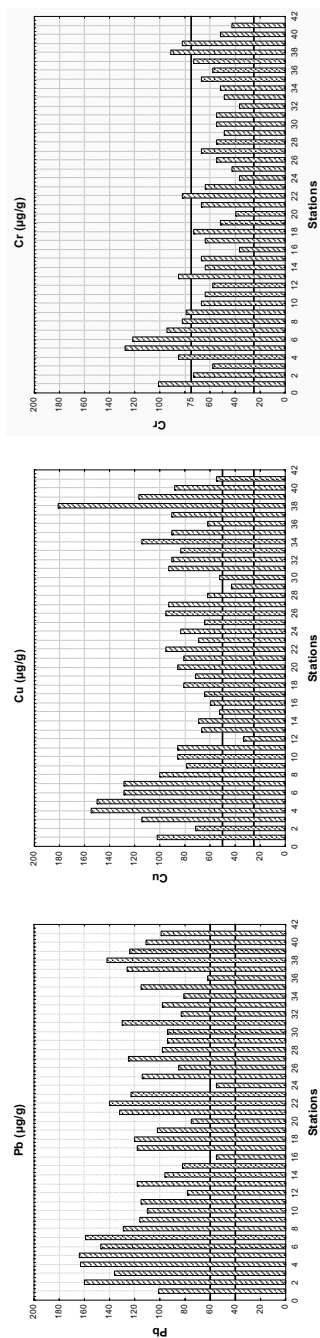


Fig. 14. Pb concentration in sediments of EH

Fig. 15. Cu concentration in sediments of EH

Fig. 16. Cr concentration in sediments of EH

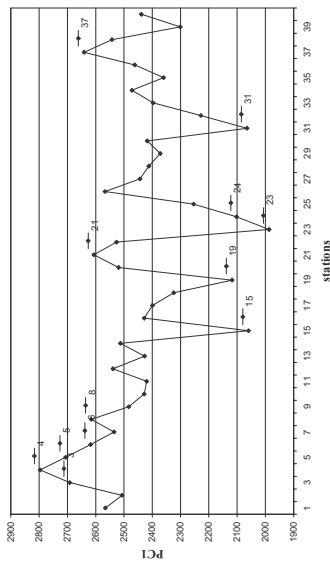


Fig. 17. Degree of contamination at the hot spots and cleanest areas in the Eastern Harbor of Alexandria, Egypt

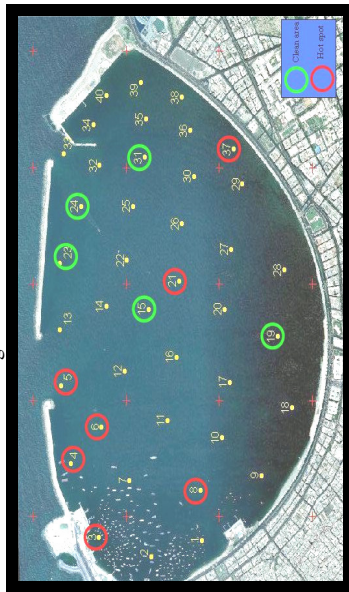


Fig. 18. Hot spots and cleanest areas

СИМПОЗИУМ
ИМ. Н.А. АЙБУЛАТОВА
«ГЕОЭКОЛОГИЯ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ
МИРОВОГО ОКЕАНА, НОВЫЕ
МЕТОДЫ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО
МОНИТОРИНГА»

**Асавин А.М.¹, Константинова Л.И.², Мартынов К.В.²,
Захарова Е.В.²**

(¹ГЕОХИ РАН, Москва, aalex06@inbox.ru, ²Институт физической химии
и электрохимии им. А.Н.Фrumкина РАН, Москва)

**Оценка сорбционных свойств железомарганцевых корок
в отношении радионуклидов**

**Asavin A.M.¹, Konstantinova L.I.², Martynov K.V.²,
Zakharova E.V.²**

(¹Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia,
²Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS, Moscow, Russia)

**Experimental estimation of adsorption feature of Fe-Mn crust
as natural substance for radionuclide sorbent**

В литературе имеется ряд публикаций указывающих на высокие сорбционные свойства железомарганцевых корок в отношении элементов имеющих искусственные долгоживущие изотопы [1-3]. Однако прямых экспериментальных исследований на тему сорбции радионуклидов корками нам обнаружить не удалось. Для выяснения этого вопроса нами были проведены ряд экспериментов по сорбции U-233, Np-237, Pu-238, Am-241 в водной среде близкой к нейтральной (pH +8) при нормальных условиях. Состав используемого раствора отвечал составу морской воды (табл. 1). Вводили соответственно Am 3.27E-9, Np 5E-6, Pu 5E-10, U2.00E-07 мол/л радионуклидов в растворе.

Табл. 1. Солевой состав раствора (общая соленость 35‰)

Na	468	mmol kg ⁻¹ 10 ⁻³
Mg	53	mmol kg ⁻¹ 10 ⁻³
S	28	mmol kg ⁻¹ 10 ⁻³
Cl	546	mmol kg ⁻¹ 10 ⁻³
K	10.2	mmol kg ⁻¹ 10 ⁻³
Ca	10.3	mmol kg ⁻¹ 10 ⁻³
N(NO ³⁻)	45	μmol kg ⁻¹ 10 ⁻³
N(N ₂)	610	μmol kg ⁻¹ 10 ⁻³
Sr	90	μmol kg ⁻¹ 10 ⁻³

В качестве сорбента использовались усредненные пробы железомарганцевых корок с гайотов Магеллановых гор. Опыты проводились с двумя составами, отвечающими усредненному – верхнему молодому слою корок (слой III) и комбинированной пробе из слоев I-1 I-2. В опытах использовались фракции 0.02-0.025. Составы проб приведены в табл. 2.

Табл. 2. Химический состав используемых природных сорбентов

	древний	молодой
Sample	RT	T2
SiO ₂	4.64	9.06
TiO ₂	1.39	1.54
Al ₂ O ₃	1.38	2.02
CaO	11.71	3.24
Fe ₂ O ₃	19.48	21.31
K ₂ O	0.45	0.60
MgO	1.14	1.35
MnO	20.45	22.15
Na ₂ O	1.91	1.86
P ₂ O ₅	4.72	1.15
S	0.27	0.17
Total	67.55	64.45
ppp	31.09	34.2
Summ	98.64	98.65
V	577	2
Co	2880	4350
Ni	2476	3396
Cu	1220	1080
Zn	591	511
Sr	1557	1136
Zr	637	550
Mo	546	361
Nb	58	49
La	212	173
Ce	1228	766

Длительность предварительных опытов достигла 7 суток. График кинетики насыщения на примере U приведен на рис. 1. Как видно из графика радионуклиды достаточно быстро сорбируются материалом корки в первые часы сорбируется более 95% вещества из раствора и после первых суток достигается уровень почти 100% очищения раствора.

Таким образом, предварительные данные показывают перспективность использования природных железомарганцевых корок и сорбентов, приготовленных на их основе, для обеззараживания жидких радиоактивных растворов близких к нейтральным либо слабо кислым и щелочным.

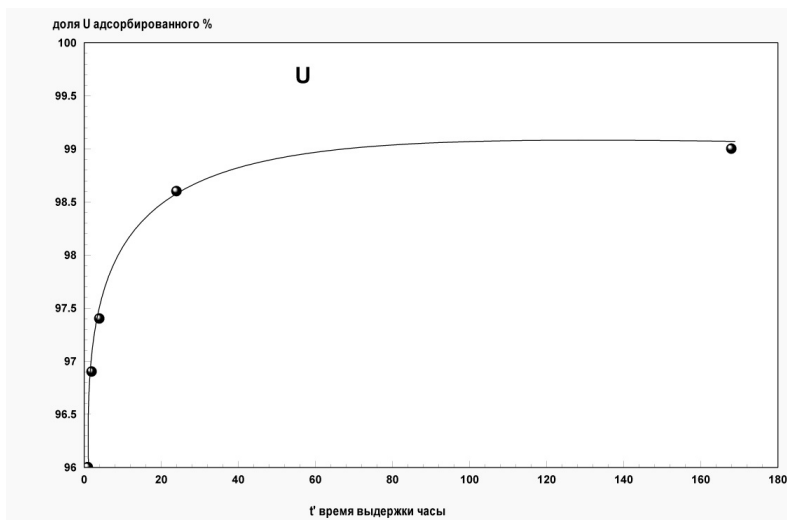


Рис. 1. Пример кинетической кривой сорбции для урана

Интересным следствием полученных результатов является представление о возможности самоочищения современных океанических вод при заражении океана радиоактивными растворами. При наличии мощных геологических процессов рудогенеза на поверхности подводных гор и океанического ложа радиоактивные осадки, попадающие в океан, способны быстро концентрироваться и выводятся из геохимического цикла живого вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Scott T.B., Allen G.C., Heard P.J., Lewis A.C., Lee D.F. The extraction of uranium from groundwaters on iron surfaces // *Proc. R. Soc. A.* 2005. V. 461. P. 1247-1259.
2. Duff M.C., Coughlin J.U., Hunter D.B. Uranium co-precipitation with iron oxide minerals // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 2002. V. 66. № 20. P. 3533–3547.
3. Koschinsky A., Hein J.R. Uptake of elements from seawater by ferromanganese crusts: solid-phase associations and seawater speciation // *Marine Geology.* 2003. V. 198. P. 331-351.

We obtained the preliminary results of experiments by the absorption of radionuclides on the Fe- manganese crust. We studied absorption of U -233, Np -237, Pu -238, Am -241 in the aqueous solution close one in composition to the sea water (+8pH). Results show the rapid absorption of radionuclides. Is more than 95% of the dissolved isotopic substance precipitate after several hours. This makes with its possible to assume the possibility of self-cleaning of process in the ocean from radioactive radioactive fallout of those falling into the ocean.

Владимиров М.В.¹, Холмянский М.А.², Иванов Г.И.³

(¹МЧС РФ, Москва, vladimirovs2001@mail.ru; ²Центр Инновационных технологий, Санкт-Петербург; ³ФГУНПП «Севморгео», Санкт-Петербург)

Подводная объектология – новое направление в морской геологии

Vladimirov M.V.¹, Kholmyansky M.A.², Ivanov G.I.³

(¹EMERCOM OF RUSSIA, Moscow; ²Center of innovation technologies,

³State Company "SEVMORGEO", St. Petersburg)

Underwater objectology as a new direction in marine geology

Подводные потенциально опасные объекты, затопленные на дне акваторий, представляют опасность для окружающей природной среды, так как нарушают течение естественных экзогенных и эндогенных процессов, приносят в неё комплекс элементов, негативно воздействующих на биогенную составляющую экосистемы, и мешают нормальной хозяйственной деятельности.

Начатые в 1994 году комплексные геоэкологические и океанологические работы, выполняемые с целью поиска и обследования затопленных в Балтийском море объектов, содержащих химическое оружие, положили начало системному обследованию затопленных подводных объектов, представляющих угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций и включали достаточно ограниченный набор методов.

С этого времени, и по сегодняшний день, набор методов последовательно трансформировался, объекты и география поисков значительно расширились.

Расширились и наши представления о самих объектах, находящихся в разных морях, в принципиально разных геологических и океанологических условиях.

Накопленные за эти годы опыт работ, большой массив геологических, океанологических и геоэкологических материалов, разработанные теоретические положения, созданные современные аппаратурно-методические комплексы, определили основу нового направления исследований – «**подводную объектологию**». Определить его можно как: «Подводная объектология – наука, изучающая подводные объекты, расположенные на дне акваторий, в донных осадках или гидросфере, имеющие выраженные границы и отличающиеся по своим характеристикам от окружающей природной среды».

Объекты, представляющие опасность для окружающей природной среды, являются подводными потенциально опасными объектами, определение которым дано в постановлении Правительства Российской Федерации от 21 февраля 2002 года № 124: ППОО – это суда, иные плавсредства, космические и летательные аппараты, в том числе их элементы, и другие технические средства, а также боеприпасы, элементы

оборудования и установки, полностью или частично затопленные во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации в результате аварийных происшествий или захоронений, содержащие ядерные материалы, радиоактивные, химические отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества, создающие угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций.

Сегодня нам представляется необходимым, в какой-то мере, расширить это определение: «Подводными потенциально опасными являются объекты природного, техногенного или смешанного происхождения, находящиеся в лито- или гидросфере акваторий и способные оказать негативное воздействие на экосистему в настоящее время и в будущем».

Отсутствие классификации подводных потенциально опасных объектов (ППОО) затрудняло сопоставление и изучение результатов работ и нами была разработана и предложена к рассмотрению классификация, базирующаяся на более чем пятнадцатилетнем опыте поиска и изучения объектов, расположенных в литосфере и гидросфере Балтийского, Белого, Чёрного, Карского, Северного, Норвежского морей, проливов Скагеррак и Каттегат, Ладожского озера и озера Байкал.

В разработанной классификации ППОО подразделяются по:

- генетическому признаку;
- положению в пространстве;
- динамическому состоянию объектов в геологической среде акваторий;
- сроку воздействия на природную среду;
- сроку потенциальной опасности;
- размеру площади воздействия;
- характеру воздействия;
- степени комплексности воздействия на окружающую среду;
- типу ответных реакций среды на воздействие ППОО;
- организационно-социологически-политическому статусу;
- уровню информативности.

Из вышесказанного можно сделать вывод: В разработанной классификации ППОО учтены их собственные характеристики и выполнено группирование по широкому комплексу признаков, нормирующих их взаимоотношение с окружающей природной средой. В числе основных категорий этих признаков выделены: генетическая, пространственная, временная, динамическая, типов взаимодействия с окружающей средой, социальная, информационная».

Таким образом, развитие нового научного направления – «подводной объектологии», – идет по пути дальнейшего теоретического развития и расширения практики исследований на различных акваториях.

Started in 1994 complex geoecological and oceanologic works which are carried out for the purpose of search and inspection, the objects flooded in Baltic

sea containing the chemical weapon, have begun system inspection of the flooded underwater objects posing threat of occurrence of emergency situations and included limited enough set of methods. Stored for these years experience of works, the big file of the geological, oceanological and geoecological materials, the developed theoretical positions, the created modern hardware-methodical complexes, have defined a basis of a new direction of researches – «underwater objectlogy ». To define it it is possible as: «Underwater objectlogy – a science studying underwater objects, located at the bottom of water areas, in ground deposits or the hydrosphere, the having expressed borders and different on the testimonials from of surrounding environment». Thus, development of a new scientific direction – «underwater objectlogy » goes by the way of the further theoretical development and expansion of practice of researches on various water areas.

Горюнова Н.В.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, goryunova@inbox.ru)

Количественное распределение и состав нерастворимых частиц в снежно-ледовом покрове в окрестностях заливов Ис-фьорд и Гронфьорд, арх. Шпицберген

Goryunova N.V.

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

Quantitative distribution and composition of particulate matter in snow-ice cover in vicinity of Is-fjord and Gronfjord areas, Svalbard archipelago

Изучение нерастворимых частиц в различных средах Арктики необходимо для понимания процессов современного осадконакопления и оценки экологического состояния акватории [1, 2].

Комплексные исследования нерастворимых частиц в снежно-ледовом покрове в окрестностях заливов Ис-фьорд и Гронфьорд проводились с 2008 по 2011 гг. За этот период удалось отобрать 158 проб свежевыпавшего снега, 28 интегральных проб из снежных шурфов и 134 пробы льда. В работе изучаются локальные особенности поступления и распределения нерастворимых частиц в снежно-ледовом покрове рассматриваемой территории, вычислен поток аэрозольного материала из атмосферы, описаны локальные особенности механизмов захвата и перераспределения нерастворимых частиц при намерзании и таянии льда.

В течение зимнего сезона в 2008 г. [3] концентрация нерастворимых частиц в пробах свежевыпавшего снега, отобранных на метеоплощадке пос. Баренцбург с дискретностью 1 неделя, варьировала от 2,4 до 158,5 мг/л. Средняя концентрация частиц в пробах поверхностного снега – 34,7 мг/л. Опираясь на данные по концентрации нерастворимых частиц в пробах снега, взятых из снежных шурфов, можно вычислить значения потоков вещества из атмосферы на поверхность суши за зимний период [4]. Поток нерастворимых частиц на поверхность составил $61 \text{ мг м}^{-2} \text{ сут}^{-1}$. Такое высокое содержание нерастворимых частиц в снеге связано с переотложением угольной пыли у рудника и выделением продуктов сгорания угля при его переработке.

В 2009 году пробы снега из шурфов и с поверхности были отобраны также на метеоплощадке пос. Баренцбург, пос. Грумант, и в окрестностях пос. Лонгиир [5]. В среднем, концентрация нерастворимых частиц в поверхностном снеге варьировала от 0,3 и 0,9 мг/л, в районах, удаленных от источника антропогенного загрязнения; и от 16,8 до 25,9 мг/л в районах, подверженных антропогенному загрязнению (шахты у пос. Лонгиир и Баренцбург соответственно). В долине Адвентдален средняя концентрация вещества в поверхностном снеге составила 9,2 мг/л, что немного выше

цифры, опубликованной в 2005 году для данного региона – 7,2 мг/л [6]. Поток нерастворимых частиц на поверхность в 2009 г. составил 36 мг м⁻² сут⁻¹.

Детальное рассмотрение вещества было сделано с помощью метода сканирующей электронной микроскопии (г. Дармштадт, Германия, г. Москва, Россия). Все рассмотренные пробы были разделены на три группы: отобранные непосредственно около источников антропогенного загрязнения, с отчетливым следом антропогенного загрязнения и фоновые. Основными частицами, преобладающими во всех пробах, являются гладкие сферы сгорания и частицы «летучего пепла» размером 10–25 мкм. Пористые углеродные частицы поступают в атмосферу как результат переработки угля и работы ТЭЦ, гладкие сферы сгорания образуются при высокотемпературных процессах и выбрасываются в атмосферу дымовыми факелами тепловых электростанций и ТЭЦ, работающими на каменном угле или горючих сланцах. Антропогенное вещество пос. Грумант и долины Адвентдален имеет смешанное происхождение: продукты переработки топлива снегоходами, которые являются основным транспортом для жителей обоих поселков, и минеральные зерна, редко встречаются частицы биогенного происхождения.

В работе приведено исследование особенностей распределения твердых частиц и их состав в ледовом покрове заливов Ис-фьорд и Гренфьорд (по данным, полученным в апреле 2011 г.), а также дана детальная классификация нерастворимых частиц в снеге рассматриваемого региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке норвежско-российских проектов NorthPOP и SvalPop и проекта РФФИ моб_ст (номер проекта 11-05-90712, руководитель – П.В. Богородский).

Автор признательна П.В. Богородскому, А.П. Макштасу, К.В. Фильчуку, В.П. Шевченко, В.А. Никифорову и Р. Калленборну (R. Kallenborn), Н.А. Марченко, С. Вайнбруху (S. Weinbruch) и отделу логистики университетского центра UNIS на Шпицбергене.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lisitzin A.P. Sea-ice and Iceberg Sedimentation in the Ocean: Recent and Past. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. 563 p.
2. Nürnberg D., Wollenburg I., Dethleff D., Eicken H., Kassens H., Letzig T., Reimnitz E., Thiede J. Sediments in Arctic sea ice – entrainment, transport and release // Marine Geology. 1994. V. 119. P. 185-214.
3. Горюнова Н.В. Эоловые потоки вещества на Шпицбергене в районе рудника Баренцбург в 2008 году Арктике // Геология морей и океанов. Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2009. С. 14–15.
4. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
5. Goryunova N., Shevchenko V. Quantitative and qualitative distribution of

particulate suspended matter in the vicinity of Longyearbyen and Barentsburg area // Proceedings of the second workshop NorthPOP (Tromsø, Norway, 25–28 May, 2009). Abstracts. P. 16.

6. Caritat P., Hall G., Gislason S. et al. Chemical composition of arctic snow: concentration levels and regional distribution of major elements // The Science of the Total Environment. 2005. V. 336. P. 183–199.

Results of studies of particulate matter in snow-ice cover in vicinity of Is-fjord and Gronfjord areas, Svalbard archipelago, are presented. Work is based on data collected during 2008-2011 period.

Даувальтер В.А., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С.

(Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, Апатиты, vladimir@inep.ksc.ru)

Химический состав донных отложений озер Севера Фенноскандии

Dauvalter V.A., Kashulin N.A., Sandimirov S.S.

(Institute of the North Industrial Ecology Problems of Kola SC of RAS, Apatity)

Chemical composition of lake sediments of North Fennoscandia

В течение более 20 лет сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН проводятся исследования химического состава донных отложений (ДО) водоемов Мурманской области и приграничной территории между Россией, Норвегией и Финляндией, начиная со времени организации Института (1989 г.). Эти исследования велись в три этапа с разницей примерно в 10 лет: в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого века, в начале 2000-х годов и в 2010 г. В каждый период исследования ДО проводились на 20-30 озерах, находящихся в зоне влияния стоков и выбросов комбината «Печенганикель» и подвергающиеся антропогенной нагрузке различной интенсивности.

Исследования проводились с целью оценки аккумуляции и распределения тяжелых металлов (ТМ) в ДО озер. При изучении ДО рассматривались четыре аспекта: 1) фоновые концентрации, 2) вертикальное распределение, 3) концентрации в поверхностных ДО, 4) определение интенсивности антропогенного влияния по показателям коэффициента и степени загрязнения, создаваемого ТМ, накопленными в ДО.

Образцы ДО, отобранные из самых глубоких слоев колонок (обычно более 20 см), позволяют получить фоновые концентрации ТМ при исследовании загрязнения озер. Было установлено, что наибольшие фоновые концентрации большей части ТМ (Ni, Zn, Co, Cd, Hg, As) характерны для южной части оз. Куэтсьярви, принимающего сточные воды комбината «Печенганикель», а также для озер, расположенных в непосредственной близости к городу Заполярный и пос. Приречный. Это обусловлено геохимическими особенностями водосборных территорий озер, на которых находятся медно-никелевые сульфидные залежи. Фоновые концентрации ТМ в ДО исследуемых озер довольно непостоянны, что отражает значительные вариации в литологии и геохимии коренных и четвертичных пород и покрывающих их почв, в соотношении площади озера и его водосбора, т.е. основных природных условий формирования химического состава ДО озер. Средние фоновые концентрации ТМ в ДО водоемов Мурманской области по результатам исследований в различные годы подобны (табл. 1), хотя отмечаются некоторые расхождения, но они,

как правило, не более 10%, что совпадает со значением аналитической ошибки. Несовпадения в рассчитанных величинах средних фоновых концентраций ТМ могут быть связаны с тем, что перечень озер, из которых производился отбор ДО в различные годы полностью не совпадал, хотя большая часть озер исследовалась в течение 20 лет, особенно вблизи источников загрязнения.

Таблица 1. Фоновые средние (X), минимальные (min) максимальные (max) концентрации элементов (мкг/г сух. веса) и стандартные отклонения (s_n) в ДО исследованных озер северо-запада Мурманской области, определенные по результатам исследований в различные годы

Элемент	1989-1993				2002-2004				2010			
	X	min	max	s_n	X	min	max	s_n	X	min	max	s_n
Ni	33	10	83	20	32	12	72	19	36	8	85	20
Cu	36	6	81	23	33	9	68	18	36	8	66	15
Co	14	5	42	11	16	4	40	11	18	5	36	10
Zn	91	33	185	49	101	47	173	35	100	48	181	37
Cd	0.80	0.25	2.51	0.78	0.17	0.06	0.40	0.09	0.17	0.06	0.50	0.09
Pb	3.8	0.5	15.0	4.1	3.2	0.7	9.2	2.3	3.8	0.8	9.4	2.3
As	-	-	-	-	4.6	0.7	13.7	4.2	5.0	0.8	22.1	5.8
Hg	0.040	0.016	0.110	0.032	0.037	0.003	0.111	0.025	0.050	0.008	0.146	0.033

Средние скорости осадконакопления в озерах северо-запада Мурманской области и северных районов Норвегии и Финляндии за последние полтора столетия довольно постоянны и находятся в пределах 0.3-0.6 мм/год. Скорость осадконакопления в оз. Куэтсьярви оценивается равной 1-2 мм/год. Увеличение содержания Ni, Cu и Co в ДО озер, в которых проведено датирование, обычно обнаруживалось в слоях, возраст которых оценивается 20-ми и 30-ми годами XX столетия как результат начала металлургической деятельности в этом регионе (рис. 1). С увеличением расстояния от комбината "Печенганикель" уменьшаются концентрации Ni и Cu в поверхностных слоях ДО и снижается разброс содержаний в целом по колонке. Значительное увеличение концентраций Pb датируется концом XIX – началом XX в. С увеличением расстояния от комбината Pb становится одним из основных загрязнителей. Особенно это характерно для финляндских озер. Маркерами загрязнения водосборных бассейнов служат также As и Cd, начало загрязнения которыми датируется серединой XIX в.

Пылевые выбросы в атмосферу плавильных цехов комбината «Печенганикель» являются главным источником повышенных концентраций Ni, Cu и Co (в 10-200 раз больше фоновых значений) в

поверхностных слоях ДО на расстоянии до 30–40 км (рис. 2).

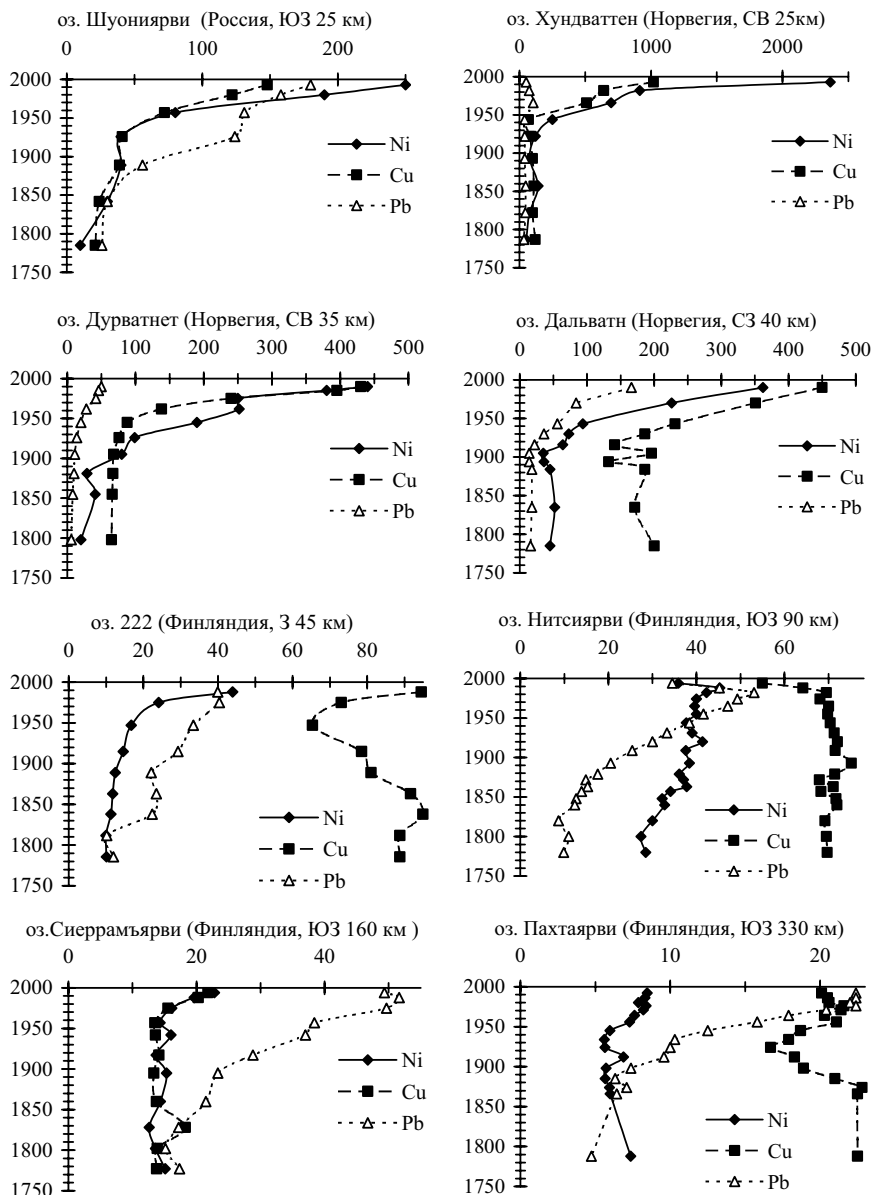


Рис. 1. Концентрации (мкг/г) Ni, Cu, Pb в датированных ДО озер на различном удалении от комбината "Печенганикель"

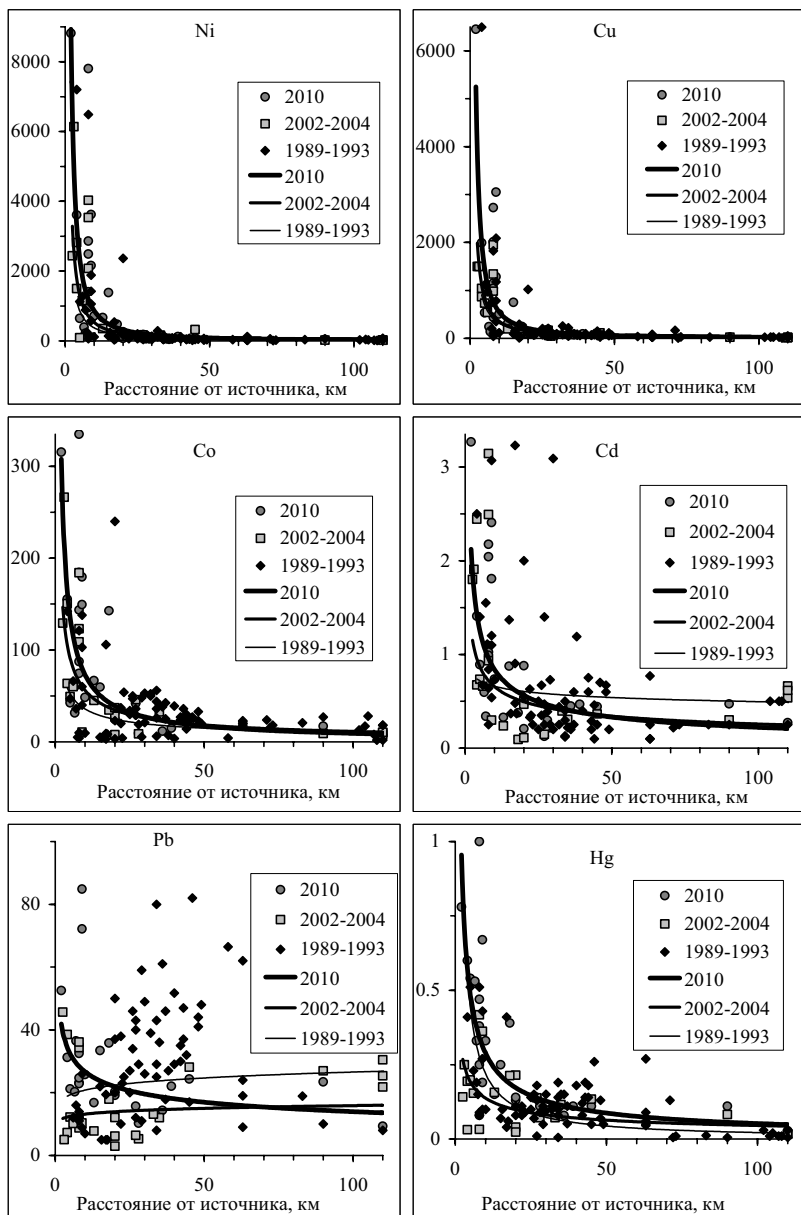


Рис. 2. Распределение концентраций основных загрязняющих элементов (мкг/г) в поверхностном слое (0-1 см) ДО исследуемых озер по мере удаления от комбината «Печенганикель» в разные годы

Наибольшие концентрации Ni и Cu, превышающие фоновые значения в 10-25 раз, отмечены в озерах на расстоянии до 10 км от комбината (рис. 2). Значительное уменьшение концентраций до 3-7 фоновых значений наблюдается на расстоянии до 20-30 км от источника загрязнения. В распределении Co и Cd наблюдается аналогичная закономерность. Наиболее интенсивно загрязняется зона до 10 км. Здесь отмечено превышение концентраций металлов над фоновыми значениями от 2 до 5 раз. По мере удаления от комбината на 20-30 км наблюдается уменьшение концентраций металлов до 2-3 фоновых значений. Подобная закономерность наблюдается в распределении As и Hg. В распределении Pb по результатам исследований 2010 г. впервые отмечена тенденция увеличения содержания в поверхностных слоях ДО по мере приближения к комбинату. Ранее в региональном распределении Pb была отмечена отличная от всех ТМ картина – увеличение концентраций с востока на запад. В целом по результатам исследований 2010 г. отмечено увеличение концентраций практически всех загрязняющих ТМ в поверхностных слоях ДО озер Мурманской области и приграничной территории между Россией, Норвегией и Финляндией по сравнению с исследованиями 2002-2004 и 1989-1993 гг., что говорит об усилении антропогенной нагрузки на водосборы озер.

Таким образом, в результате исследований химического состава ДО озер северо-запада Мурманской области и приграничных районов Норвегии и Финляндии выявлена тенденция усиления антропогенной нагрузки на водосборы озер и на сами озера, несмотря на снижение выбросов и стоков загрязняющих веществ комбинатом «Печенганикель» в последние 20 лет. Средние выбросы Ni и Cu комбинатом составляли 300 и 200 т/год соответственно, а стоки 5 и 0.2 т/год. За почти 80-летний период деятельности горно-металлургического комплекса в звеньях окружающей среды (главным образом в наземных экосистемах – в почвах и растениях) накопилось огромное количество ТМ, которое после отмирания растений и разложения органических остатков со склоновым стоком, почвенными и подземными водами в виде органических и неорганических соединений постепенно поступает в водотоки и водоемы. С учетом накопленных ТМ в наземных экосистемах и многолетнего периода их самоочищения, интенсивное поступление ТМ в водоемы будет продолжаться еще не один десяток лет, даже если комбинат резко снизит или вообще прекратит их выбросы в окружающую среду.

In a result of investigations of a chemical composition of sediments of lakes of northwest of Murmansk Region and frontier areas of Norway and Finland the tendency of amplification of anthropogenous loading on watersheds of lakes is revealed, despite of decrease in emissions and drainage of polluting substances from the Mining-Metallurgical Company "Pechenganickel" last twenty years.

Денисов В.И.

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

**Макро- и микроэлементный состав поверхностного слоя
донных осадков в районе Керченского пролива
Черного моря**

Denisov V.I.

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

**Macro- and Microelements' Composition of the Black Sea
Bottom Sediments' Superficial Layer near the Strait of Kerch**

Донные отложения Керченского пролива подразделяются на три группы: 1) прибрежные (до глубины 30 м); 2) мелководные и 3) глубоководные отложения континентального шельфа. В прибрежной зоне пролива развиты пески средне и мелкозернистые [1].

Терригенный материал Керченского пролива является продуктом абразии Крымского и Кавказского побережий. На всей остальной площади распространены биогенные осадки. До глубины 40-50 м развиты ракушечные грунты, в которых обломочная фракция, состоящая из целых створок раковин и их обломков, преобладает над другими составляющими. Ареал ракушечных грунтов к пятидесятой изобате сменяется мелкоалевритовыми и алевритово-глинистыми илами.

Мелководные отложения Керченского пролива представлены ракушечниками, иногда с примесью илистого материала, постепенно переходящие с глубиной в мидиевый или фазеолиновый илы.

На распределение донных отложений оказывает влияние рельеф шельфа. Так называемые ложбины в северо-западной и юго-восточной частях шельфа позволяют накапливать большое количество грунта илистых фракций. Южнее пятидесятиметровой изобаты распространяются мелкоалевритовые илы, а на материковом склоне к ним присоединяются участки алевритово-глинистых илов.

Мощность современных ракушечных отложений всюду гораздо меньше мощности илистых и достигает всего 10-30 см. На внешнем крае шельфа протягивается полоса фазеолинового ила с толщиной слоя 50-55 см. Таким образом, в Керченском проливе седиментация вдали от берега идет с большей скоростью, чем вблизи от него.

В исследуемой части моря встречаются все гранулометрические типы осадков. Наибольшим распространением получили алевритово-пелитовые илы, занимающие около 23% площади шельфа. Карбонатность осадков варьирует от 4 до 92% [2]. Полоса песчано-ракушечного материала развита вдоль береговой линии достаточно широко. Наряду с участками наибольшего расширения, представленными южнее мысов Панагия и Железный Рог, между мысами Чауда и Кыз-Аул, есть участок шельфа, где

пески и ракушечники исчезают совсем - центральная часть аванзоны Керченского пролива. Ракушечники, как правило, распространены до глубины 50 м. Только в двух районах отмечается увеличение глубин, до которых прослеживается ракушечный материал: южнее мыса Опук до 70 м и мористее Феодосийского залива до 80 - 160 м. В первом случае оно связано с локальным валообразным поднятием дна, во втором - с прослоем детритно-раковинного материала в пелитовом прослое осадка. Пески распространяются до глубин 20-30 м. Песчаные осадки приурочены к полям развития ракушечников, и располагаются обычно на их окраинах. Содержание карбоната кальция в песках достигает 50-67%. Хорошо отсортированные, состоящие из окатанных зерен кварца пески развиты в зоне пляжей Феодосийского залива, западнее мыса Опук, возле мысов Кыз-Аул и Железный Рог, а также Анапской пересыпи [3].

В Керченско-Таманском районе, среди осадков алевритовой размерности, подавляющее преобладание получили крупные алевриты, распространенные в виде отдельных локализованных пятен у бровки шельфа на траверзе мысов Такиль и Железный Рог. Полоса крупного алеврита протягивается через Керченско-Таманскую часть шельфа. Отмечается постепенное уменьшение карбонатности крупноалевритовых осадков в данном районе с востока на запад. Наибольшую площадь шельфа занимают алевритово-пелитовые илы. Они располагаются локализованными пятнами в диапазоне глубин от 0 до 200 м, во многих местах переходя бровку шельфа. В центральных и восточных частях предпроливья они приурочены к бровке шельфа. Пелитовые илы распространены главным образом на перегибе и глубже бровки шельфа. Небольшими по площади участками они встречаются среди полей алевритово-пелитовых илов [3].

Отбор проб донных осадков в районе проведения работ проводился с помощью дночерпателя «Океан – 0,25». На рис. 1 показаны станции отбора проб донных осадков.

Геохимия донных отложений района исследований определяется вещественным составом, прежде всего, количеством терригенного карбонатного, силикатного и глинистого материала, а также биогенных карбонатов и органического вещества.

Исходя из результатов химического силикатного анализа («мокрая химия») был рассчитан химический элементный состав донных отложений 47 проб осадков взятых с разных глубин от 5 до 110 метров. Статистические характеристики представлены в таблице 1.

Содержание карбоната кальция колеблется от 0 до 84,2% во всех фракциях. Суммарное содержание карбонатов достигает – 85,2%. Среднее содержание CaCO_3 в верхнем слое донных осадков составляет 23,2%, кремния – 19%, алюминия – 2,6%, суммарного железа – 2,23% (табл. 1).

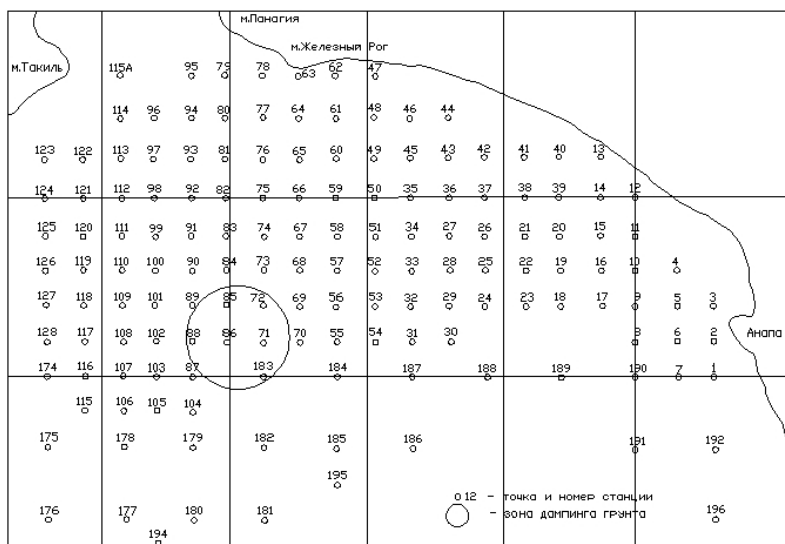


Рис. 1. Схема станций отбора проб

Таблица 1. Некоторые статистические характеристики макрокомпонентов донных отложений шельфа Керченского предпроливья Черного моря слоя 0-5 см (Наши данные)

	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Depth, м	47	37,87	5,00	110,00	26,44
Si,%	47	18,98	0,00	32,11	9,60
Al,%	47	2,56	0,00	5,12	1,48
Fe ²⁺ ,%	47	1,26	0,00	3,30	0,84
Fe ³⁺ ,%	47	0,97	0,00	3,70	0,74
Fe, Summ, %	47	2,23	0,00	7,00	1,51
Ti,%	47	0,35	0,00	1,13	0,25
Mn,%	47	0,08	0,00	0,39	0,08
P,%	47	0,03	0,00	0,05	0,01
Ca,%	47	6,64	0,00	24,09	5,73
CaCO ₃ ,%	47	23,20	0,00	84,16	20,01
Mg,%	47	1,14	0,00	4,15	0,88
MgCO ₃ ,%	47	3,96	0,00	14,39	3,07
CaCO ₃ +MgCO ₃ ,%	47	27,16	0,00	85,21	20,61
K,%	47	0,64	0,00	1,60	0,37
Na,%	47	0,55	0,00	0,93	0,29

Таблица 2. Микроэлементный состав донных осадков Керченско-Таманского района (по глубинам) (Наши данные)

Н средняя, м	К-во ст.	Pb× 10 ⁻³	V× 10 ⁻³	Ni× 10 ⁻³	Cr× 10 ⁻³	Co× 10 ⁻³	Mo× 10 ⁻⁵
12,0	10	1,2	7,0	2,0	4,8	0,8	7,1
21,0	22	1,5	5,1	1,8	5,0	0,9	6,9
34,3	16	1,8	4,7	2,0	5,0	0,9	7,3
47,5	11	2,1	7,4	3,0	6,8	1,2	8,3
75,7	6	2,8	10,0	3,3	7,7	1,0	8,5
Средняя концентрация		1,8	6,2	2,3	5,6	0,9	6,5
(Район дампинга) 48,4	13	2,8	7,1	3,6	7,9	1,5	10,2
Дампинг/фон		1,62	1,17	1,65	1,43	1,65	1,46

Н средняя, м	Sn× 10 ⁻⁴	Cu× 10 ⁻³	Zr× 10 ⁻³	Sr× 10 ⁻²	Ti× 10 ⁻²	Mn× 10 ⁻²	Zn× 10 ⁻³
12,0	2,5	1,6	10,2	5,7	25,8	6,1	5,1
21,0	2,7	1,6	7,7	11,4	17,3	4,3	4,9
34,3	2,8	1,7	6,9	11,6	11,4	3,3	5,7
47,5	3,1	2,6	9,6	6,8	23,5	6,8	6,9
75,7	4,7	4,0	8,8	5,0	21,7	6,0	8,2
Средняя концентрация	2,8	2,1	8,3	8,1	18,8	5,0	5,0
(Район дампинга) 48,4	4,1	3,2	9,8	15,2	19,1	5,5	11,6
Дампинг/фон		1,4	1,61	1,18	1,84	1,13	2,45

Диапазон содержаний марганца колеблется от 0 до 0,4%, калия – от 0 до 1,6% и натрия от 0 до 0,93%. Карбонатность проб имеет слабую положительную корреляционную связь с глубиной. Это говорит о том, что биогенные карбонаты (ракушка) начинают увеличиваться в донных осадках по мере роста глубины.

В таблице 2 представлены данные микроэлементного состава донных отложений. В ней даны средняя концентрация, содержание элементов в 13 пробах из зоны непосредственного дампинга грунта.

Были рассчитаны коэффициенты превышения в зоне дампинга по отношению к фоновым значениям (нижняя строка таблицы 2). Данные сгруппированы по глубинам расположения проб осадков. Видно, что в зоне дампинга, все микроэлементы обогащены в районе свалки грунта в 1,1 – 2,45 раза (табл. 2).

По мере увеличения глубины гранулометрический тип осадков меняется

от крупных к мелким разностям. Отмечаются устойчивые тенденции роста практически всех химических элементов в осадках, кроме молибдена по мере уменьшения их гранулометрических разностей с увеличением глубины. Для всех микроэлементов, кроме циркония также видны устойчивые тенденции роста их концентраций в донных отложениях по мере увеличения глубины и изменения гранулометрического типа осадков в ряду: песок → крупный алеврит → мелкий алеврит → пелит.

Литофильные элементы (титан, стронций, цирконий) имеют максимальные содержания в песчаной и крупноалевритовой фракциях донных осадков (в терригенном материале). В мелких фракциях концентрация микроэлементов заметно выше, в связи с тем, что мелком алеврите и пелитовых илах мелко раздробленная часть вещества и органические остатки сорбируют химические элементы.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России (Госконтракты 14.740.11.1045, 02.740.11.0334, П1102, гранты Президента РФ НШ-8030.2010.5, МК-4216.2010.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенкович В.П. Морфология и динамика морских берегов Черного моря. Т.1., М.: Изд-во АН СССР, 1958. 180 с.
2. Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря / Гл. ред. Глумов И.Ф., Кочетков М.В.; Редкол.: Комаров А.В., Шимкус К.М., Глебов А.Ю., М.: Недра, 1996. 502 с.
3. Шнюков Е.Ф., Паланский М.Г. Геологическое значение некоторых геохимических исследований современных донных отложений Керченского пролива. Киев: Изд-во «Наукова думка», 1979.

Macro- and microelements' composition of the bottom sediments' superficial layer (0–5 cm) is studied on the Black Sea shelf near the Strait of Kerch with the depth range from 5 to 110 m. The bottom sediments' pollution level is assessed for the zone of ground dumping at the depths from 48 to 55 m.

Емельянов В.А., Прохорова Л.А.

(Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина; eva@nas.gov.ua)

Геодинамическая подгруппа геолого-экологических условий северо-западной части континентального склона Черного моря

Emelianov V.A., Prokhorova L.A.

(Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

Geodynamic subgroup of geology-environment conditions of the north-western part of the continental slope of the Black Sea

Геолого-экологические условия (ГЭУ) изучались с целью предварительной общей геоэкологической оценки и создания соответствующей информационной системы (ИС), в структуре которой они составляют определенную подсистему. Такая ИС, разработанная в результате многолетних целенаправленных исследований, должна стать основой комплексной геолого-экономической оценки данного участка черноморского дна как перспективного в плане хозяйственного освоения.

Напомним, что ГЭУ вообще, и рассматриваемого района, в частности, являются эмерджентным результатом-показателем взаимодействия условий, функций и процессов всех гео-, аква-, аэро- и биозоологических подсистем-компонентов геоэкосистемы данного морского бассейна [1].

Особое место в структуре информационной подсистемы «ГЭУ северо-западной части континентального склона Черного моря», которая объединяет отдельные группы и подгруппы различных геологических показателей, одно из важнейших мест занимает динамическая подгруппа.

Важность роли указанной подгруппы условий во многом определяется структурно-тектоническими особенностями его геолого-экологической системы (ГЭС), а также динамическими условиями смежной акваэкосистемы. Именно динамическая подгруппа условий определяет способности и свойства ГЭС через природные и антропогенные геодинамические процессы и явления влиять на функционирование их природных и (или) техногенных подсистем, а также состояние их компонентов.

Игравя существенную роль при оценке ГЭС исследуемого района, геодинамические условия определяются внутриземными эндогенными, внешними космическими и земными экзогенными факторами.

Как известно, эндогенные факторы обусловлены, в основном, относительно быстрой разрядкой напряжений в геофизических полях Земли, что говорит о тесной связи геодинамических и геофизических условий ГЭС и, в частности, рассматриваемого района континентального склона Черного моря.

Результаты проведенных в Черном море исследований, а также анализ

опубликованных данных о неотектонических и современных движениях земной коры в регионе, позволяют оценить составляющую геодинамических условий для северо-западной части Черного моря в целом [2-10].

Региональные тектонические, неотектонические и современные геодинамические условия и процессы, как показывает сравнительный анализ современного и доголоценового рельефов границ ГЭС и смежной аквазкосистемы соответствующего возраста, активно участвовали в формировании, в частности, геоморфологических условий района [3]. В настоящее время эти процессы особенно характерны и активно осуществляются в ГЭС современного континентального склона Черного моря.

Анализ компонентов четвертичных и голоценовых палео-ГЭС, и компонентов современных ГЭС свидетельствует об унаследованном характере неотектонических и современных движений, а также об определяющей роли разломно-блоковой тектоники в формировании крупнейших морфоструктур дна бассейна. Эти морфоструктуры играют важную роль в распределении пространственных субсистем ГЭС как по площади, так и в возрастном геологическом разрезе, а также особенностей их компонентного, в частности, литологического, состава.

Участки активных газовыделений и проявлений грязевого вулканизма в исследованном районе обычно также приурочены к унаследованным активным тектоническим зонам [7].

Экзогенные факторы, определяющие геодинамические условия ГЭС, связаны, в основном, с функционированием смежной аквазкосистемы и происходящими в ней процессами и явлениями, в частности, течениями, волнами, величинами давлений и температур.

Отметим, что для исследуемой акватории характерна активная деятельность северного ответвления восточного циркумконтинентального течения, имеющего в районе исследований преимущественно северо-западное направление, а также подводных сточных и плотностных течений.

На границе «ГЭС-аквазкосистема» активно действуют суспензионные потоки, моделирующие поверхности склонов и бортов каньонов, рассекающих пространство рассматриваемой ГЭС. Гравитационное перемещение осадочных компонентов обусловлено активизацией эндо-и экзогеодинамичних процессов, вызывающих нарушение равновесного состояния уклонов границы «ГЭС-аквазкосистема», а также аномально высокими содержаниями жидкой фазы в ГЭС донных осадков, пространства которых рассекается верховьями каньонов палеорек, которые берут свое начало на северо-западном шельфе Черного моря. Повышенные содержания жидкой фазы в ГЭС могут объясняться действующими субмаринными очагами разгрузки подземных вод, приуроченных, как правило, к палеодолинам рек и трещинно-тектоническим зонам.

Рассматриваемая ГЭС подвергается также воздействию гравитационных процессов. При этом происходит перемещение (сползание) несвязанной массы или медленное текучее движение пластичной массы преобладающей здесь жидко- или вязко-текучей подгруппы иловой ГЭС на участках, где уклоны дна равны критическим значениям или близки к ним (более 2° – 3°), а также вдоль подводных долин и каньонов. При быстром перемещении илового материала возникают суспензионные потоки, которые приводят к деструкции склоновых поверхностей, разрушению существующих ГЭС, что сопровождается аккумуляцией высвободившихся компонентов твердой фазы у подножья склона в виде крупных конусов выноса и валообразных аккумулятивных тел, которые становятся основой новых вещественно-генетических типов, подтипов, видов и разновидностей ГЭС.

На участках, где палео-ГЭС плейстоценового или (и) четвертичного возраста граничат непосредственно с акваэкосистемой, наблюдается явление гальмиролиза. Это явление, обусловлено, в основном, химическими и физико-химическими процессами и определяется главным образом характером и количеством присутствующих в акваэкосистеме солей и газов. В результате происходят определенные изменения ряда литологических, физико-механических и физико-химических характеристик верхней границы ГЭС, в результате чего активизируются экзогенные рельефообразующие процессы, провоцирующие, в некоторых случаях, формирование характерных геоморфологических форм и соответствующего рельефа границы «ГЭС-акваэкосистема».

Вышесказанное позволяет заключить, что геодинамические условия ГЭС рассматриваемого района могут влиять на безопасность антропогенной деятельности, которая рано или поздно будет осуществляться в пространстве геозекосистемы района с целью использования определенных видов ее ресурсов. Это обуславливает необходимость специального углубленного изучения этой важной подгруппы геолого-экологических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов В.А. Основы морской геозкологии. Теоретико-методологические аспекты. Киев: Наук. думка, 2003. 238 с.
2. Герасимов М.Е. К вопросу тектонического районирования Черноморского региона // Глубинное строение литосферы и нетрадиционное использование недр земли: Междунар. конф. Киев, 1996. С. 142-144.
3. Гончаров В.П., Непрочнов Ю.П., Непрочнова А.Ф. Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины. М.: Наука, 1972. 157 с.
4. Земная кора и история развития Черноморской впадины / Под ред. Ю.Д. Буланже. М.: Наука, 1975. 355 с.
5. Милановский Е.Е. Проблема происхождения Черноморской впадины и ее место в структуре Альпийского пояса // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1967. №

1. С. 8-15. Муратов М.В. История тектонического развития глубокой впадины Черного моря и ее возможное происхождение // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 9. С. 184-191.
7. Шнюков Е.Ф., Щербаков И.Б., Шнюкова Е.Е. Палеоостровная дуга севера Черного моря. Киев: Чернобыльинформ, 1997. 287 с.
8. Мельник В.І. Літодинаміка каньонів Чорного моря в плейстоцені-голоцені // Геологія і корисні копалини Чорного моря. НАН України. К.: Карбон-ЛТД, 1999. С. 272-275.
9. Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Русаков О.М. и др. Неоднородности тектоносферы Черного моря по результатам изучения геофизических полей // Геофиз. журн. 1987. Т. 9. № 3. С. 34– 44.
10. Довбнич М.М., Демьянец С.Н. Поля напряжений тектоносферы, обусловленные нарушением геоизостазии и геодинамика КрымскоЧерноморского региона // Геофиз. журн. 2009. Т. 31. № 2. С. 107-116.

The studying of geodynamic subgroup of geology-environmental conditions of the north-western part of the continental slope of the Black Sea have allowed to draw a conclusion, that geodynamical conditions of this region of the continental slope are one of the most favorable for the development of the resources its geology-ecological system. However, for a definitive answer to this question for a specific type of resource, special further investigations are needed.

Иванов М.В., Калинин В.В., Астахов А.С.

(Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, kirov-max@mail.ru)

РтутOMETрические исследования воздуха, воды и донных осадков в 54 рейсе (май-июнь 2011 г.) НИС «Академик М.А. Лаврентьев»

Ivanov M.V., Kalinchuk V.V., Astakhov A.S.

(V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch, Vladivostok)

Mercury investigation air, water and bottom sediments

РтутOMETрические исследования были проведены по двум направлениям:

1) изучение антропогенного загрязнения воздуха Японского и Охотского морей в результате глобального атмосферного переноса ртути из урбанизированных районов северо-востока Азии. Данное направление основывается на результатах многочисленных моделирований атмосферного разноса антропогенной ртути в северном полушарии.

2) выявление признаков современной активизации тектонических разломов, подводных вулканов, поиск и изучение подводных газовых и гидротермальных выходов на дне и определение их роли в поставке ртути в атмосферу, а также изучение процессов минералообразования и миграции ртути на границе морское дно-вода, вода-атмосфера.

Массовые содержания паров ртути в воздухе, общей ртути в морской воде и донных осадках определялись с помощью анализатора РА-915+. Его приставки РП-91С, ПИРО-915+ позволяют определять содержание ртути в твердой фазе, методом пиролиза. Нижний предел обнаружения – 0,5 нг/г. В минимальной комплектации анализатор позволяет измерять содержание ртути в воздухе с нижним пределом обнаружения 2 нг/м³, что соответствует фоновому содержанию ртути в воздухе районов с низкой степенью антропогенного загрязнения. Для увеличения точности анализа до 0,1 нг/м³ использовалась компьютерная регистрация результатов измерений в режиме “мониторинг” с измерением ртути каждую секунду. Это позволяет провести накопление первичных единичных измерений и обобщение их за длительный период.

В ходе рейса было выявлено несколько аномальных участков с повышенными концентрациями ртути в воздухе. В районе г. Владивостока, в проливе Босфор Восточный концентрации достигали 2,2 нг/м³, напротив залива Находка до 2,1 нг/м³ (рис. 1). Так как эти повышения имеют четко выраженные границы, вероятнее всего они связаны с антропогенной деятельностью, которая ведется на берегах этих акваторий. Повышенные содержания также вероятно антропогенной ртути (до 2,4 нг/м³) были зафиксированы напротив ряда населенных пунктов Приморского края – Ольга, Кавалерово, Дальнегорск, Рудная пристань, следует отметить, что

градообразующим началом у них у всех является горнорудная промышленность. Однако помимо шлейфа от горнорудных предприятий увеличение концентраций ртути в воздухе на данном участке может быть вызвано и какими-то природными процессами, происходящими на границах шельфа, материкового склона и подножья, так как именно над этими элементами подводной окраины материка была обнаружена данная аномалия.

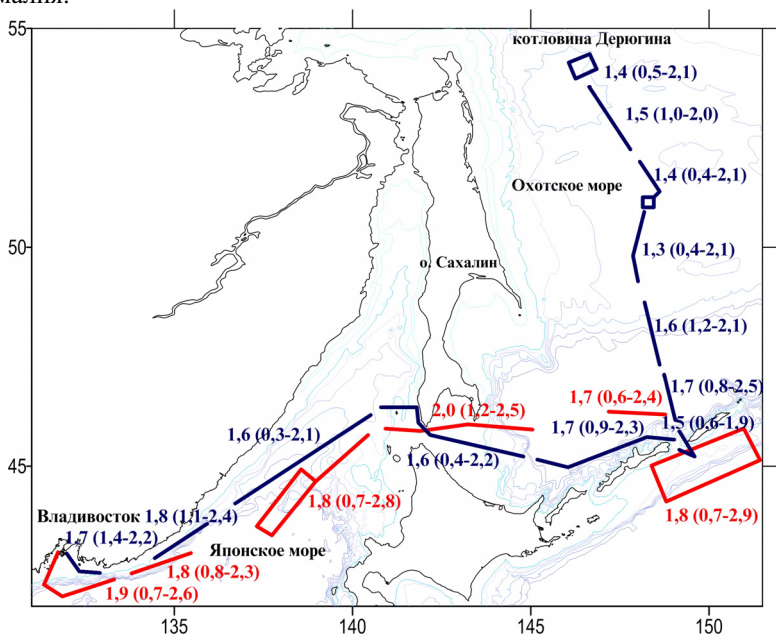


Рис. 1. Средние содержания ртути в воздухе различных районов, нг/м^3 (значения в скобках – минимум и максимум, синие линии – 54 рейс НИС «академик М.А. Лаврентьев», красные – 52 рейс НИС «академик М.А.

Лаврентьев», прямоугольники – районы детальных исследований, полигоны).

В северной части Японского моря на двух отрезках пути были выявлены увеличения концентраций ртути в воздухе. По-видимому, так как данные участки удалены от берегов (до Приморья как минимум 110 км, до Японии 220 км), повышения связаны в большей степени с поставкой ртути от каких-то природных (тектонические разломы, гидротермы, газовые выходы) нежели антропогенных источников. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что осенью 2010 г. в этой же части Японского моря у подножья северо-западного склона возвышенности Витязь геофизическим методом был обнаружен разлом, который вследствие того что поставлял ртуть и метан выявился также ртутнометрическим и

газохимическими методами.

В ходе замеров содержаний ртути в воздухе по ходу судна были замечены суточные вариации концентраций в районе Курильских островов с 25 по 27 июня, в районе центральной части Охотского моря с 28 по 31 июня. Для более подробного изучения изменений концентраций ртути в приводном слое воздуха на полигоне 1 в районе «Баритовых гор» котловина Дерюгина был проведен суточный мониторинг со 2 по 4 июля (рис. 2). Как следует из этих данных, наблюдается периодичность изменения содержания ртути в приводном слое воздуха. Днем, особенно в его второй половине содержание уменьшается, ночью увеличивается до значений близких для данного района в это время года. Необходимо отметить, что обычные суточные вариации изменений содержаний ртути в воздухе северо-западной части Тихого океана имеют обратную направленность, увеличение содержаний днем за счет увеличения температуры воды и, соответственно, увеличения ее поступления из воды в атмосферу. В данном случае можно предполагать, что уменьшение содержаний ртути в воздухе днем связано с суточным циклом жизнедеятельности фитопланктона.

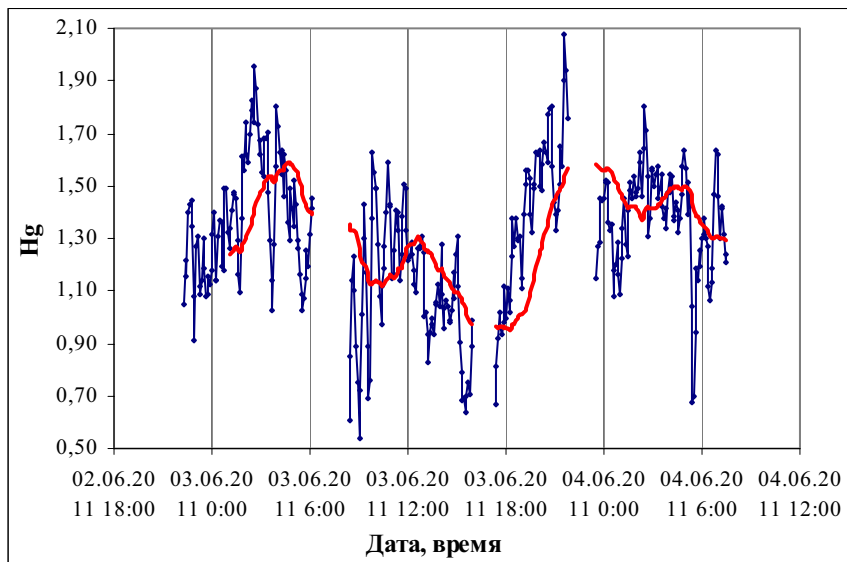


Рис. 2. Суточные вариации массовых концентраций паров ртути в приводном слое воздуха (синяя линия – изменение концентраций ртути во времени, красная линия – линия тренда).

Измерения, сделанные около о. Монерон (Японское море) по профилю длиной 72 км, позволили выявить Южно-Сахалинский разлом. Максимальные концентрации ртути в воздухе здесь наблюдались точно над

основным и предполагаемыми разломами и достигали 2 нг/м^3 . Помимо этого в районе разлома фиксировались повышенные содержания ртути и метана в воде (рис. 3).

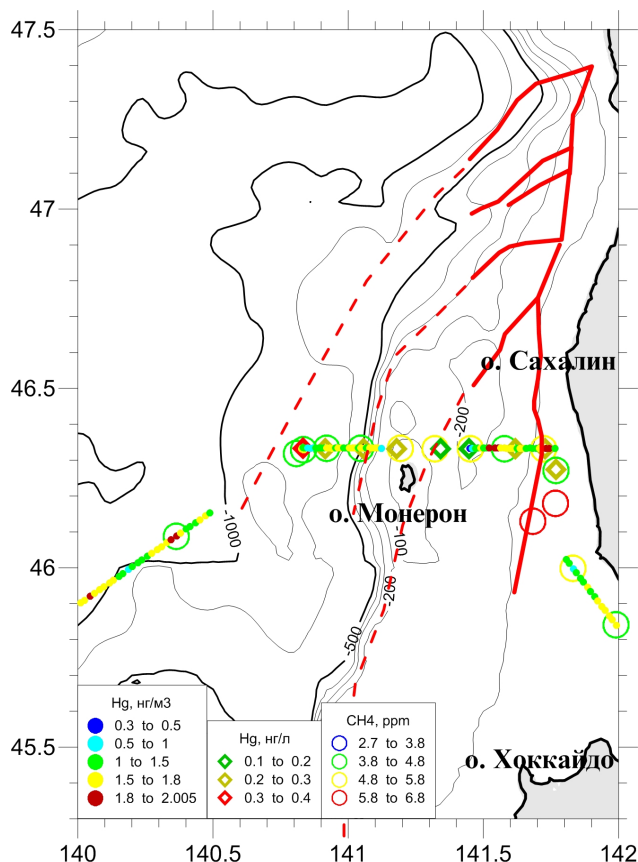


Рис. 3. Содержания ртути в воздухе, ртути и метана в воде в районе о. Монерон (красная линия – южно-сахалинский разлом, пунктиром – предполагаемые разломы)

В поверхностных пробах морской воды полигона о. Монерон Японского моря содержания ртути составляют около $0,4 \text{ нг/л}$. Здесь закартированы очаги мелкофокусный (до 40 км) землетрясений. Так же проходит Сахалинский разлом, глубины моря 200-500 метров. Все это говорит о том, что полигон находится в тектонически активной зоне, где идет поставка ртути в осадки, воду и воздух.

Содержания ртути в морской воде районов исследований варьировали от

0,1 до 1 нг/л. Наибольшие содержания зафиксированы на станциях LV54-2, LV54-3, LV54-4, LV54-28. Здесь содержания достигали 1 нг/л. На станции LV54-2 на интервале 1000 м от поверхности дна содержания ртути составило 1 нг/л. Такая закономерность, наблюдалась на многих станциях, где в интервале глубин 1200-1400 м содержания ртути возрастали. На некоторых станциях, где были зафиксированы повышенные содержания ртути в морской воде в районе Баритовых гор, также были повышенные содержания метана. Можно предположить, что донные осадки могут поставлять ртуть в морскую воду и далее в воздух.

Содержания ртути в поверхностных донных осадках района котловины Дерюгина Охотского моря варьировали от 56 до 154 нг/г. Это намного больше регионального фона, установленного нами ранее.

We sampled the concentration of Hg in air 2257 times during expedition from Vladivostok, to Derugin Basin Okhotsk Sea. Atmospheric monitoring of mercury along this track revealed high concentrations in the Japan Sea near the Asian coastline (2.6 ng/m³). By contrast, Hg in air values in the Okhotsk and Bering Seas averaged 1.6 - 1.7 ng/m³. The very high level of mercury concentration detected during this investigation over the Japan Sea is a likely reflection anthropogenic sources from mainland Asia and matches the analyses made by Dastoor and Larocque [2004].

Колесник А.Н., Колесник О.Н.

(Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, aiaks1986@mail.ru)

**Свинец и цинк в поверхностном слое донных осадков
Чукотского моря и сопредельных акваторий**

Kolesnik A.N., Kolesnik O.N.

(V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok)

**Lead and zinc in surface layer of bottom sediments
from the Chukchi Sea and adjacent areas**

Одной из самых острых геоэкологических проблем на сегодняшний день является проблема загрязнения тяжёлыми металлами (ТМ) прибрежно-шельфовых районов морских геосистем. Ввиду невысокого уровня хозяйственного освоения, арктические моря России, включая и континентальное обрамление, характеризуются относительно благоприятной геоэкологической обстановкой [1-3]. В то же время, существует реальная угроза её ухудшения. Опасения, в первую очередь, связаны с возможностью освоения на шельфах этих морей месторождений полезных ископаемых, в основном углеводородных, что, безусловно, повлечёт за собой увеличение в геосистемах концентраций высокотехнофильных ТМ. При этом из всей достаточно многочисленной группы ТМ наиболее негативно влияют на живой организм и поэтому, согласно принятой в промышленной экологии классификации, относятся к веществам I класса опасности кадмий, ртуть, мышьяк, а также свинец и цинк. Картины распределения первых двух, а также свинца рассмотрены ранее [4]. Для более детальной оценки современного уровня загрязнения Чукотского моря свинцом и цинком нами изучены особенности распределения этих металлов в поверхностном (0-3 см) слое наиболее устойчивого абиотического компонента геосистемы – донного осадка. Содержание металлов определялось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе «Agilent 7500с» (Agilent Technologies, США). Полученные результаты обрабатывались статистическими методами, в частности методом «ящика с усами» Дж. Тьюки.

Исследования показали, что медианное содержание свинца и цинка в поверхностном слое донных осадков Чукотского моря и сопредельных акваторий составляет, соответственно, 11,3 и 98,2 г/т (табл.). При сравнении полученных значений со значениями временных показателей качества морских донных отложений [5] видно, что содержание металлов значительно ниже значений первого и, особенно, второго показателей. При этом нами зарегистрировано лишь несколько аномально высоких содержаний (для свинца – 1, для цинка – 4), превышающих значение

соответствующей минимально действующей концентрации (табл.).

Таблица. Содержание свинца и цинка в морских донных осадках

Всё это свидетельствует в пользу благоприятного геоэкологического

Концентрации металла в поверхностном слое донных отложений Чукотского моря, г/т:	Металл	
	Pb	Zn
аномально низкие	-	20,3 (банка Геральд) 25,4 (Берингов пролив)
пониженные	1,9-9,0	31,3-78,2
фоновые пониженные	9,0-1,3	78,2-98,2
медиа́на (статистический фон)	11,3	98,2
фоновые повышенные	11,3-14,6	98,2-113,3
повышенные	14,6-22,2	113,3-164,3
аномально высокие	23,8 (Восточно- Сибирское море) 26,6 (Восточно- Сибирское море) 102,4 (Берингов пролив) 23,6 (Чукотское плато)	5251 (?) (каньон Геральд) 171,6 (континентальный склон) 185,9 (Восточно- Сибирское море) 184,0 (Южно- Чукотский бассейн)
Временные показатели качества морских донных отложений, г/т [5]:		
минимально действующая концентрация	30,2	124,0
уровень вероятного эффекта	112,0	271,0

состояния Чукотского моря по изученному параметру. Полученные нами результаты и сделанные на их основе выводы не противоречат заключениям других исследователей [1-3; 6 и др.]. Подтверждено, что в настоящее время антропогенная компонента не играет сколь-нибудь существенной роли в накоплении и распределении в Чукотском море ТМ. Это, как уже говорилось, закономерное следствие низкого уровня хозяйственного освоения региона [3; 7 и др.]. Следовательно, геохимические циклы свинца и цинка в системе определяются действием природных факторов.

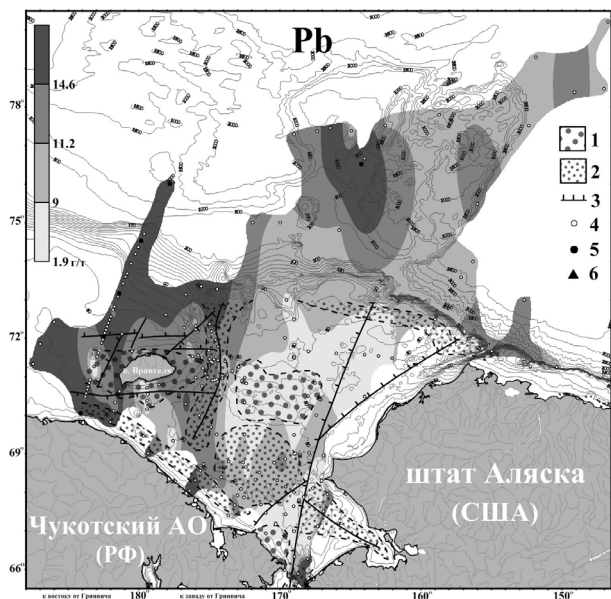


Рис. 1.

Особенности распределения свинца в поверхностном слое донных осадков Чукотского моря и сопредельных акваторий.

Примечание. Цифрами 1-6 обозначены: 1, 2 – системы поднятий и прогибов, соответственно; 3 – основные глубинные и региональные разломы; 4 – станции отбора проб; 5 – станции с аномально высоким содержанием металла в осадке; 6 – станции с аномально низким содержанием металла в осадке.

Полученные карты пространственного распределения в поверхностном слое донных осадков свинца (рис. 1) и цинка (рис. 2) были сопоставлены с зонами действия таких естественных агентов окружающей среды, как система течений [8; 9], гранулометрический состав осадков [10; 11], неотектоника [12; 13], границы ледового покрова [14] и биогеохимические процессы в воде и донных осадках [15–17] Чукотского моря и сопредельных акваторий. В результате установлена прямая зависимость содержания металлов в донных осадках от морфологии дна, дисперсности осадка, гидродинамического режима моря, а также (на некоторых случаях) локального проявления современной геологической активности.

Данные по содержанию тяжёлых металлов в донных осадках могут быть использованы для отслеживания антропогенного влияния на изначально незагрязнённые арктические экосистемы. Ввиду повышенной чувствительности к загрязнению, особое внимание при хозяйственном освоении шельфа Чукотского моря следует обратить на районы с пониженными формами рельефа, области отрицательных неотектонических

движений, тонкодисперсных грунтов, геохимических барьеров река-море, зоны слабого развития гидродинамических процессов.

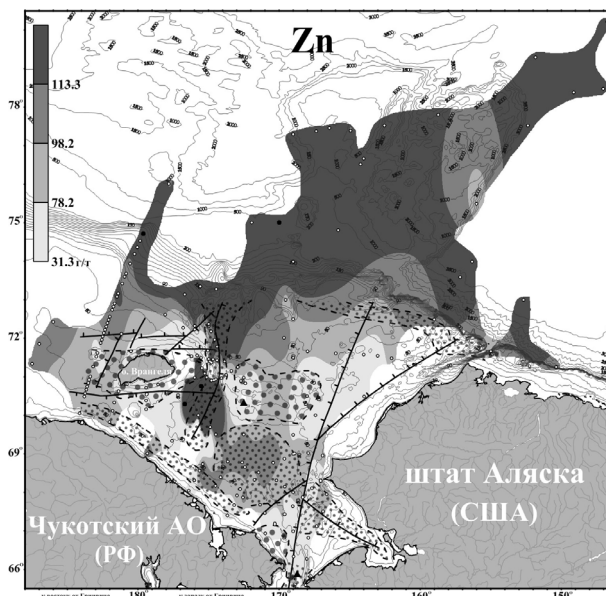


Рис. 2. Особенности распределения цинка в поверхностном слое донных осадков Чукотского моря и сопредельных акваторий.

Примечание. Условные обозначения и подписи к ним см. на рисунке 1.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН № 11-III-B-07-144.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
2. Геоэкология шельфа и берегов России / Под. ред. Н.А. Айбулатова. М.: Ноосфера, 2001. 428 с.
3. Додин Д.А. Устойчивое развитие Арктики (проблемы и перспективы). СПб.: Наука, 2005. 283 с.
4. Колесник А.Н., Колесник О.Н. Кадмий, ртуть, свинец в поверхностном слое донных отложений Чукотского моря // География, геоэкология, геология: опыт научных исследований: материалы VIII международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Днепропетровск: ГНПП «Картография», 2011. С. 27–29.
5. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: summary tables. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001. 5 p.
6. Романкевич Е.А., Айбулатов Н.А. Влияние морей России на здоровье

человека // Вестник РАН. 2005. Т. 75. № 1. С. 22–31.

7. Дальний Восток России (положение Приморского края в сравнении с другими субъектами ДВФО). Владивосток: Приморскстат, 2008. 112 с.

8. Weingartner, T., Aagaard, K., Woodgate, R. et al. Circulation on the north central Chukchi Sea shelf // Deep-Sea Res. II. 2005. V. 52. P. 3150–3174.

9. Коучмен Л.К., Огорд К., Трипп Р.Б. Берингов пролив. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 199 с.

10. Шуйский Ю.Д., Огородников В.И. Условия осадконакопления и основные закономерности формирования гранулометрического состава терригенных осадков Чукотского моря // Литология и полезные ископаемые. 1981. № 2. С. 11–25.

11. Кошелева В.А., Яшин Д.С. Донные осадки Арктических морей России/ МПР РФ, ВНИИОкеангеология. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1999. 286 с.

12. Павлидис Ю.А. Обстановка осадконакопления в Чукотском море и фациально-седиментационные зоны его шельфа// Проблемы геоморфологии, литологии и литодинамики шельфа. М.: Наука, 1982. С. 47–75.

13. Шипилов Э.В. К тектоногеодинамической эволюции континентальных окраин Арктики // Геотектоника. 2004. № 5. С. 26–52.

14. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.

15. Сиренко Б.И., Гагаев С.Ю. Необычное обилие макробентоса и тихоокеанские вселенцы в Чукотское море // Биология моря. 2007. Т. 33. № 6. С. 399–407.

16. Леин А.Ю., Савичев А.С., Русанов И.И., Павлова Г.А., Беляев Н.А., Крейн К., Пименов Н.В., Иванов М.В. Биогеохимические процессы в Чукотском море // Литология и полезные ископаемые. 2007. № 3. С. 247–266.

17. Саввичев А.С., Русанов И.И., Пименов Н.В., Захарова Е.Е., Веслополова Е.Ф., Леин А.Ю., Крейн К., Иванов М.В. Микробные процессы циклов углерода и серы в Чукотском море // Микробиология. 2007. Т. 76. № 5. С. 682–693.

It's found out that Pb and Zn statistical backgrounds for surface layer of bottom sediments from the Chukchi Sea and adjacent areas are 11.3 and 98.2 ppm, respectively. This is much lower than values specified in interim sediment quality guidelines. It confirms the general conclusion on favorable geoecological conditions in the Chukchi Sea.

Комлева Е.В.

(Дортмундский технический университет, Германия, komleva_ap@mail.ru)

**Информация к размышлению: геологические,
экологические и политические аспекты хранения
и захоронения ядерных материалов**

Komleva E.

(Dortmund University of Technology, Germany)

**Pabulum for reflection: geological, ecological and political
aspects of depository and repository of nuclear materials**

Международные обстоятельства и потребности

Энергетические интересы Германии на Севере Европы сосредоточены вокруг газа Штокмановского месторождения и долговременных хранилищ ядерных материалов. Попытка осмысления международными усилиями проблемы такого хранения полезна в поле образа SAMPO. И не только теоретически. И в том смысле, чтобы сферы влияния ядерных и нефтегазовых объектов в идеале территориально не перекрывались.

Ситуацию “подогревает” решение Б. Обамы через 22 года строительства и после затрат в 9 миллиардов долларов прекратить создание национального подземного хранилища высокоактивных материалов Yucca Mountain. А также – появившиеся раньше в условиях глобализации мировой экономики идея и проекты интернационализации захоронения ядерных отходов. Возникают вопросы “как?” и “где?” Особенно после американо-российского Соглашения № 123 (2010 г.), открывающего странам возможность “обмена” ядерными материалами. Директива ЕС по обращению с ядерными отходами (2011 г.) обязала членов Союза к 2015 г. разработать планы захоронения, ориентирует на подземную изоляцию и благосклонна к возможному экспорту отходов. В Западной Европе идею международной кооперации в этой сфере развивает ассоциация ARIUS.

Отмене некачественного проекта Yucca Mountain способствовал геолог Ю. Дублянский (Juri Dublyansky, www.uibk.ac.at). Его общая эрудиция и знания в сфере инженерной геологии и гидрогеологии, низкотемпературных гидротермальных процессов, изотопных исследований значимо повлияли на формирование решения ведущей ядерной страны относительно места размещения природно-техногенного объекта, безопасно функционировать который по нормативам должен не менее десяти тысяч лет.

Трагедия Фукусимы, начало которой положил геологический процесс, обнулила смысл разумных затрат при строительстве, которые были призваны комплексно обеспечить безопасность станции и хранилищ. Не пришло время объективно оценить “космические” затраты на ликвидацию последствий трагедии. В Японии и странах тихоокеанского бассейна отныне заново не раз подумают о возможности хранения и захоронения ядерных

материалов в регионах субдукционного взаимодействия литосферных плит, опасаясь периодических вбросов техногенной радиоактивности в океан. Калифорнийский желоб и Йеллоустонский мегавулкан мотивируют интерес США и Канады к Северо-Востоку России. Фукусимская катастрофа не прошла бесследно для шведов. Проект, предусматривающий строительство подземного национального ядерного хранилища, приостановлен.

Необходимо учитывать стремление западных стран повысить контроль над легкодоступными углеводородами Ближнего Востока и Африки. Грядут серьезные изменения на рынке из-за сланцевого газа. Внимание Запада к российским нефтегазовым регионам с суровым климатом может временно уменьшиться. Как необходимо учитывать и решение о закрытии АЭС Германии. Логическим продолжением этого будет сверхплановый демонтаж станций с наработкой больших объемов отходов.

Подходы России, Украины и Казахстана

Осмысление SAMPO&Co сформирует составную часть программ создания технологической платформы “Инфраструктура Арктики”. В условиях, когда независимые оценки показывают отсутствие стабильной и позитивной тенденции относительно развития нефтегазового бизнеса на шельфе Арктики. Как и провалы в 2011г. попыток России завершить подготовку контрактов на поставку газа в Китай, Роснефти - найти партнеров для работы в Арктике и Газпрома - обнародовать план инвестиций в Штокман. А также - что надежды на привлекательность освоения шельфа и для сопряженного региона не всегда сбываются. В докладе А. Миллера (2010 г.) Штокман упомянут, но не как объект реального развития.

Россия желает строить у себя международные ядерные хранилища подземного типа для твердых материалов. Теперь – тем более, так как после Фукусимы ожидаемая зарубежная прибыль Росатома от строительства АЭС может устремиться к нулю, а от демонтажа АЭС – возрастать. Нацеленность на международные хранилища формировалась задолго до Фукусимы. Подготовлена законодательная база, в Москве под эгидой МАГАТЭ прошли международные конференции по этой теме.

Вариантами размещения международных хранилищ в России, наиболее официально “продвинутыми” и традиционно для ядерной отрасли “состыкованными” с объектами наследия “холодной войны”, являются пока площадки вблизи Красноярска, Челябинска и Краснокаменска. При этом преобладает выбор площадок в зонах палеовулканов (как и в случае Yucca Mountain). А применительно к Краснокаменску интерес проявлен к эксплуатирующемуся и крупнейшему в России Стрельцовскому рудному полю на уран и позитивным считают наличие инфраструктуры горных выработок. Хотя приоритетные площадки уже “назначены”, даже лояльный к ним анализ (ИГЕМ РАН) геологической ситуации на базе чрезвычайно слабой разведки закончился признанием, что Россия находится на

начальной стадии реализации таких программ и принимать решения о пригодности площадок преждевременно. В Казахстане и Украине планируют подобные объекты на территории Семипалатинского полигона и Чернобыльской зоны.

Важно помнить, что военно-промышленные ядерные объекты СССР, к которым теперь “привязывают” международные подземные ядерные хранилища, размещались далеко не по геологическим и экономическим критериям. Безопасность же геологических (так их еще называют) хранилищ в течение тысяч лет детерминирована, прежде всего, качеством породных массивов (механическая устойчивость и способность изолировать радионуклиды, в том числе и на основе природных процессов, аналогичных гидротермальному рудообразованию), а также комплексом геологических, геофизических, гидрогеологических и геохимических условий их длительного существования. Да и социально-политическая обстановка “на дворе” совсем другая. Как и другими стали некоторые границы, дальше от которых старались разместить ядерные объекты. Теми же самыми глобально остались лишь речные системы Тобола, Иртыша, Оби и Енисея, испытывающие радиационные нагрузки прежних обстоятельств и принудительно “сосватанные” к новым. В некоторой степени ситуация аналогична и для украинского Днепра.

Применять в новое время и для новой задачи прежний подход – ошибка. Поэтому, первые (возможно, и ключевые) аргументы при подземной изоляции ядерных материалов относительно места и технологии хранилищ, наряду с политическими и экономическими, должны быть за международной геологией. После Фукусимы в МИФИ сформирован важный посыл: первоочередным считают ядерно-геологический симбиоз на международной основе. С. Кириенко в июне 2011г. сообщил, что Росатом внедряет идеологию прогноза и мониторинга условий существования АЭС по всему жизненному циклу (более ста лет), включая стадию демонтажа станций. Будет справедливо, если аналогичный подход применят к объектам хранения/захоронения ядерных материалов (тысячи лет). Без наук и практических знаний о Земле при этом не обойтись.

Потенциал российского Севера

На Северо-Западе России проектировщики Росатома последовательно считали изолирующей средой для ядерного хранилища (пока официально лишь регионального) многолетнемерзлые известняки Новой Земли и залежи солей Коми. Предложения Кольского НЦ РАН – Сайда-Губа и Дальние Зеленцы. Существуют признаки, что на Мурмане дело региональным хранилищем не ограничится. Альтернативой официальным площадкам Росатома, Дальним Зеленцам и Сайда-Губе является Печенга (Печенгская геологическая структура и ее обрамление). Причем геологические условия Печенги (как и Краснокаменска) одновременно интегрируют концепции хранилищ в гнейсах и гранитах (Швеция, Финляндия, Красноярский край,

Сайда-Губа и Дальние Зеленцы) и вулканогенно-осадочных породах (Yussa Mountain, Челябинская область).

Вблизи Печенги сосредоточены силы и средства для профессионального выполнения геологических, горных и радиационно/ядерно-опасных работ. Уже существующий геоядерный кластер упростит и удешевит как опережающие исследования (подземная лаборатория), так и создание производственного комплекса хранилища. Пospособствует экономической переориентации Мурмана. Он также в полной мере соответствует междисциплинарному и межотраслевому духу, некоторым конкретным позициям указа президента РФ (июль 2011 г.) о приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники. Кроме того, Печенга не принадлежит территории формирования великих речных систем.

В породах Печенги найдены окаменелые образцы древнейших микроорганизмов (*Pechengia melezhiki*), сформировавших на Земле важнейшие условия для будущей биологической эволюции на кислородной основе. Это признаки региональной геологической стабильности, необходимой ядерным объектам. Своеобразный талисман. А сочетание открытия *Pechengia melezhiki* с SAMPO - символ трансформации и преемственности энергетики жизни.

Не хорошие ли это знаки, учитывая, что по преданиям в “утесе из меди” Печенги создано Сампо “Калевалы”? И не подсказка ли это к объединению здесь усилий? При “перезагрузке” на Печенгу финансирования от Yussa Mountain, Новой Земли и других подобных проектов, не имеющих научных и социокультурных оснований, не выдерживающих испытания временем.

Аргументом против Печенги формально может быть добыча медно-никелевых руд. Он (как и против Краснокаменска) есть производное от рекомендации МАГАТЭ избегать изоляции ядерных материалов в зоне месторождений полезных ископаемых. Однако в случае Печенги анализ этой рекомендации, горно-геологических и экономических условий работы Норникеля приводит к выводу, что более чем семидесятилетнее изучение и освоение медно-никелевых месторождений Печенги является не осложняющим, а благоприятствующим фактором. Учитывая и перспективу на 50-100 лет. Это время принятой в мире стратегии отложенного хранения ядерных материалов в наземных хранилищах. Международный опыт показывает, что за 30-40 лет необходимых работ ни одно подземное хранилище не создано. При таких запасах времени до загрузки хранилища рассматриваемые месторождения будут гарантированно полностью отработаны. Хотя и сейчас возможно выбрать перспективные участки заведомо вне проявлений никеля. Именно Печенга максимально обеспечит выполнение этой рекомендации: известные месторождения исчезнут, а новые практически невероятны.

Реальна перспектива альянса Росатома и Норникеля. Он компенсирует арктические углеводородные и другие затруднения, поспособствует

формированию самостоятельной отрасли и международного технопарка на Севере России. Норникель может рационально продать горно-геологическую документацию и инфраструктуру. Или иначе участвовать совместно с Rosatom&Co в новом освоении подземного пространства Печенгской/Стрельцовой структуры. Внося весомый вклад в реализацию идеи “зеленых технологий”. При необходимости Норникель и на равноудаленном от западных и восточных поставщиков Таймыре найдет пригодные массив и/или готовые выработки для хранилища, дополнительно изолированные покровом многолетнемерзлых пород. В свою очередь, ледокол “Ямал”, демонстрируя стремление Росатома закрепиться в высоких широтах, недавно катал по легендарной трассе – приобщал к реальности участников конференции “Северным морским путем к стратегической стабильности и равноправному партнерству в Арктике”.

Вместо заключения

Любопытна геополитическая симметричность по контуру России. Площадка “Печенга” - северо-западная, площадка “Краснокаменск” – юго-восточная граница. С одной стороны, соответственно, потребности, как минимум, Европы, а с другой – Японии, Южной Кореи и Китая.

Не получилось порознь у США, СССР и Японии обойтись без национальных ядерных катастроф. Велик риск террористического инициирования таких катастроф для ряда стран Западной Европы. Безопасность наиболее реализуема при создании международных подземных ядерных хранилищ на стыке стран или в иначе труднодоступной местности (Печенга, Норильск/Билибино, Краснокаменск). Присоединиться к идее создания таких хранилищ было бы полезно США, Канаде, Германии, Финляндии, Швеции (и как носителям технологий подземной изоляции). А также Японии, Беларуси, Литве, Украине, другим странам Восточной Европы, Армении и Казахстану.

“Ружье на стене” - хранилище вблизи Красноярска/Челябинска при его долгой жизни обязательно “выстрелит” как повод для внешнего “принуждения к миру” в центре России. Это надо учитывать, выбирая место.

This paper presents further consideration of the following interrelation in the energy production sphere: oil and gas business and international projects on the long-term storage of nuclear materials. There are discussed some Russian versions of construction of nuclear depositories as well as corresponding geological assessments. In particular, for the North-West Russia.

Коновалова Т.Г., Полосина Ю.Е.

(Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, abio@atlas.baltnet.ru)

Распределение взвешенного материала в мониторинговом районе у нефтедобывающей платформы Д-6, Юго-Восточная Балтика

Konovалova T.G., Polosina Y.E.

(Atlantic Branch of Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad)

Distribution of particulate suspended matter (PSM) in monitoring area near the oil platform D-6, South-Eastern Baltic

На протяжении девяти лет (2003-20011 гг.) в юго-восточной части Балтийского моря ведется ежегодный и сезонный экологический мониторинг. Цель мониторинга – выявление процессов взмучивания и переотложения донных осадков в районе нефтедобычи (Кравцовское месторождение, платформа Д-6). В рамках этих работ проводятся отборы проб воды батометром для определения концентраций взвешенного материала в разные сезоны года (рис. 1) и верхнего слоя (0–5 см) донных осадков дночерпателем.

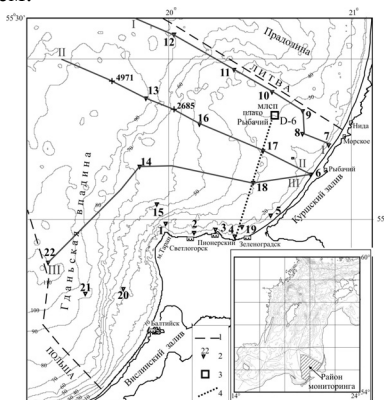


Рис. 1 Схема расположения станций экологического мониторинга и профилей в российской экономической зоне юго-восточной части Балтийского моря (Гданьский бассейн).

Изобаты через 10 м [1]. Условные обозначения: 1 – границы российского сектора; 2 – станции мониторинга; 3 – морская ледостойкая стационарная платформа (Д-6); 4 – подводная трасса нефтепровода.

Мониторинг проводится на 21 станции на глубинах от 7 до 112 м. Вода с целью определения в ней концентраций взвеси отбиралась через 5–10 м 1.5–

литровым батометром и отфильтровывалась через поликарбонатные ядерные фильтры «Дубна» с диаметром пор 0.45 мкм по общепринятой в ИО РАН методике. Объем каждой пробы воды – 1–1.5 л. Для получения более точных результатов определения общей концентрации взвешенного вещества в воде каждая проба фильтровалась параллельно на два фильтра. Количество собранной взвеси на фильтрах определялось весовым методом (на аналитических весах). Затем концентрация взвешенного вещества в пробах воды определялась путем пересчета на количество отфильтрованной воды (принималось средняя концентрация взвеси по двум определениям для каждой анализируемой пробы).

Пробы донных осадков описывались визуально. В лабораторных условиях определялся их гранулометрический состав: грубозернистых осадков – ситовым методом, илистых – водно-механическим.

В данном докладе авторы рассматривают особенности распределения водной взвеси в районе мониторинга в период съемки в марте 2008 г.

Ранее было выявлено [2], что средняя концентрация взвеси в водах Гданьского бассейна колебалась: в поверхностном слое 0.7–22.4 мг/л, в придонном слое 0.3–11.4 мг/л. По нашим наблюдениям концентрация взвеси в марте в мониторинговом районе колебалась в пределах 0.1–10.55 мг/л и в среднем в толще вод изучаемого района составляет 1.58 мг/л (таблица).

Таблица Пределы колебаний и средняя концентрация взвеси (мг/л) в марте 2004–2008 гг. в водах Юго–Восточной Балтики (район нефтедобычи, платформа Д–6).

Горизонты, м	5 рейсов съемок марта	
	Пределы колебаний	Среднее
0–5	0.10–12.40	1.68
10	0.10–10.55	1.14
14–20	0.67–8.15	3.34
28–40	0.05–4.96	0.55
45–60	0.12–1.80	0.40
65–80	0.15–0.80	0.47
84–112*)	0.12–3.22	1.00

*) придонный слой, 1 м. от дна

На основе проведенных определений были построены карты (рис. 2) распределения концентраций взвеси. Наибольшие концентрации взвеси (3.4–7.4 мг/л) зафиксированы в прибрежной зоне. Они сохраняются во всей прибрежной мелководной полосе, обычно до глубины 30 м, в некоторых районах до 50 м. В более удаленных от берега районах (на глубинах более 30 м), количество взвеси в толще вод уменьшалось до 0.2–0.5 мг/л.

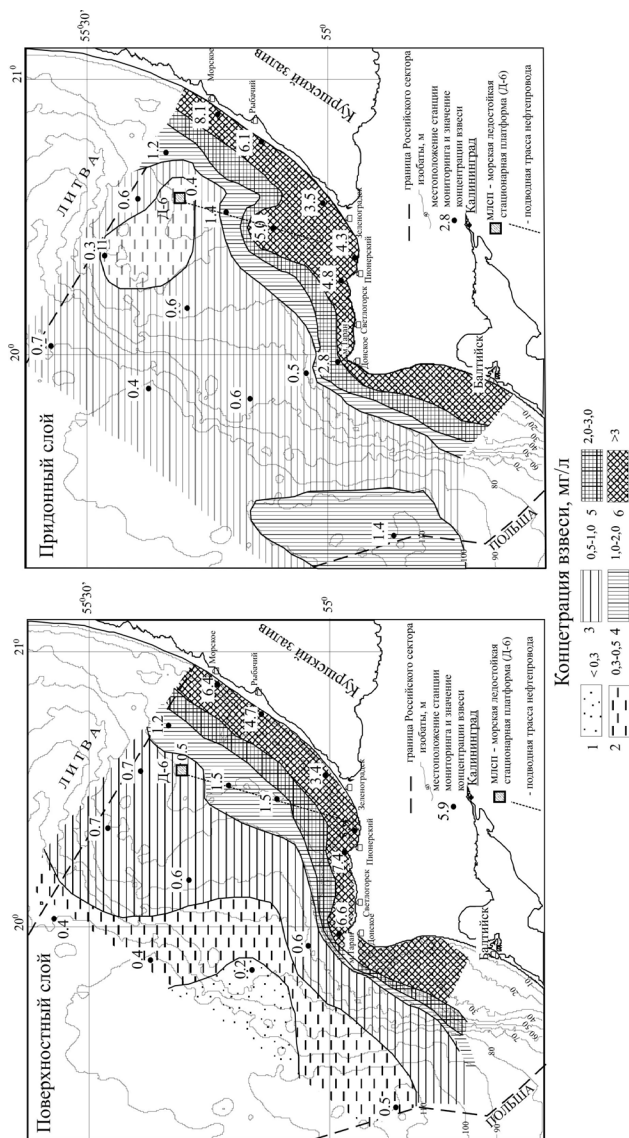


Рис. 2 Концентрация взвеси в мониторинговом районе нефтедобычи в Ю-В Балтике.
Цифры у станции – концентрация взвеси в мг/л, 12–15 марта 2008)

В придонном же слое наибольшие концентрации (3.5–8.1 мг/л) наблюдались в прибрежной зоне: чем дальше от берега, и чем глубже, тем взвеси меньше (до 0.4 мг/л), но в глубоководной части (глубина 100 м), вновь её количество увеличилось до 1.4 мг/л.

Вертикальное распределение взвешенного материала отображается на разрезах (рис. 3). В прибрежной зоне от поверхности до дна выявлены максимальные концентрации. У дна эти значения встречаются на протяжении 10–30 миль.

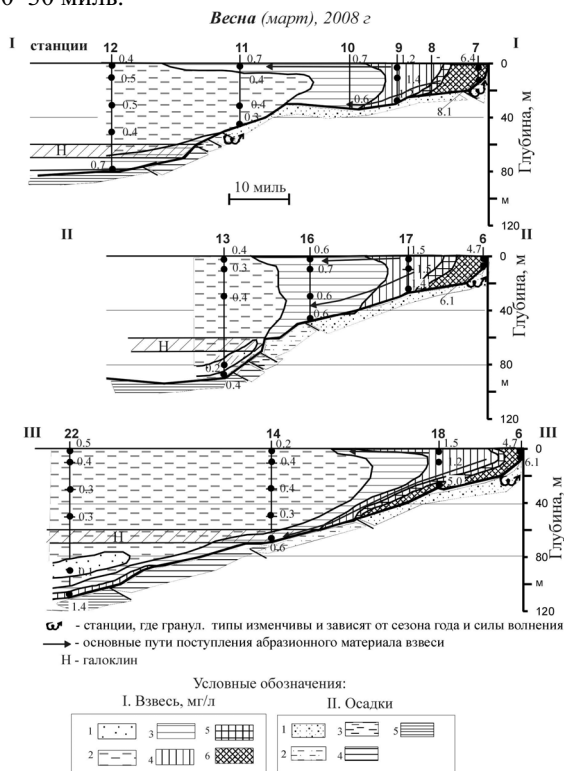


Рис. 3 Распределение концентрации водной взвеси (мг/л) на профилях «берег-море» в марте 2008, район мониторинга у платформы Д-6.
 I – Взвесь (мг/л): 1 – <0.3; 2 – 0.3–0.5; 3 – 0.5–1.0; 4 – 1.0–2.0; 5 – 2.0–3.0; 6 – >3. II – Осадки: 1 – пески; 2 – крупные алевроиты; 3 – мелко-алевритовые илы; 4 – алевроитово-пелитовые илы; 5 – пелитовые илы

В прибрежной зоне распространения крупнозернистых осадков (гравия и песка) концентрации значительно выше в придонном слое, чем на поверхности и в то же время она выше, чем в районах распространения илов. В районах распространения илов вертикальный профиль концентраций довольно однороден (0.3–0.5 мг/л), значения различаются на

одну – две десятые мг/л. На глубоководных станциях (больше 70 м) в зоне галоклина и ниже него концентрация взвеси уменьшается до минимальных значений (0.1 мг/л), а при приближении к дну, вновь увеличивается до 1.4 мг/л.

Основными факторами, влияющими на изменчивость концентрации взвеси в Балтийском море, являются: волновая деятельность и прибрежные течения, абразия берегов, эрозия дна, сезонность, паводковые явления [3]. В исследуемом районе Юго-Восточной Балтики основным источником взвешенного материала является размыв берегов и дна [4]. Именно, ранней весной происходит максимальное разрушение берегов сильными штормами. В этот период, взвешенный абразионный материал в районе Самбийского полуострова выносится в море на расстояния до 20–25 км [3]. Более крупные (песчано-гравийные) фракции осаждаются в мелководной зоне, и здесь же отмечается высокая концентрация водной взвеси (до 8.1 мг/л у дна). Тонкозернистый осадок переносится течениями далеко от берега, и он осаждается в Гданьской впадине. Количество взвешенного материала в глубоководных районах сокращается. На глубинах 70–80 м (уровень галоклина) концентрация взвеси уменьшается, а затем у дна вновь возрастает. Илистые частицы в придонном слое пребывают во взвешенном состоянии, не осаждаясь на дно. Такая картина, свойственная этому району Балтийского моря, была описана ранее [3] и полученные данные в зоне мониторинга в марте 2008 года соответствуют ей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденко М.В., Ражева Т.И. О новой батиметрической карте дна Балтийского моря // *Океанология*, 2004. Т. 44. № 3. С. 475–478.
2. Emelyanov E. M., Stryuk V. L.. Distribution of suspended matter // E.M. Emelyanov (ed.). *Geology of the Gdansk Basin Baltic Sea*. Kaliningrad: Yantarny Skaz, 2002. P. 78–81.
3. Емельянов Е.М., Пустельников О.С. Взвешенное вещество, его состав и баланс осадочного материала в водах Балтийского моря // В.К. Гудялис, Е.М. Емельянов (ред.), *Геология Балтийского моря*. Вильнюс: Мокслас, 1976. С. 159–187.
4. Шуйский Ю.Д., Болдырев В.Л., Гуделис В.К. Берега Балтийского моря и их роль в поставке осадочного материала // В.К. Гудялис, Е.М. Емельянов (ред.), *Геология Балтийского моря*. Вильнюс: Мокслас, 1976. С. 141–159.

This paper describes the distribution of particulate suspended matter in the water in the area monitoring near the oil platform D–6 in March 2008. The main factors influencing the variability of the concentration of PSM in this period: the wave activity, abrasion coasts, currents. We obtained data distribution pattern corresponding to the concentration of PSM described previously as in the square, so in depth.

Коробов В.Б., Хоменко Г.Д.

(Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Архангельск, grigory_kh@inbox.ru)

**Применение экспертных технологий для разработки
некоторых составляющих схемы экологического
мониторинга гидротехнических сооружений**

Korobov V.B. Khomenko G.D.

(The North-Western Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS,
Arkhangelsk)

**The use of expert technologies to develop the some components
of the scheme of environmental monitoring of hydraulic
structures**

При разработке системы мониторинга его компоненты можно разделить на две группы. К первой относится сеть наблюдений и сами наблюдаемые характеристики. Их можно назвать основополагающими, поскольку именно от расположения станций мониторинга, состава и частоты наблюдений за характеристиками окружающей среды зависит полнота исходных данных, необходимых для оценки ее качества и прогноза состояния.

Вторую группу составляют приборы, базы данных, математические модели. Они носят технологический характер, и их состояние зависит от уровня достижений соответствующих наук и техники.

Факторам первой группы в значительно большей степени, чем второй присущи неопределенности при выборе параметров системы. Обусловлены они многовариантностью выбора мест расположения точек контроля и огромным числом показателей, которыми описывается любая природная система, не говоря уж о природно-техногенных системах.

Теоретически первую задачу можно решить, исходя из пространственно-временных масштабов изменчивости природных процессов, положив в основу их характерные размеры и длительность. Но для этого требуются длительные ряды наблюдений по как можно более густой сети пунктов, чем мы в подавляющем числе случаев как раз и не располагаем.

Не лучше обстоит дело и с выбором показателей. Только химических веществ – а при попадании в окружающую среду все они могут стать загрязнителями, насчитывается сотни тысяч. Достаточно длинный перечень характеристик можно составить и по различным геосферам. Так, растений насчитывается больше миллиона, животных – сотни тысяч, минералов и горных пород – тысячи и т.д. и т.д.

Естественно, что элементарный здравый смысл требует ограничения количества наблюдаемых параметров. Но как это сделать? Формальные алгоритмы оптимизации требуют соответствующих объемов информации, которыми мы не всегда располагаем, да и вопрос критериев достаточности

информации все еще далек от разрешения.

В таких ситуациях, когда факторов, влияющих на конечный результат, много, а критериев и показателей их оценки еще больше, применяются экспертные методы. Суть экспертных методов заключается в установлении численных оценок факторов и параметров объектов и на их основе – выборе приоритетов [1]. Под приоритетами в задаче мониторинга как раз и подразумевается выбор координат точек наблюдения на земной поверхности, наблюдаемых характеристик и частота наблюдений.

Выбор сети наблюдений и состава наблюдений с точки зрения проведения процедур экспертного опроса – самостоятельные проблемы. Тем не менее, первой из них должна рассматриваться задача расположения наблюдательных пунктов, поскольку от места наблюдения в определенной степени зависит набор контролируемых характеристик.

Но прежде, чем предложить процедуры экспертного оценивания и дать формулу количественной оценки обобщенного показателя для пункта наблюдения, необходимо решить, какая информация будет для этого исходной.

Обычно предложения к схеме мониторинга разрабатываются в процессе проектирования промышленных и иных объектов, и являются составной частью соответствующих разделов. В этих разделах содержатся сведения о состоянии компонентов природной среды и социальной сферы, уровне нарушенности и степени загрязненности территории и акваторий водных объектов, а также оценки зоны потенциального воздействия на них. Как правило, этих сведений вполне достаточно, чтобы эксперты получили полное представление, как о характере воздействия, так и их ожидаемых последствиях.

Экспертам предлагается на картосхеме зоны потенциального воздействия обозначить места расположения пунктов наблюдения. Для удобства обработки результатов точки должны обобщаться по квадратам или другим геометрическим фигурам. При этом не столь важно, сетка предлагается сразу или же накладывается потом на картосхему с нанесенными на ней отметками экспертов.

Оптимальные места расположения точек наблюдения получаются путем простого подсчета частоты попаданий точек в соответствующий квадрат. Те квадраты, в которых частота попаданий наибольшая, и будут приоритетными для расположения точек наблюдения.

На втором этапе эксперты выбирают наблюдаемые характеристики и располагают их по степени важности. Параллельно с ранжированием характеристик эксперты должны указать и частоту их наблюдений, скажем, за год, а также оценить значимость каждой характеристики. Последнее достигается путем присвоения им соответствующих весовых коэффициентов, методы нахождения которых рассмотрены в монографиях [2]. Индивидуальные результаты экспертных опросов усредняются в виде

таблицы, которая может иметь следующий вид:

Обобщенные результаты экспертной оценки характеристик мониторинга

№	Характеристика	Рейтинг (суммарный средний ранг)	Средняя частота/сезон	Весовой коэффициент
1	Растворенный кислород	105, 3	4	0,203
2	Водородный показатель рН	100, 4	4	0,076
...				
n	Нефтяные углеводороды	78,5	2	0,332
...				
N	Лигносультанаты	52,0	4	0,126

Представляется целесообразным произвести классификацию точек наблюдений по их важности. Количественные оценки значимости точек можно получить по формуле

$$I_j = \sum_{i=1}^n k_i n_j t_i \quad (1)$$

где I_j – интегральный показатель значимости, n_j – число наблюдаемых характеристик в j -той точке пространства, $j=1 \dots m$, – номер точки, t_i – частота наблюдений i -й характеристики, выраженная целым числом, k_i – весовой коэффициент характеристики.

При наличии режимных данных о характеристиках природной среды формула (1) может быть дополнена балльными оценками показателей влияющих факторов p_{ij} :

$$I_j = \sum_{i=1}^n k_i n_j t_i p_{ij} \quad (2)$$

При этом балльные оценки рассчитываются для нормируемых составляющих относительно их ПДК, а для прочих, таких как температура, скорости течений и т.д., – по их номинальным значениям.

Значения интегрального показателя используются для построения числовой шкалы, которую можно разбить на несколько интервалов. Нет особого смысла устанавливать много интервалов. По-видимому, достаточно ограничиться тремя интервалами: 1 раз в год, 1 раз в сезон и 1 раз в месяц. При этом внутри интервала привязка к датам должна быть сопряжена с природными процессами, определяющими режим функционирования природного объекта. Так, если мониторингу подлежит участок реки, то обязательным условием установления сроков проведения мониторинга весной является период паводка, а летом – межени, сроки прохождения которых не являются постоянными.

Когда речь идет о разработке системы мониторинга для территорий и акваторий, подверженных воздействию техногенных объектов, разделяют штатные и аварийные ситуации. Кроме того, к последствиям, сопоставимым по масштабам с авариями, могут приводить природные катастрофы, такие как землетрясения, цунами, ураганы, и деятельность естественных природных процессов, таких как экзогенные, следствием которых может быть изменение ландшафтов, обрушение берегов и т.д.

Как отмечено выше, эмпирические данные о последствиях аварийных ситуаций вместе с исследованиями на моделях, дают экспертам необходимую информацию для выработки предложений по составу и периодичности мониторинга. Следует ожидать, что схема мониторинга при аварийных выбросах, сбросах и разливах будет, и должна!, отличаться от нормальной ситуации.

Таким образом, экспертный подход позволяет разрабатывать схемы экологического мониторинга при существенно меньших затратах и выигрышем во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии. Архангельск, Издательство Поморского государственного университета, 2008. 244 с.
2. Коробов В.Б., Тутыгин А.Г. Классификационные методы решения эколого-экономических задач. Архангельск, Поморский университет, 2010ю 310 с.

The authors propose a new approach to observing networks in the implementation of environmental monitoring technologies based on expert evaluation of the nature of the impact on the environment.

Коробов В.Б.¹, Середкин К.А.², Тутыгин А.Г.³

(¹Северо-западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, szoioran@mail.ru; ²Северный Арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск; ³ООО «Лаборатория информационно-аналитических систем», andgt64@yandex.ru)

О применении метода аналитических сетей в задачах геоэкологии

Korobov V.B.¹, Seryodkin K.A.², Tutigin A.G.³

(¹Northwest Branch of Shirshov Institute of Oceanology RAS, Arkhangelsk; ²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; ³Laboratory of information-analytical systems Ltd.)

About using analytical network method for geoecological tasks

Все геоэкологические объекты образуются в результате сложения большого количества факторов. Для описания такого рода объектов используются различные методы, основанные на различных подходах и математическом аппарате. Однако, несмотря на имеющиеся методологические различия, все они нацелены на установление взаимосвязей между компонентами объекта и определения приоритетов влияющих факторов путем присвоения им соответствующих весовых коэффициентов. При их нахождении широко используются экспертные методы оценивания [1, 2].

Одним из самых распространенных методов экспертных оценок является метод анализа иерархий (МАИ), разработанный Томасом Саати [3], суть которого – попарное сравнение влияющих факторов по специальной шкале отношений с последующей математической обработкой соответствующих матриц. При этом сравнение факторов производится исключительно друг с другом по их вкладу в конечный результат, влияние других факторов на каждую пару в процессе сравнения в расчет не принимается, т.е. факторы в процедуре МАИ считаются независимыми. Конечно, эксперты могут неявно учитывать влияние факторов друг на друга, но на практике сделать при используемой шкале отношений отнюдь не просто. При этом следует учесть, что в рамках конкретной задачи различные факторы могут быть проявлениями одного и того же более общего фактора. Однако дальнейшая такая формализация неминуемо потребует увеличения размерности задачи.

В определенной мере «исправить» эти недостатки призван метод аналитических сетей (МАС), заметный вклад в развитие которого также внес Саати [3]. Кратко суть МАС состоит в следующем: с использованием аппарата теории графов строятся сети, которые фактически моделируют прямые, обратные и опосредованные зависимости между факторами, либо указывают на отсутствие таковых. Далее, экспертным путем строятся матрицы парных сравнений для факторов, входящих в различные заранее созданные кластеры (проблема кластеризации, структуризации и

минимизации связей между кластерами представляет собой самостоятельную задачу, см., например, [4]), и с использованием МАИ рассчитываются промежуточные весовые коэффициенты. Дальнейшее их использование зависит от выбранной модели учета зависимостей, от которой в свою очередь будет зависеть вид так называемой суперматрицы, обработка которой и позволяет уже найти искомые весовые коэффициенты. Техническую сторону обработки суперматрицы в рамках настоящей публикации мы рассматривать не будем.

Как может быть применён МАС в задачах геоэкологии, рассмотрим на примере географо-экологического районирования акваторий, полученных в рамках исследования Белого моря под задачу транспортировки нефтяных углеводородов танкерным флотом [5]. Для изучения возможностей метода произведем исследования на трех группах факторов: климатических, океанографических и экологических, образующих соответствующие кластеры. Связи между кластерами представлены на рис. 1.

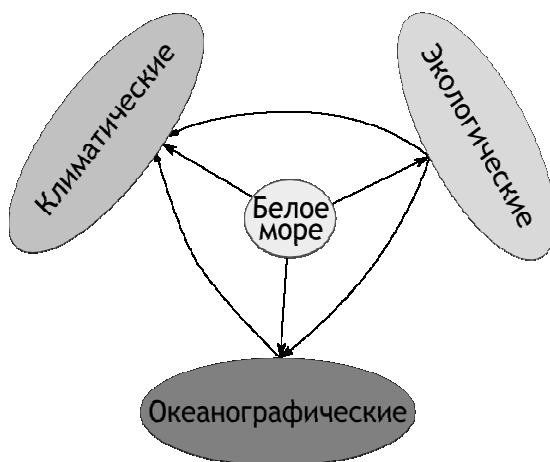


Рис. 1. Общая схема локальной задачи

Взаимосвязи между элементами кластеров (рис. 2) устанавливалась путем логического анализа, в основе которого лежит физика природных процессов, и эмпирического опыта влияния нефтяного загрязнения на растительный и животный мир, экономическую деятельность. Так, ветер не только непосредственно влияет на дрейф нефтяных пятен, но и косвенно: ветровые течения также переносят нефтяное загрязнение, а ветровые волны способствуют проникновению нефти вглубь водной толщи.

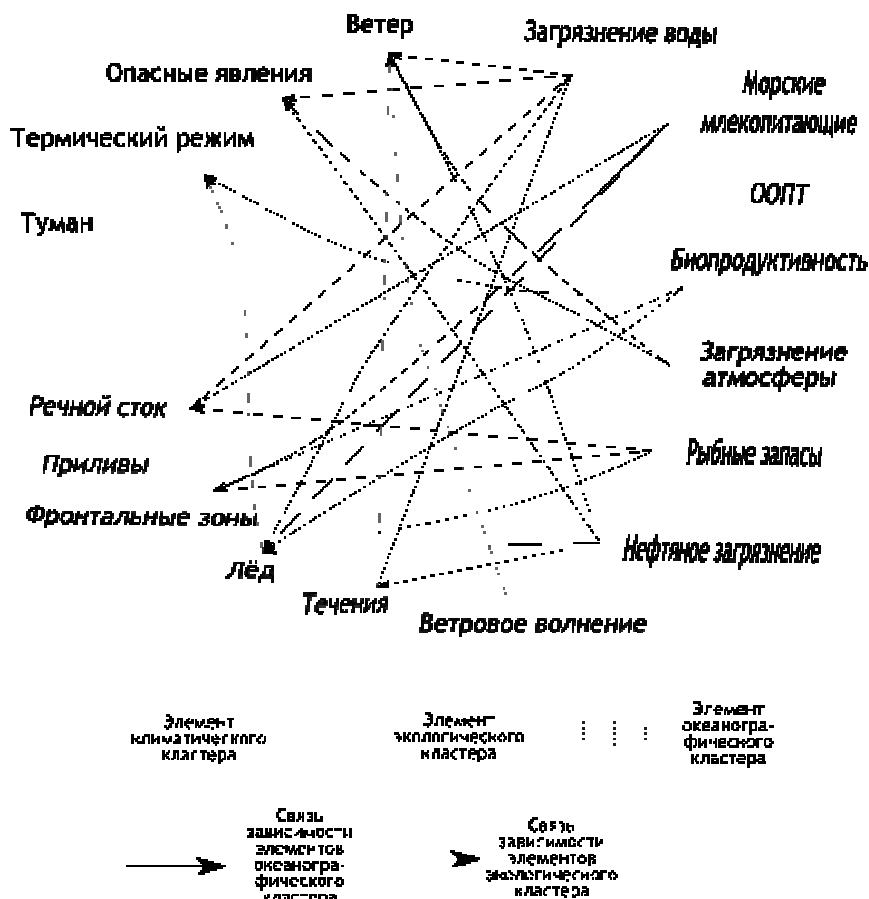


Рис. 2. Схема взаимного влияния элементов

Расчет весовых коэффициентов факторов с учетом связей между компонентами системы, показал различия значений весов между МАИ и МАС для зависимых факторов (рис. 3). Особенно заметны различия для факторов, оказывающих влияние более чем на два фактора в других кластерах. Так значимость ветра возросла примерно в два раза.

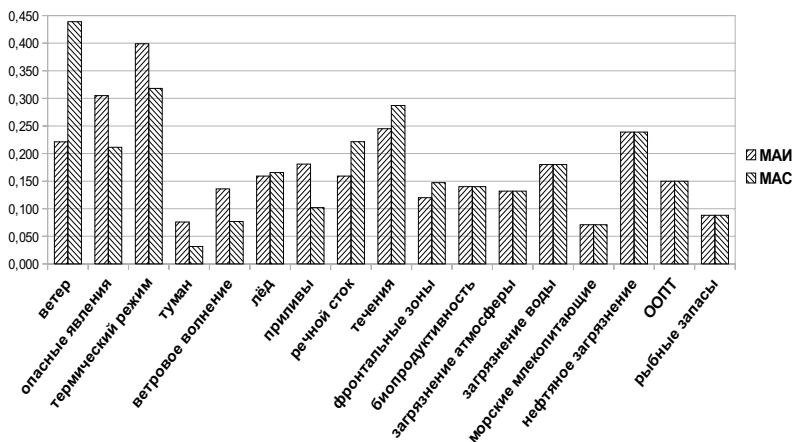


Рис. 3. Весовые коэффициенты влияющих факторов, рассчитанные методами анализа иерархий (МАИ) и аналитических сетей (МАС)

Таким образом, учет зависимости одних факторов от других дает возможность находить более корректные значения их весовых коэффициентов, что позволяет строить более точные классификационные модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии. Архангельск, Издательство Поморского государственного университета, 2008. 244 с.
2. Коробов В.Б., Тutyгин А.Г. Классификационные методы решения эколого-экономических задач. Архангельск, Поморский университет, 2010. 310 с.
3. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 360 с.
4. Тutyгин А.Г., Амбросевич М.А. Модель распределения ресурсов в горизонтально-кооперированной организации // Современные подходы к исследованию и моделированию в экономике, финансах и бизнесе: Материалы конференции Европ. ун-та в СПб и СПбЭМИ РАН. СПб., 2008. С. 163-167.
5. Завернина Н.Н., Коробов В.Б. Факторы, влияющие на экологическую ситуацию Белого моря // Вестник Архангельского государственного технического университета. Серия «Прикладная геоэкология». 2007. Вып. 70. С. 27-37.

ANP is used extensively to rate quantitative characteristics of the systems with partial (or full) factor's influence. This article reviews the first experience in using ANP for geographical and ecological objects.

Кравцов В.А., Емельянов Е.М., Коновалова Т.Г.

(Атлантическое отделение Учреждения РАН Института океанологии им.
П.П. Ширшова, Калининград, kravtsov@atlas.baltnet.ru)

**Распределение тяжелых металлов (Cu, Cd, Pb, Cr, Hg) в
донных осадках юго-восточной Балтики и оценка степени
их загрязнения (по результатам мониторинга 2003-2010 гг.)**

Kravtsov V.A., Emelyanov E.M., Konovalova T.G.

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

**Distribution of heavy metals (Cu, Cd, Pb, Cr, Hg) in the bottom
sediments of the south-eastern Baltic and the estimation
of its contamination (data of monitoring 2003-2010)**

В результате проведения ежегодных многолетних исследований (2003-2010 гг.) изучена изменчивость и распределение гранулометрических типов верхнего слоя (горизонт 0-5 см) донных осадков и содержание в них ряда тяжелых металлов (Cu, Cr, Cd, Pb, Hg) в Российском секторе юго-восточной Балтики (ЮВБ, Гданьский бассейн), в том числе и в районе расположения нефтедобывающей платформы Д-6 (рис.).

Всего отобрано и изучено 120 проб на 34 станциях мониторинга в летний период каждого года (июнь-июль) (рис.) Из них 12 станций расположены вблизи платформы Д-6 и характеризуются песчано-гравийным дном (глубины 27-34 м). Остальные 22 станции находятся как в прибрежной, так и глубоководной зонах, расположенных по всей площади российского сектора ЮВБ. На I этапе (2003 г.) проведены исследования до установки платформы. Затем, во II этап (2004 г.) было изучено влияние прокладки трубопровода и буровых работ. Во время III этапа (2005-2010 гг.) изучалось влияние эксплуатации месторождения. Целью мониторинга являлось уточнение возможного влияния нефтедобычи на содержания тяжелых металлов в донных осадках.

Построены гистограммы распределения изученных показателей и проведено сравнение содержаний токсичных металлов в донных осадках с Международными нормативами по загрязненности тяжелыми металлами – нормативами Швеции для донных осадков Балтийского моря [1].

В исследованном районе обнаружены все характерные гранулометрические типы донных осадков: гравий, пески и крупные алевроиты в мелководной прибрежной зоне моря и на промежуточных глубинах (глубины 7-49 м), мелкоалевритовые, алевроитово-пелитовые и пелитовые илы в глубоководных районах (глубины 68-108 м). В соответствии с закономерностями механической сепарации осадочного вещества в бассейнах с преимущественно терригенным типом осадконакопления (в т.ч. и в Балтийском море) происходит процесс дифференциации большинства химических элементов (в том числе и Cu, Cr,

Cd, Pb, Hg) согласно правилу «гранулометрических фракций», и, в частности, правилу «пелитовой» фракции [2]. Данное правило гласит: чем больше в осадке содержится наиболее тонкой (пелитовой) фракции ($<0,01$ мм), тем выше в нем содержание большинства химических элементов [2]. Таким образом, в глубоководных районах моря, где на дне залегают тонкодисперсные осадки (илы) наблюдаются повышенные содержания химических элементов по сравнению с его прибрежными районами, характеризующихся крупнозернистыми осадками (гравием, песками и крупными алевритами). Это естественный природный процесс формирования химического состава донных осадков и его необходимо всегда учитывать при проведении геолого-геохимических и геоэкологических исследований.

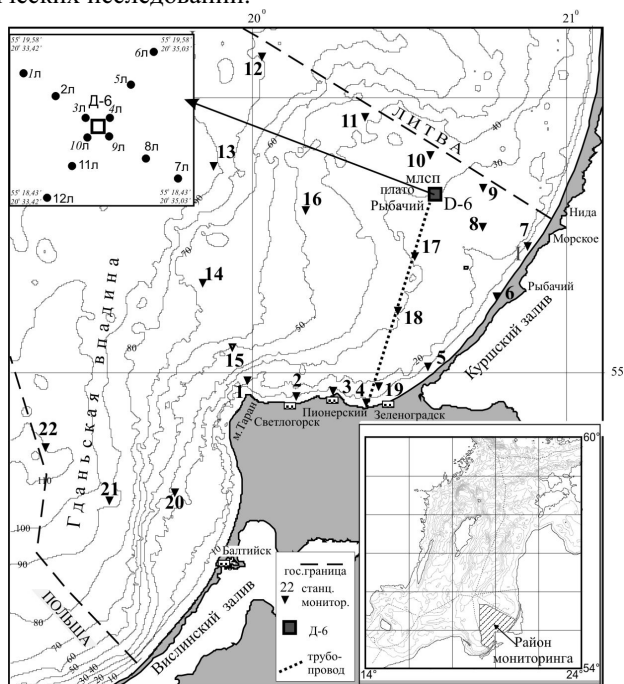


Рис. Карта-схема расположения станций мониторинга в юго-восточной Балтике

Содержания Си в осадках на восемнадцати мелководных и промежуточных станциях находились, в среднем, на уровне фоновых значений согласно нормативам Швеции (15 мг/кг). Несколько повышенные ее содержания (в 2-4 раза выше фонового значения) в этих осадках наблюдались в отдельные годы в гравийных осадках и мелкоалевритовых илах (2003 и 2007 гг.) – около 30 мг/кг и в песках (2007 г.) – 38 мг/кг. В

пелитовых, алевроитово-пелитовых и мелкоалевритовых илах на пяти глубоководных станциях согласно правилу «пелитовой фракции» наблюдались повышенные содержания Cu (38-56 мг/кг). Межгодовая изменчивость ее содержаний на этих станциях также оказалась незначительной. Ни в одной из изученных проб донных осадков не обнаружено превышение ПДК Cu (120 мг/кг). Максимальные уровни содержаний Cu , обнаруженные в пелитовых илах в 2007 г. (56 мг/кг) примерно в 2 раза ниже уровня ее ПДК. Это указывает на отсутствие или незначительное влияние фактора антропогенного загрязнения на содержания Cu в донных осадках изученного района ЮВБ.

Содержания Cr в крупнозернистых осадках на мелководных и промежуточных станциях, находились, в среднем, в 2 раза ниже уровня фоновых значений по нормативам Швеции (80 мг/кг). Несколько повышенные его содержания наблюдались, согласно «правилу фракций» как и для меди, в 2003 г. в мелкоалевритовых илах (105 мг/кг). В илах глубоководных станций согласно тому же правилу наблюдались повышенные содержания Cr (50-100 мг/кг), которые были близки к его фоновым значениям по нормативам Швеции. Межгодовая изменчивость его содержаний на этих станциях оказалась незначительной. Исключение составила наиболее мелководная из всех изученных глубоководных станций (глубина 68 м), где в 2007 г. содержание Cr в пелитовых илах оказалось заметно ниже (40 мг/кг) по сравнению с другими годами исследований. Ни в одной из изученных проб донных осадков не обнаружено превышение ПДК Cr (220 мг/кг). Максимальные уровни содержаний Cr , характерные для пелитовых илов глубоководных станций оказались более чем в 2 раза ниже уровня его ПДК.

Содержания Cd в крупнозернистых осадках (песках, гравии и крупных алевроитах) на мелководных и промежуточных станциях, в основном, составляли значения 0,1 мг/кг, что в 2 раза ниже уровня его фоновых значений по нормативам Швеции (0,2 мг/кг). Повышенные его содержания наблюдались в песках: в 2007 г. - 0,3 мг/кг и в 2005 г. - 0,3 и 0,4 мг/кг, соответственно. В илах глубоководных станций согласно правилу «пелитовой фракции» наблюдались повышенные содержания Cd (0,4-1,0 мг/кг). Межгодовая изменчивость ее содержаний на этих станциях оказалась незначительной. Исключение составила наиболее мелководная из всех изученных глубоководных станций (глубина 68 м), где содержание Cd в пелитовых илах в 2004 г. оказалось заметно ниже (0,1 мг/кг) по сравнению с другими годами исследований (0,4-0,5 мг/кг). Ни в одной из изученных проб донных осадков не обнаружено превышение ПДК Cd (3,0 мг/кг). Максимальные обнаруженные содержания Cd , характерные для пелитовых илов глубоководных районов, оказались в 3 и более раз ниже уровня его ПДК.

Содержания Pb в гравии, песках и крупных алевроитах на мелководных и

промежуточных станциях находились на уровнях от 2 до 10 раз ниже фоновых значений согласно нормативам Швеции (31 мг/кг) и составили диапазон значений от 3 до 15 мг/кг. В илах на глубоководных станциях согласно правилу «пелитовой фракции» наблюдались повышенные содержания Pb (20-52 мг/кг), которые, в среднем, были близки к его фоновым значениям по нормативам Швеции (31 мг/кг). Таким образом, межгодовая изменчивость ее содержаний на этих станциях оказалась значительной (до 2 раз на отдельных станциях). Тем не менее, ни в одной из изученных проб донных осадков не обнаружено превышение ПДК Pb (100 мг/кг). Максимальные уровни содержаний Pb (52 мг/кг), обнаруженные в пелитовых илах, оказались примерно в 2 раза ниже уровня его ПДК.

Содержания Hg в крупнозернистых осадках на мелководных и промежуточных станциях находились в диапазоне значений 0,01-0,12 мг/кг. Повышенные ее содержания 0,04-0,12 мг/кг наблюдались на ряде станций, в основном, в 2003 г. и в 2005 г. Обнаруженные содержания ртути, в среднем, соответствуют фоновому уровню содержаний фоновых значений по нормативам Швеции (0,04 мг/кг). Все значения содержаний в этих осадках в 10 и более раз ниже ее ПДК (1,0 мг/кг). В илах на глубоководных станциях согласно правилу «пелитовой фракции» наблюдались повышенные содержания Hg (до 0,35 мг/кг). Причем, максимальные ее содержания, обнаруженные в 2004 и 2005 г., приурочены к пелитовым илам трех самых глубоководных станций (глубины 91, 92 и 108 м, соответственно) – 0,30-0,35 мг/кг. Межгодовая изменчивость ее содержаний в песках и илах на ряде станций оказалась значительной. Но ни в одной из изученных проб донных осадков не обнаружено превышение ПДК Hg (1,0 мг/кг). Максимальные уровни содержаний Hg (0,32-0,35 мг/кг), обнаруженные в нескольких пробах пелитовых илов, оказались примерно в 3 раза ниже уровня ее ПДК.

Содержания всех изученных металлов в крупнозернистых осадках находились ниже или соответствовали их фоновым значениям по нормативам Швеции, а в илах – несколько превышали их по ряду элементов (Cu, Cd, Hg), но во всех 120 изученных пробах они находились заметно ниже уровней их ПДК, регламентированных нормативами Швеции для донных осадков Балтийского моря. Это указывает на отсутствие или незначительное влияние фактора антропогенного загрязнения на содержание изученных тяжелых металлов в донных осадках ЮВБ.

Тенденция незначительного повышения содержаний Pb (на 10-20 %) в осадках выявлена на III этапе. Это может быть связано с использованием защитного металлического сплава для опор платформы, содержащего Pb, а также с возможным дополнительным его поступлением с суши с атмосферным переносом. Для остальных изученных элементов подобная тенденция не прослеживается, либо весьма незначительна.

Таким образом, влияние процесса нефтедобычи и др. антропогенных

факторов не оказывает существенного негативного влияния на геоэкологического состояние донных осадков в отношении их загрязнения тяжелыми металлами.

Наблюдаемая на некоторых из исследованных станций межгодовая изменчивость содержаний изученных металлов может быть обусловлена:

а) естественной межгодовой изменчивостью гранулометрического состава осадков (например, заиливания песков, и, соответственно, согласно правилу «пелитовой фракции», повышения в них содержаний изученных элементов, или наоборот), отобранных в разные годы на одной и той же станции;

б) возможными примесями в осадках аутигенных минералов (глауконита, железо-марганцевых конкреций и корок и др.), которые, как известно, содержат повышенные количества микроэлементов;

в) невозможностью точного пробоотбора осадков из одного и того же места на одной и той же станции, и соответственно, влиянием горизонтальной неоднородности фракционного и химического составов осадков.

Ряд из представленных данных исследований также приведен в статье: Емельянов Е.М., Коновалова Т.Г. “Некоторые результаты мониторинга донных осадков района нефтедобычи в юго-восточной Балтике”, принятой в печать в 2011 г. в журнале «Геоэкология и инженерная геология».

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов Балтийского моря» в рамках проекта ФЦП «Мировой океан».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Metals in Coastal and Marine Environments. Swedish Environmental Protection Agency, 2002. 35 p.
2. Емельянов Е.М. Седиментогенез в бассейне Атлантического океана. М.: Наука, 1982. 190 с.

Distribution of heavy metals (Cu, Cd, Pb, Cr, Hg) were studied in 2003-2010 by the annual monitoring (2003-2010) of the bottom sediments in the Russian Sector of south-eastern Baltic and also in the area of the oil-platform D-6. Contents of all studied elements in sediments are in background levels and they are not contaminated by these metals.

Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А.

(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, andreikuz@mail.ru)

Изучение хронологии аккумуляции нефтяных компонентов в донных отложениях Азовского моря и Нижнего Дона с использованием радиоизотопов как трассеров

Kuznetsov A.N., Fedorov Yu.A.

(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

The study of chronology of the oil components' accumulation in the Sea of Azov and the Lower Don bottom sediments using the radioisotopes as tracers

Для Азовского моря и Нижнего Дона нефть и нефтепродукты являются приоритетными загрязняющими веществами. Мониторинг уровня их содержания осуществляется с 1970 г. [1–3]. Согласно имеющимся данным, с середины 1980-х гг. к началу 1990-х гг. в Азовском море произошло существенное сокращение концентраций суммы нефтяных компонентов: с 5–10 до 1–3 ПДК в воде и с 0,8–1,3 до 0,2–0,5 мг/г сухой массы (с.м.) в донных отложениях. В последующие годы уровень загрязнения стабилизировался, и даже наметилась тенденция к его росту.

Особый интерес представляет изучение распределения поллютантов в толще донных отложений, хранящих «память» об уровне загрязнения экосистемы в прошлом. При этом большое значение имеет датировка различных осадочных слоев. Для решения таких задач широкое распространение получил метод радиоактивных трассеров, в качестве которых могут выступать ^{137}Cs и ^{210}Pb [4–6]. Цезий-137 является техногенным радионуклидом, его массовое поступление в окружающую среду и формирование пиков активности в донных отложениях связано с испытаниями ядерного оружия в атмосфере в 1950-е – 1960-е гг. и аварийей на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Свинец-210 – природный радионуклид. Он образуется в атмосфере в результате распада газа ^{222}Rn , поступающего из недр Земли, и осаждается на земную поверхность. Поэтому вниз по разрезу донных отложений активность ^{210}Pb экспоненциально снижается, пока не достигает значения, равновесного с ^{226}Ra . Ввиду небольшого периода полураспада ^{210}Pb (22,3 года), с его помощью можно датировать отложения, накапливающиеся в течение последних 100 лет [5, 6].

В период 2006–2010 гг. на Нижнем Дону и в российской части Азовского моря авторами была проведена серия научно-исследовательских экспедиций, в ходе которых изучалось распределение содержания наиболее распространенных загрязняющих веществ, включая компоненты нефтяного ряда, в водной толще, взвешенном веществе и донных отложениях [7–9]. Впервые для рассматриваемых водных объектов с помощью ударной грунтовой трубки были отобраны и послойно опробованы колонки донных

отложений мощностью до 1 м с параллельным измерением в пробах активности ^{137}Cs и ^{210}Pb . Определение содержания нефтяных компонентов было выполнено в 140 пробах воды, 48 колонках донных отложений, разделенных на 241 пробу, и 3 пробах взвеси с использованием тонкослойной и колоночной хроматографии, оптических и гравиметрических методов [10]. Измерение активности радиоизотопов производилось в 18 колонках, разделенных на 168 проб, гамма-спектрометрическим методом [8, 9].

В ходе исследований во всех колонках донных отложений был выявлен верхний – черномыльский пик активности ^{137}Cs . В глубоководной части Азовского моря, наиболее благоприятной для осадконакопления, этот пик залегал в слое 5–10 см (51–116 Бк/кг), в восточной части залива – на глубине до 5 см (35–79 Бк/кг), в дельте Дона и на придельтовом участке реки – на глубине до 20–40 см (14–43 Бк/кг). На некоторых станциях отмечен второй, менее значительный пик активности Цезия-137, очевидно, связанный с его глобальными выпадениями в середине XX в. В районах с небольшими скоростями осадконакопления он сливается с верхним пиком.

Активность Свинца-210 в донных отложениях закономерно снижалась с глубиной (от 240–277 Бк/кг в верхнем слое до 179–288 Бк/кг на полуметровой глубине). Регулярное взмучивание осадков в условиях мелководности Азовского моря и разнообразие источников поступления ^{210}Pb осложняют его использование для датировки донных отложений. Экспоненциальный характер снижения активности радиоизотопа проявлялся не везде из-за искажающего влияния таких его источников, как привнос с терригенным материалом, распад ^{226}Ra и ^{222}Rn . Для исключения этого влияния нами была использована балансовая модель, учитывающая упомянутые выше источники Свинца-210:

$$A(^{210}\text{Pb}) = A(^{210}\text{Pb}_a)e^{-\frac{\lambda x}{s}} + A(^{210}\text{Pb}_t)e^{-\frac{\lambda x}{s}} + \underbrace{\frac{A(^{226}\text{Ra})}{\lambda}(1 - e^{-\frac{\lambda x}{s}})}_{\text{Активность } ^{210}\text{Pb, образовавшегося в донных отложениях в результате распада } ^{226}\text{Ra}} + \underbrace{\frac{A(^{222}\text{Rn})}{\lambda}(1 - e^{-\frac{\lambda x}{s}})}_{\text{Активность } ^{210}\text{Pb, образовавшегося в донных отложениях в результате распада } ^{222}\text{Rn}}$$

Равновесная активность ^{226}Ra
Равновесная активность ^{222}Rn

Общая
активность
 ^{210}Pb в каждом
конкретном
слое

Активность ^{210}Pb ,
поступившего из
атмосферы (т.н.
избыточная
активность ^{210}Pb)

Активность ^{210}Pb ,
поступившего в
составе
терригенного
материала

Активность ^{210}Pb ,
образовавшегося в
донных отложениях
в результате
распада ^{226}Ra

Активность ^{210}Pb ,
образовавшегося в
донных отложениях
в результате
распада ^{222}Rn

В данном уравнении λ – постоянная распада ^{210}Pb , равная $0,031 \text{ года}^{-1}$; x – средняя глубина залегания выделенных слоев донных отложений, см; s – скорость осадконакопления, см/год.

На основе этого уравнения с помощью множественного регрессионного анализа были определены средние для колонок и индивидуальные для каждого слоя скорости осадконакопления. Наибольшие их значения

получены для придельтового участка и дельты р. Дон (5–14 мм/год сырой массы). Минимальными скоростями седиментации характеризуется восточная часть Таганрогского залива (1–2 мм/год), где, несмотря на значительное поступление взвеси, в силу мелководности большую роль играют процессы взмучивания и выноса осадочного материала. В глубоководной части Азовского моря скорость осадконакопления увеличивается до 2–4 мм/год.

Результаты изучения вертикального распределения содержания нефтяных компонентов в колонках донных отложений показали, что основная их масса сосредоточена в верхнем слое, сформировавшемся в течение последних 50–70 лет, т.е. в период наиболее сильного техногенного воздействия на экосистему. В Таганрогском заливе мощность этого слоя составляет 10–15 см, в более глубоководных частях моря – до 20 см, в дельте и низовьях Дона и Кубани – 30–50 см, что обусловлено различными скоростями осадконакопления (рис.). В донных отложениях Дона и Кубани в составе нефтяных компонентов преобладают смолисто-асфальтеновые вещества, а в Таганрогском заливе и основной акватории Азовского моря – углеводороды, значительную часть которых составляют продукты современного биосинтеза.

В Таганрогском заливе на большинстве станций максимальные концентрации нефтяных компонентов фиксировались в слое донных отложений, залегающем на глубине 5–10 см (рис.). Этот слой расположен под чернобыльским пиком активности ¹³⁷Cs и датируется 1955–1985 гг. В донных отложениях Нижнего Дона такой слой также был выявлен, однако, в силу больших скоростей осадконакопления, его мощность составляла уже 10–30 см. В северо-восточной и центральной частях основной акватории Азовского моря наиболее высокие концентрации фиксировались в верхнем пятисантиметровом слое, формирующемся в течение последних 13–15 лет (рис.). В юго-восточной части моря, примыкающей к устью Кубани, вновь появляются пики нефтяных компонентов на глубине 5–10 см.

Анализ изменения концентраций рассматриваемых веществ в наиболее загрязненном верхнем слое донных отложений по трансекту р. Дон – Азовское море свидетельствует об активном осаждении смолистых соединений, переносимых во взвешенном состоянии, в дельте реки и углеводородов, мигрирующих как в сорбированной, так и в растворенной форме, на устьевом взморье. Здесь в результате смешения речных и морских вод формируется каскад геохимических барьеров, названных А.П. Лисицыным маргинальным фильтром [11], который обуславливает переход в донные отложения большей части поллютантов, выносимых р. Дон. Ранее подобный характер распределения углеводородов был описан И.А. Немировской для устьевых областей Волги, Северной Двины, Дуная и других рек [12]. Кроме того, повышенные концентрации нефтяных компонентов отмечены в глинистых илах наиболее глубоководного

центрального района Азовского моря.

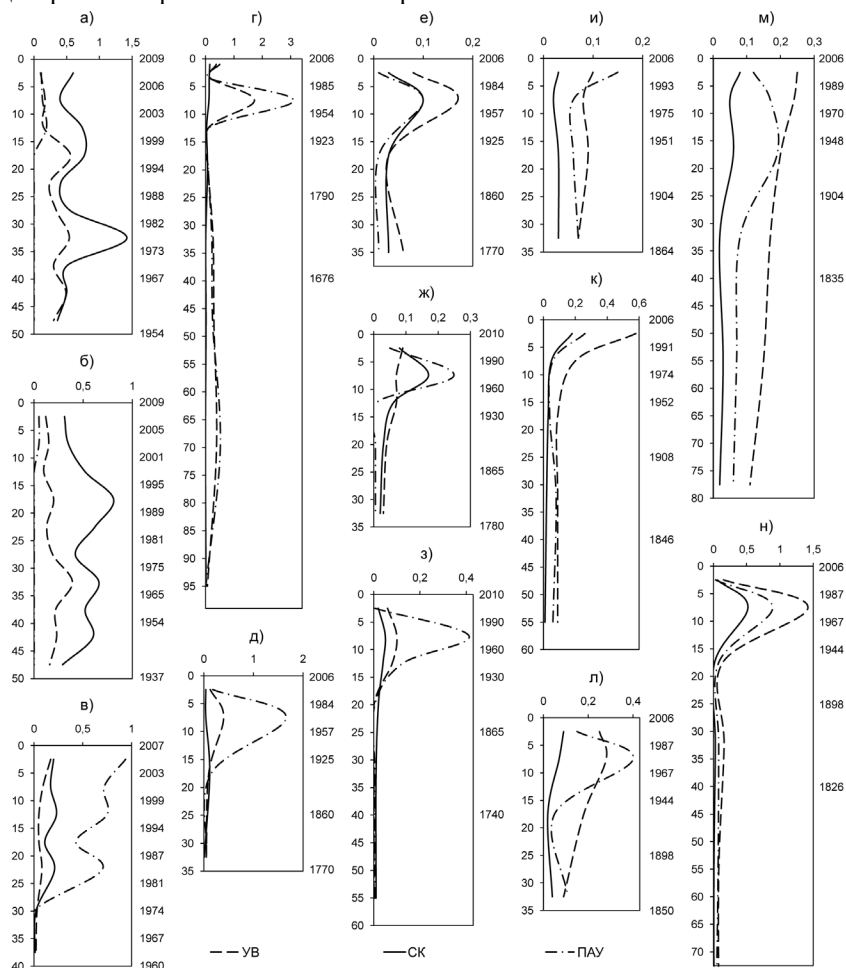


Рис. Распределение содержания предельных и моноароматических углеводородов (УВ, мг/г с.м.), 3–5-ядерных ароматических углеводородов (ПАУ, мкг/г с.м.) и смолистых соединений (СК, мг/г с.м.) в наиболее репрезентативных колонках донных отложений: а – придельтовый участок р. Дон; б – вершина дельты; в – дельта р. Дон; г, д – восточный район Таганрогского залива; е – центральный район; ж, з – западный район; и – устье Таганрогского залива; к – центральный район Азовского моря; л – Керченское предпроливье; м, н – Темрюкский залив. По оси абсцисс отложены концентрации, по оси ординат слева – глубины залегания слоев донных отложений (см), справа – их датировка (годы).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки России (Госконтракты 14.740.11.1045, 02.740.11.0334, П1102, гранты Президента РФ НШ-8030.2010.5, МК-4216.2010.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров Ю.А. Стабильные изотопы и эволюция гидросферы. М.: Истина, 1999. 367 с.
2. Кленкин А.А., Корпакова И.Г., Павленко Л.Ф., Темердашев З.А. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар: ООО «Просвещение – Юг», 2007. 324 с.
3. Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А. Закономерности распределения и трансформации нефтяного загрязнения в районе техногенной катастрофы в Керченском проливе // Известия Русского географического общества. 2010. Т. 142. Вып. 2. С. 53–59.
4. Goldberg E.D. Geochronology with Pb-210. In: Radioactive dating. International Atom Energy Agency, 1963. P. 121–131.
5. Купцов В.М. Абсолютная геохронология донных осадков океанов и морей. М.: Наука, 1986. 271 с.
6. Фор Г. Основы изотопной геологии / Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 590 с.
7. 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.
8. 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.
9. Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Трофимов М.Е. Скорость осадконакопления в Азовском море по результатам определения удельной активности Cs-137 и Am-241 // Доклады Академии Наук. 2008. Т. 423. № 2. С. 262–263.
10. Страдомская А.Г., Ляпкина Н.С., Анохин С.В. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтяных компонентов в донных отложениях с идентификацией их состава и происхождения. РД 52.24.505-95. М.: Изд. Росгидромета, 1995. 21 с.
11. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
12. Немировская И.А. Углеводороды в океане. М.: Научный Мир, 2004. 328 с.

Distribution of saturated hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and asphaltic components were studied in the 48 sediment cores taken in the Sea of Azov and the Lower Don River in the period from 2006 to 2010. The analyzed sediment layers were dated using the radioisotopes ^{137}Cs and ^{210}Pb as tracers.

Курилов П.И., Круглякова Р.П., Савицкая Н.И.

(ГНЦ ФГУГП «Южморгеология», Роснедра, Геленджик; kruglyakova@ymg.ru)

Оценка экологического состояния акваторий по формам нахождения тяжелых металлов в донных осадках

Kurilov P.Y., Kruglyakova R.P., Savitskaja N.I.

(State Scientific Centre of Russian Federation Federal State Unitary Geological Enterprise "Yuzhmorgeologiya", Rosnedra, Gelendzhik)

**The estimation of the ecological conditions of water areas
by of mobile forms of heavy metals in the bottom sediments**

В России широко используются одностадийные методики экстрагирования подвижных форм (ПФ) элементов из почв и осадков, которые утверждены в ранге методик и приведены в соответствующих РД. Для многих ТМ (Pb, Mn, Cu, Co, Zn и др.) разработаны предельно допустимые концентрации для ПФ. Последовательное экстрагирование форм тяжелых металлов доведено до ранга методики в европейских странах и рекомендовано Европейской Комиссией по Стандартам.

Для изучения подвижных форм тяжелых металлов-токсикантов (ТМ) в осадках Азовского моря использовали семистадийную методику последовательного экстрагирования. Выделены следующие семь форм металлов: обменные (1 стадия); кислоторастворимые (карбонатные) (2 стадия); легко восстанавливаемые (3 стадия); легко окисляемые (4 стадия); умеренно восстанавливаемые (5 стадия); умеренно и трудно окисляемые (6 стадия); трудно восстанавливаемые (7 стадия) [1].

Предполагается, что при воздействии на донный осадок ряда изменяющих реагентов можно в той или иной степени моделировать изменения условий окружающей среды, при которых «высвобождаются» элементы. Подвижность, биологическая доступность и токсичность элементов в природных объектах в значительной степени зависит от химической формы их нахождения и типа связи с матрицей субстрата.

При экологических исследованиях загрязненность донных осадков ТМ традиционно оценивается по превышению валовых содержаний элементов по сравнению с ПДК без учета форм их нахождения. Это приводит к выделению на акватории морей многочисленных очагов с повышенным их содержанием, которые однозначно относятся к категории экологически опасных (ТМ – Cd, Hg, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn и др., а также As). Валовое содержание является фактором емкости, отражающим в первую очередь потенциальную опасность загрязнения водной толщи и всей экосистемы моря, и характеризует общую загрязненность донных осадков. Истинная степень токсичности элемента определяется многими причинами и, в первую очередь, формой нахождения элемента, составом и свойствами депонирующей среды. Только миграционноспособные формы металлов

могут быть опасными для экосистем, в то время как трудно подвижные формы малоопасные. В системе «вода – донные осадки» протекает интенсивный процесс обмена элементов, в результате которого происходит вторичное загрязнение водной толщи моря и первостепенную роль в этом играют подвижные формы элементов. Данная работа направлена на решение фундаментальной проблемы экогеохимии, связанной с изучением форм нахождения ТМ, их подвижности и миграции в природных системах.

Материалом для исследований являлись осадки Азовского моря, отобранные в мае 2007 года во время экспедиции по программе геологического изучения акватории Российского сектора моря. Пробы отобраны по профилю и представлены всеми типами осадков: илы, ракуши, пески и промежуточные: ил с ракушкой, ил с песком.

Минеральный состав. Илы на 60÷80 % сложены слоистыми алюмосиликатами, относящимися по современной классификации к группе смектитов. Они представлены водными алюмосиликатами гр. монтмориллонита и смешаннослойными монтмориллонит-иллитами. Около 20 % составляет рентгеноаморфная фаза, в настоящее время не диагностированная. По данным рентгенофазового и термического анализов в осадках отмечено присутствие органики, вероятно, это гуминовые и фульватовые формы. Ракушечный материал состоит из кальцита и арагонита. Примесный илистый материал имеет такой же минеральный состав, как и в собственно илах.

Легкодоступные формы ТМ. Повышенная доля металлов по 1-й стадии экстракции показывает, что элемент связан с матрицей образца слабыми электростатическими силами, т.е. его ионы находятся в сорбированной форме на поверхности субстрата, что является косвенным показателем техногенной природы элемента, загрязненности осадка. При 2-й стадии выщелачиваются ионы, связанные с карбонатами (рис.). Элементы по величине содержания их ПФ (водорастворимые и ионообменные) образуют следующий убывающий ряд (ПФ в %): Mn (68) > Pb (21) > Cu (21) > Cd (16) > Zn (16) > Co (6) > Fe (2). Особую опасность в связи с высокой подвижностью представляют элементы 1 и 2 класса опасности – Pb, Zn, Cd, Cu. Миграционноспособные формы ТМ могут легко выноситься из осадков в воду, поглощаться живыми организмами, вовлекаться в биологические циклы и оказывать воздействие на состояние биоты.

К *умеренно доступным формам ТМ* относятся элементы, связанные с аморфными оксидами Мп, т.е. легко восстанавливающиеся (3 стадия). В природных условиях на дне акватории часто создаются локальные восстановительные условия (процессы застоя, гниения и др.), при которых связанные с оксидами Мп элементы могут высвобождаться и попасть в водную толщу, т.е. становятся доступными для биоты. К таким элементам в осадках относится в основном сам Мп, среднее содержание ПФ которого составляет 20 %, максимальное – 63 %. Таким образом, Мп в осадках

находится преимущественно в оксидной окисленной форме (рис.).

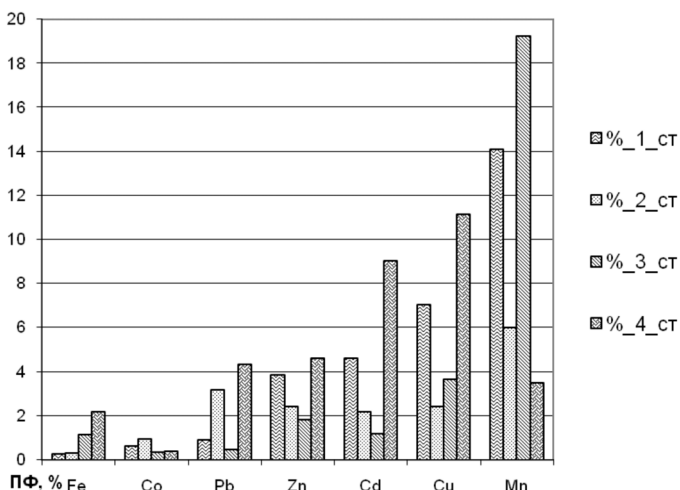


Рис. Диаграмма распределения легко- и умеренно доступных форм элементов в осадках Азова (раздельно 4 стадии выщелачивания)

К умеренно доступным формам относятся и элементы, связанные с гуматами и фульватами (легко окисляемые, 4 стадии). В такой форме в осадках частично находятся Cu и Cd (рис.). При экологических исследованиях больший интерес представляют легко- и умеренно ПФ тяжелых металлов, которые выщелачиваются при четырех стадиях. Для донных осадков Азова ряд подвижности элементов ($\Sigma 4$ стадии) следующий (ПФ в %): Mn (83) > Cu (41) > Pb (30) > Cd (29) > Zn (23) > Fe (10) > Co (4).

Для сравнения изучены формы нахождения ТМ в осадках Черного моря на глубинах моря 6÷85 м. Осадки отобраны на траверзе г. Сочи при инженерно-экологических изысканиях строительства объектов олимпийского назначения. Эти осадки являются «эталонными» - чистыми в отличие от осадков Азова, которые отобраны с поверхности моря в районе интенсивного судоходства вблизи Керченского пролива. Следует отметить, что ряды подвижности элементов осадков близки, но в илах Черного моря элементы менее подвижны, связаны с матрицей осадка, что является косвенным показателем незагрязненности осадков. Ряд подвижности осадков Черного моря следующий (ПФ в %): Mn (17) > Cd (9) > Cu (8) > Ni (6) > Pb (4) > Zn (3) > Fe (1) > Co (0,3). Можно однозначно отметить, что в осадках морей Mn является самым подвижным элементом, Fe и Co крепко связаны с кристаллической матрицей осадка, а подвижность ТМ – Cu, Pb, Cd, Zn определяется уровнем техногенной загрязненности среды.

Труднодоступные формы ТМ (стадии экстракций 5, 6, 7) для экологических исследований мало интересны, т.к. элементы связаны с кристаллической структурой матрицы. Трудно себе представить условия в природной среде, когда могла бы разрушиться матрица, и токсичные элементы стали подвижными. Эти формы элементов интересны с позиции их природы и минеральных форм.

Формы нахождения в осадках отдельных элементов следующие.

Марганец является наиболее подвижным элементом в осадках, но и мало токсичным (3 класс). Доля ПФ Мп доходит до 83 %. При этом до 56 % от его вала Мп находится в сорбированной форме или в поровых водах (1 стадия). Основная доля ПФ_{Мп} (до 65 %) находится в форме оксидов Мп и выщелачивается при третьей стадии. Марганец не является токсичным элементом, но играет большую роль как в процессе сорбции/соосаждения других ТМ (Pb, Zn, Cu и др.), так и «высвобождении» их при переходе Мп в растворимую форму, т.е. играет косвенную роль при техногенном загрязнении водной толщи. Марганец является «элементом-хозяином» для микроэлементов в осадке. Высокая доля ПФ марганца свидетельствует о восстановительных процессах, протекающих в донных отложениях.

Медь является наиболее подвижным, миграционноспособным. Доля ПФ_{Си} доходит до 41 %, находится в сорбированной форме (17 %) и в виде органо-минеральных соединений в форме гуматов и фульватов (19 %), т.е. образует соли с органическими кислотами. Остальная часть Си (50 % и более) связана с кристаллической матрицей осадка. Содержание меди в осадках не превышает величин ПДК. Однако, содержание ПФ_{Си} в илах вблизи Керченского пролива составляет 1,1÷3,7 ПДК. Следовательно, по содержанию ПФ район относится к экологически неблагоприятным, медь легко может перейти в воду, негативно повлиять на биоту.

Свинец – подвижен во всех депонирующих средах и по подвижности идет после меди. Доля ПФ_{Рб} ($\Sigma 4$ стадии) доходит до 30 %, в осадке находится в форме карбонатов и органоминеральных соединений. Остальная часть Рб (70 %) связана с кристаллической матрицей осадка. В осадках вблизи Керченского пролива содержание ПФ_{Рб} составляет 1,1 ПДК, что свидетельствует о техногенной природе свинца.

Кадмий по степени подвижности идет следом за Си и Рб. Доля ПФ_{Сд} ($\Sigma 4$ стадии) доходит до 29 %. По миграционной способности Сд подобен меди.

Цинк по подвижности занимает последнее место (после Си, Рб, Сд). Доля ПФ_{Зн} доходит до 23 %, в осадке находится в сорбированной форме (12 %) и форме гуматов и фульватов (11 %). Остальная часть Zn (77 %) связана с матрицей осадка. Содержание ПФ_{Зн} в илах вблизи Керченского пролива составляет 1,1 ПДК_{ПФ}, что является признаком техногенной природы цинка.

Железо и кобальт являются наименее подвижными элементами, связаны с матрицей осадка, не переходят в водную толщу и не представляет

опасности для биоты.

Таким образом, исследования по изучению биологически подвижных форм ТМ в осадках Азовского и Черного морей показали, что в донных осадках Мп является самым миграционноспособным элементом, Fe и Co связаны с кристаллической матрицей осадка, а подвижность ТМ – Cu, Pb, Cd, Zn определяется уровнем техногенной загрязненности среды. Следовательно, изучение форм нахождения токсичных элементов в почвах, донных осадках является важным при экологических исследованиях и оценке степени токсичности депонирующей среды. В связи с относительно высокой подвижностью Cu, Pb, Cd, Zn можно отнести к экологически опасным элементам и включать в обязательный перечень параметров при экологическом мониторинге.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ Р-юг-а (проект № 06-03-96661).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курилов П.И., Круглякова Р.П., Савицкая Н.И., Федотов П.С. Экологическая роль подвижных форм тяжелых металлов в донных осадках Азовского и Черного морей // Наука Кубани. 2008. №4. С. 64-70.

A technique of selective, consecutive 7-phasic leaching of mobile forms of heavy metals from the sediments of the Azov and Black Seas is approbated. Content of elements of mobile forms show a following decreasing number (mobile forms in %): Mn (83)> Cu (41)> Pb (30)> Cd (29)> Zn (23) >Fe (10)> Co (4). Researchers have shown, that by total content the heavy metals in bottom sediments of the Azov Sea do not exceed maximum permissible concentration.

Мойсейченко Г.В., Борисенко Г.С.

(Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, Владивосток;
moyseychenko@tinro.ru)

**Экотоксикологическая оценка воздействия на среду
и биоту масштабного гидротехнического строительства
в прибрежной зоне Японского и Охотского морей**

Moyseychenko G.V., Borisenko G.S.

(Pacific Scientific Research Fisheries Centre, Vladivostok)

**Ecotoxicological estimation of impact on the environment
and biological populations within the large hydrotechnical con-
struction in the coastal zone of the Japan and the Okhotsk seas**

На современном этапе освоения морских акваторий экологически опасные ситуации в морской среде чаще всего складываются в прибрежных районах на акваториях масштабного гидротехнического строительства. Для оценки состояния среды обитания морской биоты проводились работы по биотестированию и радиологическому исследованию донных осадков. Результаты исследований используются для определения предельно допустимых сбросов (ПДС) и установлении нормативных требований к качеству вод, при проведении экологического контроля за соблюдением нормативов допустимых сбросов взвешенных и загрязняющих веществ и определении допустимого воздействия хозяйственной деятельности и для расчета ущерба биоресурсам при масштабном гидростроительстве. Исследования проводились в Японском море в районах строительства угольного терминала в заливе Посыет, в б. Козьмино в районе строительства Спецморнефтепорта нефтеналивного терминала НПЗ и СПГ и бухте Врангеля с перегрузочным комплексом, сухим доком для нефтегазовых платформ, а также у комплекса объектов Саммита АТЭС – б. Аякс, б. Житкова, б. Парис, м. Поспелова, а в Охотском море – в акватории нефтегазовых месторождений на северо-восточном Сахалине.

Исследования направлены на сохранение естественной структуры и нормального функционирования водных экосистем путем регламентации хозяйственной деятельности и ограничения, таким образом, загрязнения среды обитания гидробионтов. В работе рассматриваются методические подходы для оценки качества среды: путем биотестирования на выживаемость и воспроизводство ряда представителей трофической цепи и оценку радиоактивного фона. Определены районы с высокой антропогенной нагрузкой, зоны трансформации загрязняющих веществ.

Системный анализ позволил сделать заключение об экологическом состоянии залива и динамике распределения и локализации загрязняющих веществ. Использование комплекса методов с учетом гидрологических гидрохимических данных и боксовой модели, что позволило определить

зоны трансформации загрязняющих веществ на дно. При этом, было выявлено явление трансформации загрязнителей на границе эстуарной зоны, где происходит перемешивание речного стока с водами открытой части залива и моря.

Оценка состояния морской воды и донных отложений оценивалось методом биотестирования. В качестве тест-объектов использовались основные и наиболее уязвимые представители прибрежной экосистемы: гаметы, эмбрионы и личинки морских ежей, мизиды, мидии (биссусный тест). Проведена оценка радиоактивного фона донных осадков на основе анализа баланса антропогенного загрязнения радионуклидом цезием-137 и содержания естественных радиоактивных элементов: радия-226, тория-232, калия-40. Дноуглубительные работы при гидростроительстве могут изменить радиационный фон морской среды за счет перемещения радиоактивных элементов, содержащихся в грунте. В связи с этим были проведены радиологические исследования донных осадков на станциях, где проводилось изымание и перемещение грунта. Исследования включали оценку радиоактивного фона донных осадков, как за счет антропогенного загрязнения радионуклидом цезием-137, так и за счет содержания естественных радиоактивных элементов: радия-226, тория-232, калия-40. Подготовка проб донных осадков к измерению включала удаление посторонних примесей, сушку и тщательную гомогенизацию образца. Активность радионуклидов измеряли по их гамма-излучению на сцинтилляционном спектрометре "Прогресс" на основе детектора NaI(Tl) 63х63 в геометрии "Маринелли". Длительность экспозиции составляла 2 часа.

Результат биотестирования на эмбрионах и личинках морских ежей в бухте Новицкого, залив Находка, на акватории действующего нефтеналивного порта показал процент гибели и аномалий – 70% - для воды, для донных отложений наблюдалась 99%-я смертность плутеусов. Среднее летальное время (Lt_{50}) для молоди мизид составило для донных отложений – 2 часа, для воды – 12 часов. Ингибирование биссусообразования у мидий для воды составило 20%, для донных отложений - 30%.

В бухте Козьмино, залив Находка смертность плутеусов для воды была равна 30%, для донных отложений – 60%. Lt_{50} для донных осадков составило 48 часов, для воды – 12 часов. Биссусный тест не показал значимого токсического эффекта. Анализ результатов биотестирования залива Посъета показал, что наиболее токсичная среда наблюдалась на станции бухта Порт Посъет: на траверзе мыса Рязанова при хроническом эксперименте на пробах воды количество аномалий составило 92%, в вытяжке из донных отложений 100%; среднее летальное время (Lt_{50}) гибели молоди мизид для воды составило 16 часов, для донных отложений - 8 часов; на траверзе мыса Морозова процент аномалий личинок с

нарушением морфометрических показателей плутеусов в воде составил 62%, в донных отложениях 70%, среднее летальное время гибели молоди мизид для воды составило LT_{50} 12 часов, для донных отложений 6 часов. На станции Посыетский рейд при экспозиции в воде количество аномалий составило 41,82%, в вытяжке из донных отложений 60,7%; среднее летальное время гибели молоди мизид для воды составило LT_{50} 96 часов, для донных отложений 48 часов. Исследованиями установлено, что хроническое воздействие донных отложений негативно влияет на биССУСООБРАЗОВАНИЕ мидий.

По данным спектрометрического анализа содержание естественных радиоактивных элементов в пробах донных осадков было в пределах 12-27 Бк/кг сухой массы по Ra-226, 15 – 27 Бк/кг по Th-232, 390 – 790 Бк/кг по K-40. Проведенный на основании полученных данных расчет удельной эффективной активности ($A_{эфф}$) - величины, учитывающей биологическое действие основных естественных радионуклидов на живой организм, показал, что природная активность донных осадков не превышала 140 Бк/кг, что в 2,5 раза ниже нормируемой величины по НРБ 99 (370 Бк/кг).

Содержание антропогенного радионуклида Cs-137 находилось в пределах 4.0-9.0 Бк/кг и было обусловлено глобальным загрязнением гидросферы за счет атмосферных выпадений. Полученные значения на порядок ниже допустимого уровня (150 Бк/кг) и при условии неограниченного использования населением продуктов морского промысла не превысит доз, регламентированных нормами радиационной безопасности ($1м^3$ в в год).

Проведенные радиологические исследования показали, что дноуглубительные работы в зал. Посыета не приведут к увеличению радиоактивного фона морской среды в местах локализации грунта. В целом, проведенные исследования показали, что изыятие и перемещение грунтов при строительных работах в заливе Посыета не приведет к увеличению радиоактивного фона морской среды в местах локализации грунта.

На шельфе северо-восточного Сахалина постоянно проводилось биотестирование проб воды и донных осадков. Методами биотестирования достоверно определялись отдельные районы с неблагоприятными экологическими показателями, часть которых локализовалась в местах шельфовых нефтегазовых месторождений. В модельных опытах было проведено биотестирование воды и грунта с использованием эмбрионов, личинок морских ежей. Биотестирование поверхностной воды в районе Пильтун-Астохского нефтегазового месторождения, показало высокую токсичность. Полученные токсические эффекты были связаны с наличием высоких концентрацией бенз(а)пирена, максимум которого в районе Пильтун-Астохского месторождения составлял 109 нг/л, во время подтикания скважины при разведочном бурении . Биотестирование проб со станций, расположенных на 2,5 км южнее месторождения (ст. № 79-89,

глубина 18-50 м.) дали процент смертности от 38 до 58% и среди личинок прослеживался эффект морфометрических отклонений. Данные исследований соотносятся с концентрациями нефтеуглеводородов в донных осадках. Так, содержание алифатических углеводородов находится в диапазоне от 15 до 2172 мкг/л.

Биотестирование донных осадков на шельфе северо-восточного Сахалина. при отсутствии смертности личинок морских ежей, наблюдалась тенденция к уменьшению их размерных характеристик. Проведенный отбор и анализ донных осадков собраны в районе Пильтун-Астохского, Луньского нефтегазовых месторождений, показал следующие пределы концентраций естественных радионуклидов: Ra-226 от 4,5 до 15 Бк/кг, Th-232 от 9,2 до 29 Бк/кг, K-40 от 390 до 940 Бк/кг, а содержание антропогенного радионуклида Cs-137 не превышало 2,5 Бк/кг сухой массы.

На шельфе северо-восточного Сахалина за 10 летний период исследований был выявлен один случай токсичности воды для личинок морских ежей в узлокальном районе.

В районах строительства объектов саммита АТЭС – в б.Житкова, Аякс, Парис, м.Поспелова – биотестирование на личинках морских ежей не выявило негативного воздействия. Биссусный тест не показал значимого отличия от контроля. Выживаемость мизид (Lt_{50}) составила для воды – 104 часа, для донных осадков – 96 часов.

Районы строительства объектов Саммита АТЭС относятся к экологически чистым.

Radioactive research showed, that all of types of works on sea bottom in Posiet bay will not increase radioactive background of marine environment in the place of soil location.

Немировская И.А.¹, Сивков В.В.², Реджепова З.Ю.¹

⁽¹⁾Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва; nemir@ocean.ru;

⁽²⁾Атлантическое отделение Института океанологии РАН, Калининград, sivkov@kaliningrad.ru)

Содержание и состав углеводородов во взвеси и донных осадках в районе Кравцовского месторождения в Балтийском море (лето 2011 г.)

Nemirovskaya I.A.¹, Sivkov V.V.², Redzhepova Z.Yu.¹

⁽¹⁾Institute of Oceanology RAS, Moscow; ⁽²⁾AB Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad)

Content and composition of hydrocarbons in the suspended matter and bottom sediments in the region of Kravchovsky oilfield of the Baltic Sea (summer 2011)

При разведке, обустройстве и эксплуатации нефтегазовых месторождений обычно проводятся мониторинговые исследования состояния окружающей среды, в том числе определение загрязнения этих районов нефтью. С этой целью были проведено изучение углеводородов (УВ) во взвеси и донных осадках в районе Кравцовского месторождения в Балтийском море (платформа Д-6, рис. 1). Определение проводили методами, принятыми при анализе нефтяных и природных соединений: АУВ – методом ИК-спектрофотометрии, $C_{орг}$ – методом сухого сжигания, взвесь определяли гравиметрически. Подробности методики описаны [2].

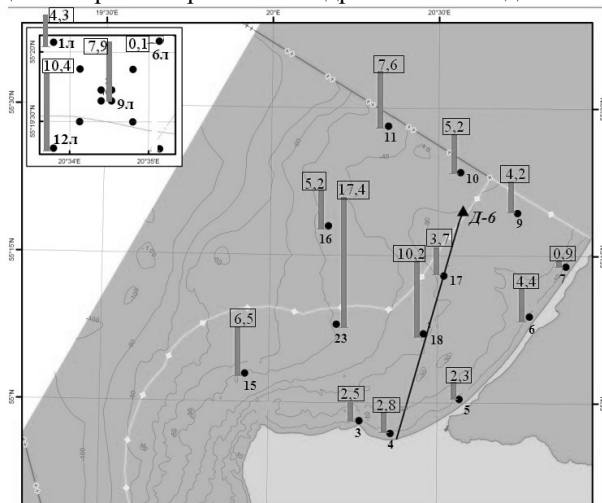


Рис. 1. Расположение станций (внизу) и содержание УВ (мкг/г) – в квадратах в поверхностном слое донных осадков летом 2011 г. в районе Кравцовского месторождения; вставка полигон в районе платформы Д-6, стрелкой показано расположение нефтепровода.

Во взвеси концентрации УВ изменялись в интервале 17.0-45.5 (табл. 1). По площади полигона их распределение довольно равномерное: при средней величине 31.8, стандартное отклонение (σ) составило всего 12.4 мкг/л. Их максимум приурочен не только к прибрежным районам, как это наблюдалось в 2010 г., но и к станциям.18 и 22, расположенным на некотором удалении от берега (рис. 2). Обусловлено это может быть более высокими концентрациями здесь взвеси. По сравнению с 2010 г. содержание УВ уменьшилось в среднем в 2 раза, однако более высокие концентрации взвеси были отмечены также на ст.18.

Таблица. 1. Содержание АУВ (мкг/л) в фильтрационной взвеси.

Время исследования	АУВ, мкг/л			Взвесь, мг/л		
	Интервал	Средняя	σ	Интервал	Средняя	σ
2010 г.	6.9 – 245	67	60	0.4-3.8	1.27	0.97
2011 г.	17 – 46	32	12	0.4-3.6	1.83	1.08

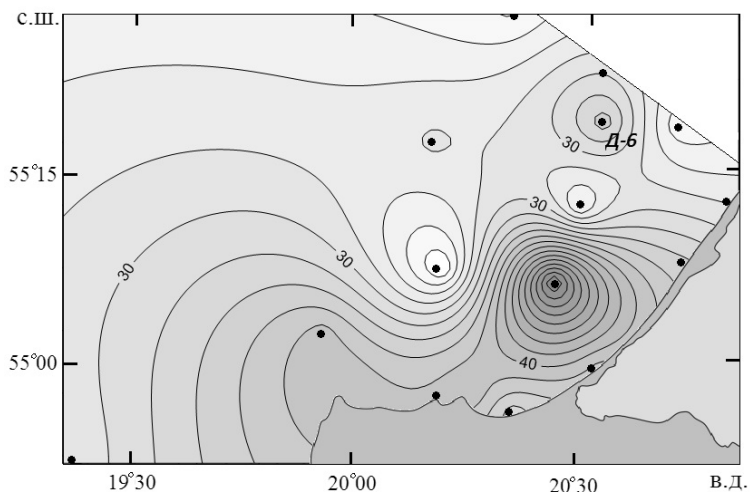


Рис. 2. Распределение концентрации АУВ (мкг/л) в поверхностных водах. Черные точки – расположение станций.

В районе платформы Д-6 (ст. 9л) на фоне некоторого увеличения содержания УВ концентрации взвеси оставались довольно низкими. Исследование взвеси с помощью сканирующего электронного микроскопа установило в основном их биогенный состав. В поверхностных водах взвесь состоит из водорослей и бактерий, здесь встречен лишь один минеральный обломок. В придонном горизонте также обнаружены споры диатомовых и

сгустки волокон. На ст. 9л с глубиной на фоне снижения концентраций АУВ, $C_{орг}$ и взвеси, содержание АУВ в составе взвеси и $C_{орг}$ повышается. Следовательно, в районе платформы Д-6 существует дополнительный источник АУВ, не связанный с взвесью. Сравнение данных по концентрациям АУВ, полученных в этом районе показало, что содержание АУВ снизилось почти в 2 раза в 2011 г по сравнению с 2010 г. (табл. 1).

В донных осадках концентрации УВ летом 2011 г. изменялись в интервале 0.9-17.4 мкг/г (рис. 1) при изменении $C_{орг}$ от 0.006 до 0.310%; а доля УВ в составе $C_{орг}$ – от 0.051 до 6%. Обычно содержание $C_{орг}$ и АУВ в песчаных осадках значительно ниже, чем в илистых, так как сорбция органических соединений зависит от степени дисперсности осадков. Илистые отложения (особенно при доминировании фракции <0.1 мм) легко поглощают органические соединения, в том числе и загрязняющие вещества из водной толщи с взвесью. Этим объясняется максимальное содержание УВ в илистых отложениях (ст. 23, рис. 1), где осадки представлены мелкоалевритовым илом. Содержание АУВ до 10 мкг/г в песчаных осадках и до 100 мкг/г в илистых считаются минимальными, при которых биологические эффекты отсутствуют или не проявляются в виде обратимых реакций морских организмов. В исследованной нами акватории Балтийского моря на всех станциях концентрации УВ соответствуют этому фоновому уровню. Ранее в прибрежных осадках и на полигоне в районе платформы Д-6 содержание УВ значительно превышало фоновые концентрации (табл. 2).

Особенно это характерно для 2008 г.: вблизи платформы Д-6 их концентрации достигали 480 при средней величине 128 мкг/г. На ст. 9л в составе $C_{орг}$ доля АУВ достигала 83%, то есть ОВ осадков на ст. 9л состояло практически из АУВ. Здесь в коричневатом мелкозернистом песке также были отмечены черные линзы [2]. При этом на четырех близлежащих от платформы Д-6 станциях средняя концентрация составила 128.5 мкг/г ($\sigma=167.9$), а на периферии полигона – почти в 8 раз меньше – 16.3 мкг/г, с меньшим разбросом данных – $\sigma=7.7$ мкг/г, $n=8$ (табл. 2). Разброс значений был настолько большим, что значения σ превышали даже среднюю величину. Причем состав алканов в районе платформы Д-6 указывал на преимущественно нефтяной генезис УВ. Летом 2008 г. на пляжах Самбийского п-ова, вблизи месторождения Кравцовское были обнаружены смоляные комки [3]. Выброс нефтепродуктов произошел не после аварийного разлива нефти, а после 5-балльного мартовского шторма северо-восточного направления. 19 марта оказался загрязненным участок пляжа Куршской косы на расстоянии 20-38 м от уреза воды. Ширина полосы загрязнения составила 0.2–0.5 м, содержание песчано-мазутной смеси изменялось от 0.097 до 0.01 кг/пог. м, а общая ее масса составила 550 кг. В июле 2008 г. загрязнение морских пляжей Куршской косы отмечалось на протяжении 21.6 км до границы с Литвой. Вдоль берега нефтемазутная

смесь прослеживалась сплошной полосой (от 0.003 до 0.01 кг/ пог. м, общая масса превышала 140 кг), ширина которой составила 0.5–1.0 м, на расстоянии 3–4 м от уреза воды.

Таблица 2. Результаты анализа УВ в донных осадках.

Таблица 2. Результаты анализа УВ в донных осадках.					
Состав осадка	Количество проб	Интервал	Средняя	Стандартное отклонение (σ)	УВ % от C _{орг}
		мкг/г			
2008 г.					
Песчанистые					
На полигоне Д-6	12	3-480	62.4	70.9	3.3-82.6
Вблизи платформы на полигоне	4	24-480	128	168	20.3-82.6
В удалении от платформы на полигоне	8	3-61	16	8	4.9-60.6
Прибрежные	5	15-240	76	68	12.7-44.2
Все осадки вне полигона	11	9-240	65	65	7.4-44.2
Илистые	4	286-870	547	252	0.57-1.62
2009 г.					
Песчанистые					
На полигоне Д-6	13*	3-56	16	12	2.7-50.0
Вне полигона Д-6	16	2-100	22	18	0.5-19.5
Илистые	5	92-326	177	88.3	0.2-0.7
2011 г.					
Песчанистые					
На полигоне Д-6	5	0.1-10.4	5.12	4.08	1.8
Вне полигона Д-6	12	0.9 – 10.2	4.6	2.6	1.5
Илистые	1		17.4	-	0.5

Ранее [2] в качестве основного источника нефтяных УВ в исследованном районе рассматривалось их высачивание из толщи донных осадков. Результаты прямых наблюдений за подводными выходами нефти и газа показывают, что скорость их просачивания на дне сильно меняется во времени и пространстве [4]. В зависимости от условий в нефтегазоносных горизонтах и геологических структурах под морским дном сипы могут активизироваться, на время прекращать свою активность, либо вовсе исчезать, а затем появляться вновь. Возможно, с этим связана изменчивость

концентраций УВ в осадках в разные годы исследования, и снижение их содержания в воде и взвеси летом 2011 г. Наблюдаемое постоянное уменьшение со временем содержания УВ во взвеси и в поверхностном слое осадков, видимо, обусловлено их меньшим поступлением из осадочной толщи.

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО «ЛУКОЙЛ-КМН».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег—лед—вода—взвесь—донные осадки). М.: Научн. мир, 2004. 328 с.
2. Немировская И.А., Сивков В.В., Булычева Е.В. Содержание и состав углеводородов в районе месторождения Кравцовское Балтийского моря // ДАН. 2011. Т. 436. С. 1-6.
3. Обзор результатов мониторинга морского нефтяного месторождения «Кравцовское» (Д-6) Калининград: ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть». 2009. 51 с.
4. Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: ВНИРО, 2009. 507 с.

Data of the concentration aliphatic hydrocarbons (AHC) in a suspension and bottom sediments in the region of Kravtsovsky (D-6) offshore oilfield in summer 2011 are discussed. It is supposed, that time-to-time variability of HC concentration in comparison with 2008-2010 is caused by change the flux of HC from thickness of bottom sediments.

Никулин В.В.¹, Слободян Е.А.²

(¹Одесский филиал Института биологии южных морей НАН Украины, Одесса, Украина, vlnik@ukr.net; ²Управление экологической безопасности Одесского городского совета, Одесса, Украина)

Эколого-геохимическая характеристика донных осадков Куяльницкого лимана (Одесская область)

Nikulin V.V.¹, Slobodyan K.A.²

(¹Odessa Branch Institute of Biology of Southern Seas NAS Ukraine, Odessa, Ukraine;

²Control of ecological safety of the Odessa municipal council, Odessa, Ukraine)

The ecology-geochemical characteristics of bottom sediments of leman Kuyalnik (Odessa region)

Куяльницкий лиман относится к группе лиманов Северного Причерноморья и является одним из самых древних на северо-западном побережье Черного моря.

История возникновения лиманов этого региона начинается со среднего плиоцена. Произошедшее в этот период поднятие территории привело к существенному расчленению рельефа – за счет образования речных долин. Устьевые участки многих рек за период среднего и позднего плиоцена углубились на 25-30 м. Последовавшее за этим наступление моря на эти участки и привело к образованию лиманов в Причерноморье.

Существует несколько гипотез возникновения лиманов: согласно первой версии – в результате морских трансгрессий, второй версии – тектоническое опускание суши. Однако внешнее очертание лиманов, напоминающее долины рек, их географическая неразрывность с впадающими реками, говорит в пользу речного происхождения лиманов. В соответствии с этим, была высказана третья гипотеза согласно которой, процесс образования лиманов связан как с тектоническими явлениями, так и с трансгрессиями Черноморского бассейна в целом.

Куяльницкий лиман среди водоемов Северного Причерноморья занимает особое место благодаря запасам лечебной грязи с уникальными бальнеологическими свойствами.

В мае-июне 2005 г. проведено 8 экспедиционных выездов, посвященных комплексному обследованию экосистем акватории и прибрежной зоны Куяльницкого лимана. Проведен отбор проб донных отложений на 14 станциях, расположенных в различных частях акватории лимана.

Отобраны пробы донных отложений по всей акватории лимана по постоянной сетке отбора проб на 14 станциях и водотоках, впадающих в лиман (пруды Пересыпи, Корсунцовские пруды, пруды Шевченко). В лабораторных условиях по стандартным методикам определялись содержания *Al* вал., *Al* обм., *Mn*, *Pb*, *Cu*, *Cd*, *Cr*, *Va*, *Zn*, *Fe*. Разрез донных отложений в средней части лиманов представлен голоценовыми,

плейстоценовыми и верхнесарматскими отложениями. Разрез типичен для причерноморских лиманов: на верхнесарматских породах коренного ложа (глины с прослоями песка и известняка) залегает толща аллювиальных верхнеплейстоценовых отложений (пески с прослоями глин и суглинков), которые перекрываются голоценовыми лиманно-морскими илами.

Современные отложения на берегах лимана представлены аллювиально-делювиальными и аллювиальными отложениями.

Исследования токсичных металлов в донных осадках Куяльницкого лимана, бесспорно, имеет важное значение т.к. он испытывает высокую техногенную нагрузку.

Al вал. показывает максимальные концентрации на станции 4 (44,1 мг/кг). Можно предположить, что загрязнение здесь связано с населенным пунктом Красноселка. На станциях 1', 13 наблюдаются минимальные концентрации (31,1-31,8 мг/кг).

На станции 1 наблюдается максимальное содержание *Al* обм., которое связано с выбросом отходов с населенного пункта Старая Эметовка (8,54 мг/кг), а минимальные на станции 2 (1,13 мг/кг).

Минимальные концентрации *Mn* наблюдаются на станции 3 (0,62 мг/кг), а максимальные на станциях 5, 8 со стороны Пересыпи (0,902-0,91 мг/кг), которые примыкают к промышленно-транспортному узлу Одесса-Сортировочная.

Si показывает максимальное содержание на станции 3к (31,66 мг/кг). загрязнение здесь связано с поступлением воды из р. Кубанка и стоеами из населенного пункта Кубанка. Минимальные концентрации наблюдаются южнее на станции 5 (13,46 мг/кг).

На станциях 3, 5 отмечено максимальное содержание *Pb* (16,01-16,31 мг/кг), что, вероятно, связано с поступлением стоков с рекой Долдока и расположенным неподалеку населенным пунктом Новокубанка. На станции 4 наблюдается минимальное содержание *Pb* (6,41 мг/кг).

Минимальные содержания *Cd* отмечены только на станции 5 (0,87 мг/кг), а максимальные на таких станциях как 1, 8, 12 (1,41-1,45 мг/кг). На станции 1 загрязнение в целом совпадает с границы разлива реки Большой Куяльник.

На станциях 5, 13 наблюдаются минимальные концентрации *Cr* (4,73-4,69 мг/кг), а на станциях 3, 4, 8' – максимальные (7,04-7,08 мг/кг), где происходит сброс отходов из сел Кубанка, Новокубанка и Красноселка, которые выносятся течением реки Долдока.

Следует отметить, что на станции 1 максимальное содержание *Va* (86,55 мг/кг) связано с разливом реки Большой Куяльник, а минимальное наблюдается на станции 5 (15,2 мг/кг).

Минимальные концентрации *Zn* наблюдаются на станции 2 (14,56 мг/кг), а максимальные – на станции 12 (39,22 мг/кг).

В донных отложениях на станции 8' содержание *Fe* минимальные (1375

мг/кг). Наибольшая его концентрация наблюдается в осадках станции Зк (2425 мг/кг), за счет выноса и отложения рекой Кубанка.

Необходимо отметить, что в 2005 году наибольшие концентрации элементов-токсикантов на станциях мониторинга были приурочены к южной части Куяльницкого лимана, что, вероятно, обусловлено антропогенной нагрузкой за счет населенных пунктов Старая Эметовка, Кубанка, Новокубанка и Красноселка, поступлением вод с рек Долдока и Кубанка, а так же влиянием деятельности промышленных предприятий района Пересыпи. Минимальные концентрации металлов - токсикантов в осадках приурочены к северной части Куяльницкого лимана.

Таким образом, проведенные мониторинговые исследования позволили определить размах сезонных колебаний ряда элементов-токсикантов в донных отложений Куяльницкого лимана.

To assess the level of toxic metal (*Al* вал., *Al* обм., *Mn*, *Pb*, *Cu*, *Cd*, *Cr*, *Va*, *Zn*, *Fe*) concentration in the bottom sediments in leman Kuyalnik and its around, the seasonal monitoring surveys have been held. The long-termed dynamics of changes in toxic metal content in various environments in the region has been traced.

Паршин А.В.

(Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, vader@cbsirkutsk.ru)

ГИС-обеспечение государственного мониторинга водной среды озера Байкал в 2010-2011 гг.

Parshin A.V.

(Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk)

GIS-providing for state aquatic monitoring of Lake Baikal in 2010-2011

Озеро Байкал является крупнейшим в мире по объему пресной воды, его берега представлены уникальными по своей живописности ландшафтами, требующими своего сохранения в естественном виде согласно Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО и законодательству РФ. При этом, производственная деятельность человека, осуществляемая в настоящий момент на байкальской природной территории, не может быть прекращена, и вопрос вызывает только мера рационального использования природных ресурсов озера.

Контроль хозяйственной деятельности человека требует своевременного получения данных о состоянии оз. Байкал. Для оперативного получения подобной информации требуется формирование системы мониторинга, адекватной по своей полноте и научно-техническому уровню степени ответственности за сохранность уникальной экосистемы. Создание такой системы является важной государственной задачей.

Действующая в настоящее время система наблюдений является объектом постоянной критики со стороны научного сообщества. Более того, еще в 2007 году решением заседания Межведомственной комиссии Совета Безопасности Российской Федерации по экологической безопасности несовершенство государственной системы мониторинга окружающей среды озера Байкал было признано официально. Отсутствие полной и достоверной информации о современном состоянии экосистемы озера Байкал является причиной полемики, постоянных столкновений в обществе.

Как и прочие разновидности мониторинга экосистемы озера, мониторинг водной среды также характеризуется рядом недостатков. К примеру, в настоящее время требования к качеству воды Байкала и нормы допустимых воздействий на его водную среду регламентируются «Нормативами качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения», (М, 2010 г.) и СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод». Установленные этими документами ПДК совершенно неприменимы для Байкала, поскольку в десятки и сотни раз превышают значения фоновых концентраций, полученных из научных

источников, и не позволяют делать адекватные выводы о состоянии водной среды озера. Это является причиной существования диаметрально противоположных мнений, как о современном качестве воды, так и о некоторых гидрохимических свойствах озера. Таким образом, уточнение значений фоновых концентраций химических элементов, подлежащих контролю, и связанных с ними ПДК является важной как научной, так и хозяйственной задачей. Существуют и другие подобные проблемы требующие скорейшего решения. В связи с этим, в 2010 году между ФГУ «Востсибрегионводхоз» и Институтом геохимии СО РАН был заключен договор о творческом сотрудничестве, целью которого является совершенствование системы мониторинга водной среды озера, используемой подразделениями Федерального агентства водных ресурсов.

Актуальность работы обусловлена необходимостью скорейшего формирования адекватного механизма охраны озера Байкал. При этом, получаемые в результате работ по мониторингу параметры водной экосистемы Байкала имеют первостепенную важность не только с позиций решения практических задач охраны окружающей среды, но и с научной точки зрения.

Результатом работ является создание географической информационной системы, включающей средства хранения, обработки и представления данных, а также судовую электронно-картографическую систему класса «А». Использование современных открытых геоинформационных технологий позволило существенно автоматизировать выполнение таких типичных задач мониторинга, как обнаружение и прогноз негативных тенденций в природной среде, доказательство ее чистоты и ненарушенности, также демонстрация стабильности (неухудшения) нарушенного состояния. Для этого была создана база данных гидрохимических свойств озера Байкал, в настоящее время содержащая более двух миллионов пространственно привязанных точек пробоотбора.

Полученные данные о качестве вод поверхностного слоя свидетельствуют о сохранности чистоты вод Байкала в целом. С другой стороны, выявлены отдельные участки с высокими концентрациями химических элементов, превышающих ПДК. Большее число их расположено в южной части Байкала, это районы Байкальского ЦБК, г. Слюдянки, и п. Култук, на северной части район г. Северобайкальска. В 2009 году на этих участках также отмечалось повышение концентраций ряда элементов выше ПДК.

Особый интерес представляют наблюдения за районом Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. В 2009 году было зафиксировано исходное состояние природной среды перед повторным пуском БЦБК в режиме разомкнутого водопользования. Так, в этом году, по сравнению с предшествующими, в данном районе можно было отметить снижение в поверхностной толще концентраций отдельных элементов (сульфатов,

нефтепродуктов) до уровня фона. Однако, с повторным запуском комбината в 2010 г. наблюдается явное повышение концентраций сульфатов до уровня, втрое превышающего фоновые концентрации 2009 года.

Данные, полученные за 2009-2011 гг, позволили уточнить имеющуюся информацию о распределении некоторых нормируемых веществ в Байкале, и в результате предложить систему ПДК, адекватную современному состоянию водной среды озера.

Describes the current state of the aquatic environment of the lake Baikal. Also describes the hardware and software used in the conduct of state monitoring of the aquatic environment of the lake. The data obtained on the one hand evidence of the purity of the lake water in general, and the other on the availability of individual areas with high concentrations exceeding the MPC of the chemical elements.

Петрига А.А., Пелевин В.В., Фазлуллин С.М.

(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, petriga@ocean.ru)

Исследование взвесенесущих потоков в прибрежной зоне моря на основе лабораторных экспериментов и натурных наблюдений (на примере р. Мзымты, Краснодарский край)
Petriga A.A., Pelevin V.V., Fazlullin S.M.

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

Turbidity currents research in coastal zone of a sea based on laboratory experiments and field observations
(Mzymta River, Krasnodar Region)

Взвесенесущие потоки обеспечивают транспорт и перераспределение взвеси, формирование донных отложений, а также влияют на тепло-, соле- и газообмен в областях распространения этих потоков [1].

Любой водоток переносит взвешенные наносы в различных количествах, зависящих от характера самого водотока, подстилающей поверхности и сезона. При впадении водотока в приёмный водоём формируется взвесенесущий поток, распространяющийся либо по поверхности воды, образуя прилежащие к устью мезомасштабные структуры (плюмы), либо по дну [2, 3, 4]. Плотностное разделение обусловлено значительной разницей в содержании нерастворимых частиц (мутности) и растворенной органики, температуре, солёности во втекающем потоке и приёмном водоеме.

Исследование взвесенесущего потока в прибрежной зоне Черного моря проводилось на устьевом взморье р. Мзымты в период паводка в мае 2011 г. в рамках экспедиции по проекту «Малые реки Черного моря». Для исследования был выбран полигон 400*400 м, основные измерения проводились вдоль основного потока р. Мзымты.

В ходе экспедиции температура и солёность воды измерялись STD-зондом SBE 19plus, 27 проб воды с различных глубин было отобрано для измерения мутности фотометрическим методом с помощью лабораторного турбидиметра НАСН в условных единицах NTU. В тех же пробах была определена весовая концентрация нерастворимых частиц методом вакуумной фильтрации. Более подробно методика описана в работе [5]. Непрерывные дистанционные измерения концентрации взвеси по ходу судна проводились ультрафиолетовым флуоресцентным лидаром УФЛ-9 [4].

На основе полученных данных была построена корреляция между значениями мутности в единицах NTU и мг/л. Полученная зависимость была применена для пересчёта всех полученных значений мутности из единиц NTU.

Максимальные концентрации нерастворимых частиц (463,7 и 518,3 мг/л) и минимальные значения солёности (0–2 psu) наблюдались в поверхностном

слое воды (до глубины 2,5 м), что свидетельствует о распространении речной воды по поверхности приёмного водоёма и недостаточном перемешивании с морской водой. Речная струя с высокими (до 1 м/сек) скоростями течения прослеживалась на расстоянии 300–400 м от устья р. Мзымты.

Полученные данные по мутности и концентрациям нерастворимых частиц на рассматриваемом полигоне позволяют сделать вывод о том, что воздействие речного стока на гидрохимическую структуру вод в период работ прослеживается отчетливо.

Взвесенесущий поток был смоделирован в лабораторном бассейне из оргстекла (120x12x45см). Бассейн наполнялся водой заданной солёности (2–4 psu), к нему присоединялся отдельный резервуар, наполненный пресной водой с заданной концентрацией взвешенного вещества. В качестве взвеси использовался молотый кофе, так как его плотность незначительно превышает плотность пресной воды, что обеспечивало малую гидравлическую крупность частиц.

В ходе эксперимента было выявлено, что при большой концентрации взвеси малой гидравлической крупности на наклонном дне формируется плотностной взвесенесущий поток. Режим потока (ламинарный, переходный, турбулентный [6, 7]) и дальность распространения зависят от его расхода, концентрации взвешенного вещества, гидравлической крупности частиц, солёности воды в бассейне, уклона бассейна.

Детальное исследование взвесенесущих потоков представляет большой интерес вследствие переноса ими природных и антропогенных примесей. Плотностные потоки вносят существенный вклад в крупномасштабные динамические явления в природных бассейнах. Сочетание натурных наблюдений и лабораторных экспериментов позволяет получить более полную картину исследуемого процесса.

Авторы признательны Завьялову П.О., Зацепину А.Г., Кременецкому В.В., Шевченко В.П., Кравчишиной М.Д., Низову С. С., Гончаренко И. В., Грабовскому А.Б., Маккавееву П.Н, Осадчиеву А. А., Ижицкому А. С. Отдельная благодарность Горюновой Н.В. за ценные советы и поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самолубов Б.И. Природные стратифицированные течения. М.: Научный мир, 1999. 464 с.
2. Гриценко В.А., Юрова А.А. О распространении придонного гравитационного течения по крутому склону дна // Океанология. 1997. Т. 37. № 1. С. 44-49.
3. Эдельштейн К.К. Водные массы долинных водохранилищ // Изд-во Московского университета. 1991. 175 с.
4. Айбулатов Н.А., Завьялов П.О., Пелевин В.В. Особенности гидрофизического самоочищения российской прибрежной зоны Черного моря близ устьев рек // Геоэкология. 2008. № 4. С. 301-310.

5. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 224 с.
6. Баренблатт Г.И. Подобие, автомодельность, промежуточная асимптотика. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 256 с.
7. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Поярков С.Г., Строганов О.Ю., Гриценко В.А. Лабораторное и численное исследования процесса распространения плотностных течений по склону дна // Океанология. 2005. Т. 45. № 1. С. 5–15.

Results of studies of turbidity currents in coastal zone of a sea are presented. Work is based on laboratory experiments and field observations (Mzymta River, Krasnodar Region) data.

Савенко А.В.¹, Покровский О.С.²

(¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Alla_Savenko@rambler.ru; ²Университет имени П. Сабатьера, Тулуза, Франция, oleg@lmtg.obs-mip.fr)

Миграция растворенных веществ в устье р. Серебрянки, впадающей в Японское море

Savenko A.V.¹, Pokrovsky O.S.²

(¹Moscow M.V. Lomonosov State University; ²P. Sabatier University, Toulouse, France)

Migration of dissolved substances in mouth of the Serebryanka River discharging into the Japan Sea

В гидрохимическом отношении устья средних и малых рек Дальнего Востока изучены слабо. Для получения первичных представлений о закономерностях миграции растворенных веществ при взаимодействии материкового стока этого региона с морской водой нами была выбрана р. Серебрянка – одна из трех наиболее протяженных рек восточного макросклона Сихотэ-Алиня, протекающая по территории Сихотэ-Алинского государственного биосферного заповедника.

Р. Серебрянка относится к типично горным рекам с узкими речными долинами в скальных породах, быстрым течением, множеством каменистых порогов и небольшими водопадами. В приустьевой части русло реки расширяется с 50 до 80–120 м, правый берег скалистый, слева – песчаная отмель. Река имеет простое приливное устье, приливно-отливные явления оказывают доминирующее влияние на режим устьевых участка.

Работы проводились 22 июля 2009 г. в фазу прилива. Пробы воды отбирались из поверхностного горизонта вдоль правого скалистого берега пластиковой емкостью, после чего сразу же выполнялась их подготовка для гидрохимических исследований. Для анализа содержания макрокомпонентов и фтора пробы воды фильтровались через плотный бумажный фильтр; для анализа содержания биогенных элементов после фильтрации через плотный бумажный фильтр в полипропиленовые флаконы добавлялось небольшое количество хлороформа (1 мл на 100 мл пробы); для анализа содержания микроэлементов пробы воды фильтровались через мембранный фильтр 0,45 мкм в полипропиленовые флаконы с предварительно внесенными туда аликвотами 5 N азотной кислоты марки о.с.ч. (0,6 мл на 30 мл пробы).

При аналитических определениях использовались методы объемного титрования (Cl, Alk), капиллярного электрофореза (SO₄), спектрофотометрии (P, Si), ионометрии (F) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Na, K, Mg, Ca, B, Rb, Cs, Sr, Ba, V, As, Mo, U, Y, La, Ce, Pr, Nd, Dy, Ho). Погрешность измерений не превышала ±3%.

Для большинства изученных компонентов (Na, K, Mg, Ca, SO₄, HCO₃, F,

B, Rb, Cs, Sr, V, As, Mo, U) в устье р. Серебрянки наблюдалось консервативное поведение, о чем свидетельствует линейная форма зависимостей

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

параметры которых приведены в таблице.

Параметры зависимостей (1) для компонентов с консервативным поведением

Компонент i	a	b	r (коэф. корр.)
<i>Макрокомпоненты</i>			
Na	15,1	0,574	0,999
K	5,3	0,0207	0,999
Mg	4,3	0,0686	0,999
Ca	18,0	0,0201	0,999
SO ₄	47,3	0,139	0,999
HCO ₃	19,9	$6,76 \times 10^{-3}$	0,999
<i>Микроэлементы</i>			
F	0,076	$6,18 \times 10^{-5}$	0,999
B	0,014	$2,28 \times 10^{-4}$	0,999
Rb	$4,4 \times 10^{-4}$	$6,17 \times 10^{-6}$	0,999
Cs	$2,8 \times 10^{-5}$	$1,32 \times 10^{-8}$	0,988
Sr	0,002	$4,20 \times 10^{-4}$	0,999
V	$3,3 \times 10^{-4}$	$2,74 \times 10^{-7}$	0,990
As	$9,6 \times 10^{-4}$	$1,21 \times 10^{-7}$	0,967
Mo	$6,8 \times 10^{-4}$	$4,62 \times 10^{-7}$	0,994
U	$6,2 \times 10^{-5}$	$1,48 \times 10^{-7}$	0,999

Распределение растворенного минерального фосфора в устье р. Серебрянки даже в вегетационный период контролируется в основном химическими процессами при второстепенной роли биологического потребления: при низких концентрациях фосфатов в речной и морской водных массах (~8,4 мкг P/л) в зоне смешения отмечалось дополнительное поступление фосфатов в раствор, достигающее максимальных значений (1,1 мкг P/л, или 13%) при содержании хлоридов 4–5 г/л (рис. 1). Наиболее вероятной причиной локального повышения концентраций растворенного минерального фосфора в водах промежуточной солености является десорбция с речных взвесей, подтверждением чему служит консервативное поведение растворенного органического фосфора, который, в отличие от фосфатов, не вовлекается в процессы сорбции–десорбции.

Концентрация растворенного кремния почти линейно снижалась с ростом содержания хлоридов с 5,4 до 2,3 мг/л (рис. 1). Незначительное удаление кремния из раствора в пределах зоны смешения (не более 3% концентрации в речной водной массе) обусловлено, по-видимому, ассимиляцией водной биотой, в частности диатомовыми водорослями.

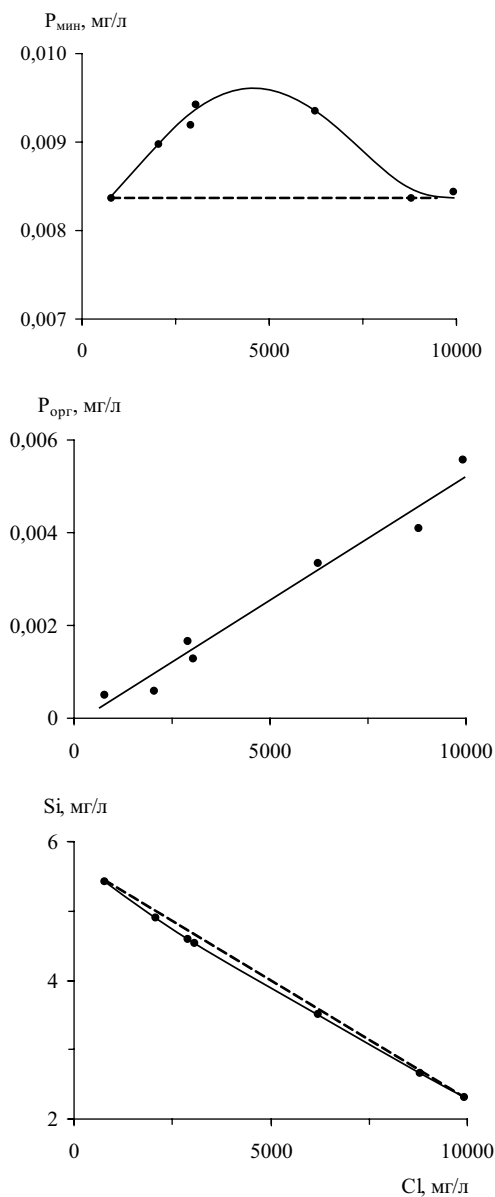


Рис. 1. Зависимости концентраций растворенных форм минерального, органического фосфора и кремния от содержания хлоридов в устьевой области р. Серебрянки в июле 2009 г.

Удаление растворенного бария в устье р. Серебрянки было более существенным и достигало 5,5 мкг/л (46% концентрации в речных водах) при содержании хлоридов 3,5 г/л (рис. 2), что могло происходить в результате сорбции на взвешенном веществе материкового стока, нередко наблюдаемой и в устьевых областях других рек мира [1, 2].

Для иттрия и редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Dy, Ho) характерно резкое снижение концентраций их растворенных форм на начальных стадиях проникновения речных вод в морскую среду, достигающее максимальных величин при содержании хлоридов 2,5–3 г/л (на рис. 3 показаны зависимости для Y и La). Согласно обзору результатов экспериментов и натурных наблюдений, проведенному В.В. Гордеевым [2], ведущую роль в миграции этих элементов в зоне смешения речных и морских вод играет их извлечение из раствора в составе коллоидной фракции, образующейся в процессе коагуляции и флокуляции органических и органо-минеральных коллоидов.

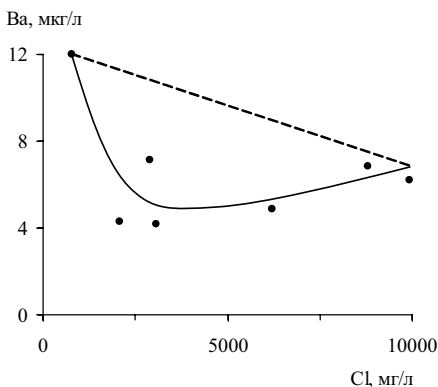


Рис. 2. Зависимость концентрации растворенного бария от содержания хлоридов в устьевой области р. Серебрянки в июле 2009 г.

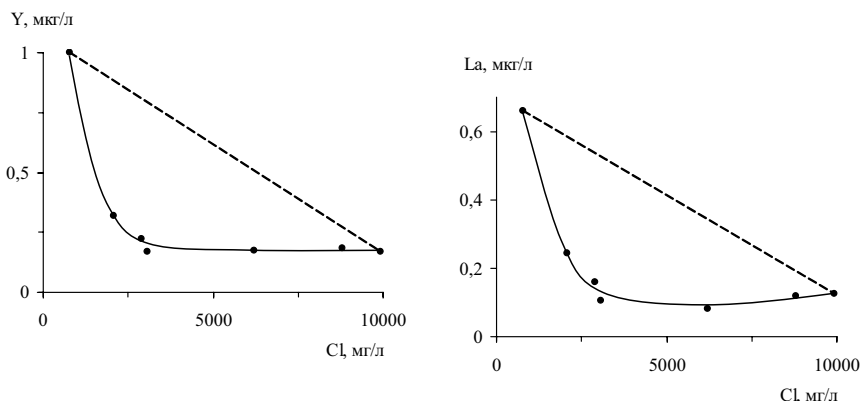


Рис. 3. Зависимости концентраций растворенных форм иттрия и лантана от содержания хлоридов в устьевой области р. Серебрянки в июле 2009 г.

Авторы выражают признательность О.И. Никитиной за отбор проб воды для химических анализов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09–05–00692).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
2. Гордеев В.В. Система река–море и ее роль в геохимии океана // Дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М.: Ин-т океанологии РАН, 2009. 240 с.

Conservative behavior of dissolved forms of major ions (Na, K, Mg, Ca, SO₄, HCO₃) and greater part of studied trace elements (F, B, Rb, Cs, Sr, V, As, Mo, U) was obtained in the Seryabryanka River mouth (Sihote-Alinsky reserve) in July, 2009. Distribution of dissolved mineral phosphorus even during the vegetative period is supervised basically by chemical processes (desorption from river suspended matter) at supporting role of biological consumption. The behavior of dissolved organic phosphorus and silica was close to conservative. For barium intensive removal from a solution reaching 46% of concentration in river waters was observed that could be related with sorption on the suspended matter of the continental runoff. For yttrium and rare earth elements (La, Ce, Pr, Nd, Dy, Ho) sharp decrease in concentration of dissolved forms at initial stages of river waters penetration in the sea caused, supposedly, coagulation and flocculation of organic and organic-mineral colloids was established.

Синицына Н.Н.

(Украинский морской институт, Севастополь)

Неразрывность связи распределения частиц примеси в пространстве с их движением в толще вод

Sinitsina N.N.

(Ukraine Marina Institute, Sevastopol)

Indissoluble tie of admixture particles spatial distribution with their motion in the water layer

В этой короткой работе рассмотрим связь движения частиц с их распределением в пространстве. Исследование проводилось с целью детального рассмотрения положений частиц в пространстве, проверки возможного нарушения условия бесстолкновительного характера движения частиц.

За точку отсчета взяты работы Анцыферова, Онищенко, где решаются задачи определения механического состава транспортируемого материала по данным о процессе перемещения и исходном составе [1] и [2]; установления зависимости расхода и концентрации мономинеральных частиц наносов от их размера [1], определения точности оценки гидравлической крупности песчаных фракций и возможных источников систематических погрешностей [2].

В этих расчетах транспорта наносов, донных отложений и взвесей проводятся специальные исследования гранулометрического состава наносов донной поверхности. Предложено - в расчетные формулы определения расхода и концентрации наносов неоднородного механического состава в качестве характеристики использовать эффективное значение размера частиц, а не средний размер частиц исходного состава донных отложений - соотношение, характеризующее закономерность осаждения частиц в вязкой среде. В качестве источников погрешности указан эффект группового осаждения частиц. Для устранения систематической ошибки такого рода предложены увеличение высоты седиментационного сосуда, по которому проводятся эталонные измерения гидравлической крупности [2] и использование двух седиментометров с разными базами [3]. Последняя из указанных является одной из лучших по исследованию осаждения твердых частиц в седиментографах, здесь оценивалось влияние размера и массы навески, а также конструктивных параметров седиментографов на точность определения гидравлической крупности песчаных фракций методом осаждения в "пустой" среде. Под последней понимается отсутствие влияния стенок на первоначальном этапе осаждения зерен в седиментационном сосуде, когда размеры облака частиц навески меньше его поперечного сечения.

В [3] предполагается, что окружающая среда, то есть вода, в основном,

обтекает систему и «частично фильтруется через нее», часть «увлекается движущейся системой». Авторы обнаруживают групповое осаждение зерен, как некоторой совокупности, и что оно неустойчиво. отмечена отчетливая тенденция к расседоточению частиц в облаке по горизонтали и по вертикали. Причиной последнего указывается неравномерность полей концентрации в облаке и неоднородность состава частиц. Расползание по горизонтали объясняется перепадом давлений внутри и вне облака из-за повышенной начальной концентрации зерен в средней части сосуда, обуславливающей скорость фильтрации среды через систему, меньшую, чем скорость обтекания системы средой в целом. Предполагается, что перепад давлений направлен на увеличение объема системы, то есть на уменьшение концентрации.

Мы же оттолкнемся от этой ситуации, как от исходной, и будем описывать, именно, эти совокупные взаимодействия различных частиц.

В ходе численного эксперимента установим, что седиментация гранул, различающихся по своим размерам и плотностям материала, из которого они изготовлены в экспериментально -теоретическом расчете движения многих траекторий исследуемых частиц обусловлена только наличием среды, жидкости воды, гравитацией и существованием объема этих частиц. Частицы не оседают прямолинейно и равномерно, а взаимодействуя между собой из-за силы Архимеда, движутся не только вниз, но и в стороны и вверх. Этот процесс описывается координатной функцией, изменяющей во времени конфигурацию первоначально заданного облака частиц. Эта функция для скорости выведена Лэмбом в начале двадцатого века [4] из сферических функций в применении к гипергеометрическим рядам.

Заметим, что в океанологической практике переноса осадка и примеси могут встречаться следующие случаи оседания частиц в неограниченной жидкой вязкой среде: - облака могут существенно различаться по форме (протяженные по вертикали, или горизонтально, плоские, цилиндрические, сферообразные, в виде замкнутых и незамкнутых одинарных цепочек, падающих в вертикальной или перемещающихся в горизонтальной плоскости); - гранулы могут быть различных размеров, но одинаковых по плотности материала, или же, наоборот, одинаковых по размеру и одновременно различающихся по плотности; или же различные сочетания этих условий. Вопрос влияния формы отдельных гранул и их вращения на совокупное движение в жидкости не рассматривается, так как форма принимается одна и та же - сферическая, влиянием вращения пренебрегается. В [5] продемонстрировано множество случаев, когда принятое пренебрежение деталями формы частиц допустимо.

Сделаем попытку исследовать процесс перемещения и трансформации облака частиц со временем и оседания этого облака на дно. Рассмотрим шаровое облако однородных частиц с целью выяснения основных закономерностей движения аналогичных структур. Подбором конкретных

граничных условий, следующих из натуральных лабораторных экспериментов Хоргуани [6], исследовавшего движение большой группы мелких металлических шариков в глицерине и первого установившего такое движение в виде большого тора; - и разумных гипотез и ограничений в области расчета, добиваемся приближения к реальной картине бесстолкновительной седиментации ансамбля частиц. Приведенные выше ограничения не умаляют общности полученных результатов.

Обратимся к численно - графическому эксперименту, проведенному с целью проследить "визуально" качественные характеристики процесса осаждения гранул, обобщенных до сфер. Сравним экспериментальный результат [7] и расчет оседания облака частиц (Рис.1. слева [7] и в центре [5]). Мы видим качественную схожесть снимков.

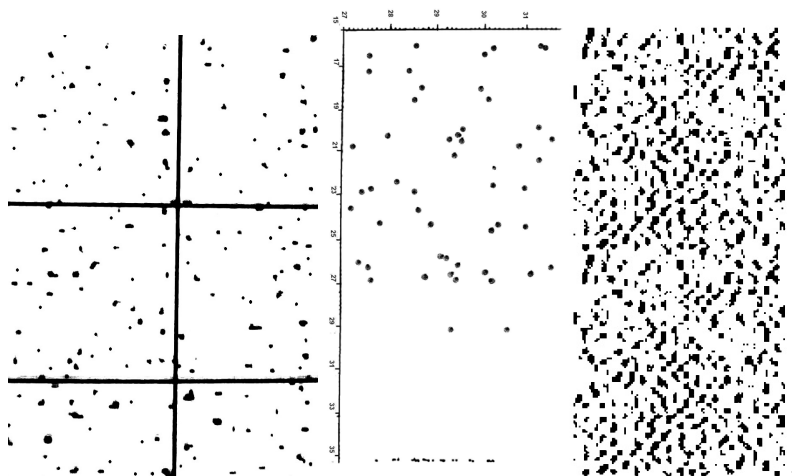


Рис. 1. Слева – оседающие частицы песка в профиле № 3 Дербент (Каспий) [7], использован стенд ИО РАН; в центре – расчет оседания облака частиц-сфер [5], справа – строение воды (СНК) [8]

На рисунке 1 (центр) представлен вертикальный одномоментный временной срез облака из 81 одинаковой частицы. С помощью численно-графического исследования отработана методика слежения за траекториями отдельных частиц. Для определенности частицы помечены номерами, соответствующими их очередности строкам в файле данных. Со временем обнаруживается, что имеет смысл следить только за определенной частью совокупности частиц. Остальная (в данном случае боковая верхняя) часть растягивается по пространству и движется чаще всего независимо друг от друга, не оказывая влияния на нижние частицы, хотя в свою очередь, увлекаема последними. На рис. 1. расположен увеличенный фрагмент

нижней части облака, демонстрирующий бесстолкновительный характер процесса осаждения облака частиц, чего можно добиться правильной подборкой граничных условий. Последние были выбраны согласно условий равенства всех составляющих скорости нулю в аналитическом решении. С другой стороны взято и второе ограничение по расстоянию между сферами: если оно превышает три первоначальных межчастичных расстояния, то взаимодействие считается отсутствующим. Графические результаты подтверждают правильность такого выбора - система оседает без столкновений, которые могли бы привести к необходимости учета адвективных членов уравнений Навье - Стокса. Иначе говоря, мы остаемся в рамках ползущего уравнения Стокса, не затрудняя себя лишними расчетами при искусственном ограничении радиуса действия гидродинамического взаимодействия.

Для развития предлагаемого метода используем результаты исследования супранадмолекулярных комплексов в чистой воде [8], образующих ячейки в выделенном пространстве флюида, или, точнее, являющихся достаточно крупными ячеистыми образованиями из молекул воды. На рис.1. справа мы видим развитую структуру, составленную из соприкасающихся областей.

Таким образом, учет размеров, формы, плотности материала примеси, скорости перемещения песчинок, других частиц, в том числе и загрязнений, неоднородность и неизотропность их свойств дает возможность для решения экологических задач предложить сопряженный метод компьютерного моделирования частицами и гидродинамического метода точечных сил [5], с помощью которого налицо прослеживается фрактальная связь между движением частиц, структуры среды (воды) и, как следствие, такого же фрактального пространственно-временного распределения рассматриваемых объектов. Фрактал - структура, состоящая из частей, которые подобны целому, из чего следует и фрактальность приводимых распределений частиц в жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анцыферов С.М. К расчету транспорта наносов неоднородного гранулометрического состава// Океанология. 1973. № 3. С. 476-483.
2. Анцыферов С.М., Онищенко Э.Л., Макарова Т.Ф. К вопросу о методике определения состава донных отложений и взвесей // Метеорол. и гидрология. 1974. № 9. С. 100-103.
3. Онищенко Э.Л., Анцыферов С.М. Об осаждении твердых частиц в седиментационных сосудах // Метеорол. и гидролог. 1986. № 4. С. 94-103.
4. Лэмб Г. Гидродинамика. М.-Л. ГИТТЛ. 1945. 928с.
5. Синицына Н.Н. Использование метода частиц для исследования движения облаков сфер в жидкости // Канд. диссертация. МГИ НАНУ, ОМММ в Технологич. и эконом. разработках при През. РАН, Каф. Мех. гетер. сред МФТИ. Москва-Севастополь. 1994. 152с.

6. Хоргуани В.Г. О характере и скорости падения системы частиц одинаковых размеров // ФАО. 1966. Т. II. № 4. С. 394-401.
7. Вержбицкий В.Е., Левченко О.В., Лобковский Л.И., Мерклин Л.Р., Мар Г.Н. Структуры подводного оползания в четвертичных отложениях склонов Дербентской котловины (Каспийское море) // Материалы XVIII Международной научной конференции по морской геологии, Москва. 2009. Т. III. С. 295-297.
8. Смирнов А.Н., Лапшин В.Б., Балышев А.В. и др. Супранадмолекулярные комплексы воды // Электр. журн. ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ. 2004. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/038.pdf> 413.

It is suggested to take into account sizes, geometrical forms, particle material densities of admixture, sand grains velocity, heterogeneity of their properties for ecological research development of transfer and of settling admixture as particles of contamination and sand grains.

The research is conducted by a method computing modeling by particles and hydrodynamic method of point forces, due to which by obvious appearance fractal communication between motion of particles is traced, structure of environment (water) and, as a result, the same fractal spatial - temporal distributing of the considered objects. Fractal is a structure, consisting of parts similar to whole, from what ensues the fractal of the considering particles distributed in a liquid. Result of research of supra- above- molecular complexes in clean water is used, formative cells in the selected fluid space.

Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Зимовец А.А.

(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, mir-zagadka@yandex.ru)

Ртуть в осадках устьевой области реки Северная Двина

Fedorov Yu.A., Ovsepyan A.E., Zimovec A.A.

(South Federal University, Rostov-on-Don)

The mercury in precipitations of the mouth region's river North Dvina

Представлены результаты, полученные в ходе экспедиционных работ в зимний период 2008 г. Пробы снега отбирались с поверхности льда и почвы на 13 станциях, расположенных на территории устьевой области Северной Двины. Мощность снежного покрова изменялась от 10 до 70 см, отбор проб производился по горизонтам, через каждые 10 см на глубину до границы раздела лед-почва. Концентрация Hg в атмосферных осадках определялась методом атомной абсорбции в холодном паре по аттестованной методике. Анализировалось содержание Hg в фильтрованной и нефилтрованной пробах талого снега, что позволило рассчитать её валовое содержание. Подробно физико-химическая обстановка и метеорологические условия, в которых проводились экспедиционные исследования, описаны в работах [1, 3-5]. Ниже представлен анализ результатов концентрации валового содержания ртути в снеговых осадках, поскольку в многочисленных публикациях в основном приводятся данные по содержанию металла в гидрометеорах, находящейся именно таком состоянии. Это позволяет делать сравнение с данными других авторов.

Валовое содержание ртути в поверхностном слое (0-10 см) снежного покрова изменялось от 0,008 до 0,09 при среднем содержании 0,036 мкг/л. Минимальные содержания валовой Hg в снеге выявлены на ст. «Малые Корелы» (0,008 мкг/л). Расчеты показали, что эта величина может быть принята в качестве фоновой. Относительно низкие концентрации Hg (менее 0,01 мкг/л) обнаружены на станциях «о. Соломбала» и «пр. Кузнечиха, ниже СЦБК». Максимальные содержания Hg обнаружены в снежном покрове на ст. «Порт Экономия» (0,09 мкг/л). Пространственное распределение валовой концентрации ртути в поверхностном слое снежного покрова представлено на рисунке.

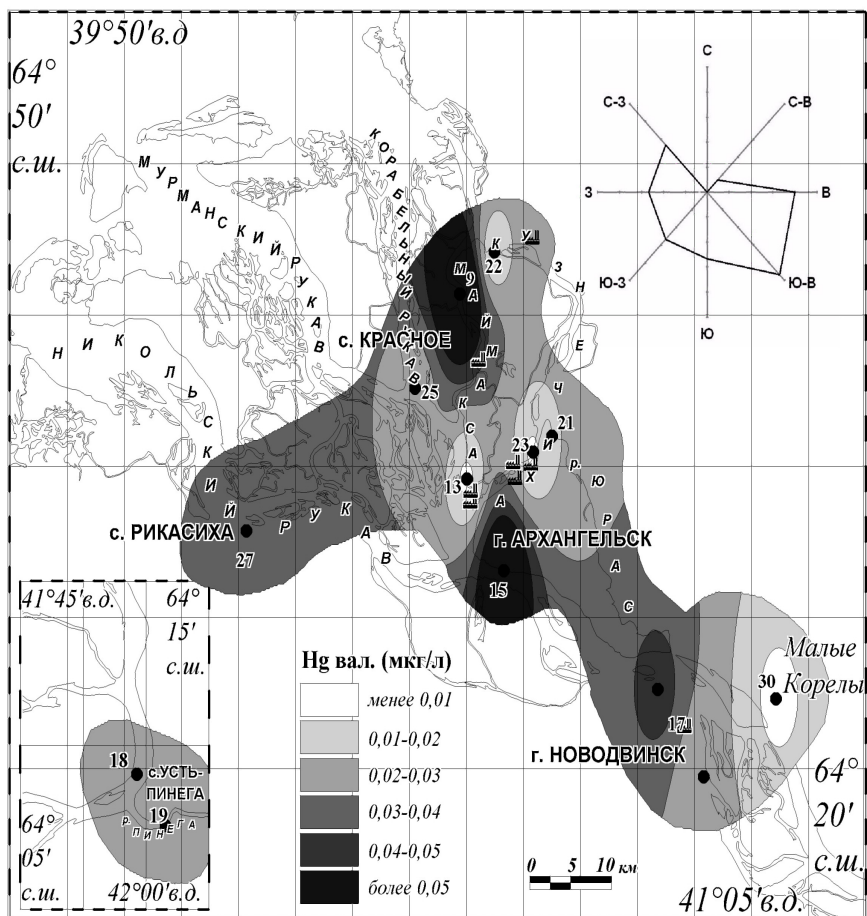


Рис. Распределение валовой формы ртути в поверхностном (0-10 см) горизонте снежного покрова

Анализ рисунка позволяет установить, что в вершине устьевой области Северной Двины на значительном удалении от крупных городов содержание валовой Hg колебалось в относительно низких пределах 0,021-0,028 мкг/л, которые все же превышают фоновые значения в 3 раза. Наиболее вероятным источником поступления Hg в атмосферу на этом участке являются продукты сгорания топлива, в частности, в расположенных здесь поселках, по сей день применяется печное отопление. Не стоит исключать возможное воздействие на атмосферу этих районов расположенного по соседству космодрома «Плесецк».

При дальнейшем движении по направлению к дельте реки на станциях, расположенных в непосредственной близости к г. Новодвинск, отмечается существенное увеличение концентраций Hg до 0,044 мкг/л (в 6 раз выше фона). Образование здесь области локального загрязнения, по-видимому, связано с ветровым переносом золы ТЭС АЦБК, золошлаки которой обогащены многими токсичными элементами и соединениями и легко переносятся на дальние расстояния [5]. На территории Архангельска содержание Hg изменялось по всей площади города в широких пределах - от менее 0,01 до более 0,05 мкг/л.

Анализируя полученные данные о распределении ртути, можно выделить следующие зоны с повышенными концентрациями металла и его соединений в снежном покрове города: ст. «Вершина дельты» (0,08 мкг/л) и ст. «Порт Экономия» (0,09 мкг/л). По-видимому, для ст. «Вершина дельты» подобная картина связана с особенностями ветрового режима, обуславливающего перераспределение промышленных и автомобильных выбросов. Косвенным подтверждением этому может быть тот факт, что ранее здесь были обнаружены высокие содержания нерастворимых частиц в снеге [7]. Ст. «Порт Экономия» расположена в зоне влияния погрузочно-разгрузочного района «Экономия» Архангельского морского торгового порта. Здесь перерабатываются контейнеры, целлюлоза, бумага, фанера, строительные материалы, химические грузы, лес, металлы, удобрения, оборудование и навалочные грузы, в том числе опасные – в частности, радиоактивные материалы. Кроме того, данная станция отбора проб находится в зоне воздействия Архангельского гидролизного завода, ЛДК № 3 и Лесозавода № 25. О сложившейся в районе неблагоприятной экологической обстановке свидетельствует наличие публикаций на данную тему в прессе [8] и научной литературе, где отмечались повышенные концентрации ртути в воде и донных отложениях реки Северная Двина [2, 6]. В верховьях рукавов дельты Северной Двины наблюдается снижение концентраций валовой формы Hg в снеге до уровней 0,02-0,03 мкг/л. Таким образом, пространственное распределение ртути характеризовалось неравномерностью и в целом отражало особенности ветрового режима и географию размещения крупных промышленных предприятий.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 09-05-00337, грантов Министерства образования и науки РФ «Ведущие научные школы России» НШ-8030.2010.5, Гос. контрактов № 16.740.11.0054, П1102, грантов Президента Р.Ф. МК-2100.2009.5, МК-1453.2011.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров Ю.А., Зимовец А.А., Овсепян А.Э., Доценко И.В. Физико-химические условия в устьевой области Северной Двины и их влияние на формы нахождения и миграции ртути // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2011. № 1. С. 86-89.

2. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Коробов В.Б., Доценко И.В. Донные отложения и их роль в загрязнении поверхностных вод (на примере устья р. Северная Двина и Двинской губы Белого моря) // Метеорология и гидрология, 2010. № 9. С. 44-54.
3. Федоров Ю.А., Зимовец А.А., Доценко И.В., Овсепян А.Э. Физико-химическая обстановка в системе «вода–почвы–донные отложения» Севера ЕТР // Сборник трудов IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Москва, 2009. С. 64.
4. Федоров Ю.А., Зимовец А.А., Овсепян А.Э., Доценко И.В. Физико-химическая обстановка как один из факторов, оказывающих влияние на формы нахождения ртути в окружающей среде бассейна р. Северная Двина // Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Москва, 2009. Т. IV. С. 306-311.
5. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Зимовец А.А., Хромов М.И. Комплексная эколого-геохимическая экспедиция в устьевой области Северной Двины в весенне-зимний сезон 2008 г. // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2009. № 1. С. 110-114.
6. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Коробов В.Б. Особенности распределения, миграции и трансформации ртути в водах устьевой области р. Северная Двина // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 85-92.
7. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2008.
8. Порт «Экономия» // МК в Архангельске, 29 октября 2003 (44).

The present research is devoted to the analysis of the results obtained during the expeditions organized to study the content and distribution of mercury in the snow cover in winter 2008. Spatial distribution of mercury concentrations' s gross in the surface layer of snow cover are presented.

Федорова Н.К., Рыбалко А.Е.

(ФГУНПП «Севморгео», Санкт-Петербург, rybalko@sevmorgeo.com)

**Особенности формирования геохимической структуры
донных отложений и придонных вод восточной части
Финского залива**

Fedorova N.K., Rybalko A.E.

(State company “Sevmorgeo”, St-Petersburg)

**Features of formation of the geochemical structure of the
bottom sediments and near-bottom waters in the Eastern Gulf
of Finland**

Мониторинг природной среды является универсальным методом оценки значимых изменений состояния природной среды. Мониторинг водной толщи отражает более короткопериодные изменения, а также позволяет говорить о долговременных процессах изменения качества природных вод в результате развития процессов эвтрофикации с одной стороны и улучшения степени очистки сточных вод, с другой. Мониторинг донных осадков отражает более длительные и устойчивые во времени процессы изменения природной среды, в том числе на основании учета характера обменных процессов на границе «дно-вода».

В период с 2006 по 2009 г.г. резко возросли нагрузки на природную среду восточной части Финского залива, в том числе на Невскую и Лужскую губы. В начале этого периода в Санкт-Петербурге одновременно осуществлялись несколько крупных строительных проектов, непосредственно связанных с гидротехническими работами: строительство Морского Пассажирского порта на Васильевском острове и намыв новых городских территорий («Морской фасад»), строительство нового футбольного стадиона, а также жилого комплекса «Балтийская жемчужина». В самой губе в это время выполнялся огромный объем дноуглубительных работ, как для расширения Морского канала, так и строительства подходного канала к Васильевскому острову (углубление Петровского канала), а также завешались земляные работы на Комплексе защитных сооружений. В Лужской губе все эти годы продолжались работы по строительству Усть-Лужского порта, которые сопровождались намывом прибрежных территорий для сооружения причальной линии. Песок намывался как за счет привоза его из подводных карьеров, так и добычи песка непосредственно в губе. В 2006 – 2007 г.г. было закончено строительство второго причала на нефтеперегрузочном терминале «Приморск». В этот же период был зафиксирован резкий рост трафика нефтеналивных судов. На самой акватории продолжались подводные разработки песка на Стирсудденской банке и к югу от острова Сескар и подводная добыча железо-марганцевых конкреций в Выборгском заливе.

Все эти факторы существенным образом сказались на формировании геохимической структуры как придонных вод, так и донных отложений в российской части Финского залива.

Наиболее значимым результатом гидротехнических работ в Невской губе в 2006 году явилось массовое поступление взвеси на начальных этапах дноуглубительных работ при строительстве Пассажирского порта и разработке подходных каналов. Увеличение концентраций взвешенного материала в акватории почти на 2 порядка привело к уменьшению содержания кислорода в придонном слое, деградации окисленного слоя, и как следствие, усилению инфильтрации загрязняющих веществ из донных отложений в придонные слои воды. При разработке для новой Пассажирской гавани на Васильевском острове его фронтального склона, во многом сформированного бытовым мусором, в воду поступило большое количество макрозагрязнителей – остатков бумаги, тканей и пр. В мае 2006 г. максимальные значения мутности составляли 91 FTU и отмечались в первую очередь вдоль южного берега. В летний период практически по всей акватории отмечались аномально высокие показатели мутности, причем наиболее высокие ее значения составили от 100 до 413 единиц FTU, а в октябре месяце показатели мутности придонных вод доходили до 1000 ед. FTU. При этом усилился вынос загрязненных вод в восточную часть Финского залива, что хорошо видно на космических снимках. Изменился даже макрокомпонентный состав придонной воды в Невской губе. В самой Невской губе в 2006-2007 г.г. произошло существенное увеличение площади алевропелитовых осадков, особенно в восточной части губы. Изменилась и структура самих глинистых осадков, в частности, увеличилось содержание фракции $< 0,01\text{мм}$. Источником взвеси являлись: поверхностный слой донных осадков и подстилающие их литориновые морские и позднеледниковые ледниково-озерные осадки. Поверхностные отложения представлены преимущественно песчанистыми разностями с содержанием фракции $< 0,01\text{мм}$ 10-15%. Только в западной части Морского канала поверхностный слой осадков представлен алевропелитовыми разностями с содержанием тонкозернистых частиц 30-50%. Значительную часть вскрытого разреза составляют ледниково-озерные глины, содержание фракции $< 0,01\text{мм}$ в которых превышает 60%. Они и дали при дреджинге большую часть взвешенного материала преимущественно алевритового материала, который обеспечил существенное увеличение сорбционной способности осадков, а также снижение значений Eh. Это привело к увеличению инфильтрации загрязняющих веществ из донных осадков в придонный слой воды. Загрязнение глинистых отложений происходило за счет сорбции тяжелых металлов и нефтепродуктов из водной толщи. Одним из последствий этого явления явилось смена типа грунтов на нерестилищах рыб и их уничтожения, что по данным рыбаков должно в долговременной перспективе неминуемо отразиться на возможности воспроизводства

кормовых рыб в северной Балтике.

Следует отметить, что сокращение объемов дноуглубительных работ и, прежде всего, на Морском канале, привело уже в 2008 году к существенному улучшению качества вод в Невской губе. Мощный невиский сток способствовал оздоровлению обстановки в восточной части губы, напротив устья Большой Невы. На космоснимках видно, что большие площади залива покрыты чистой водой. Взвешенные вещества в это время локализовались в районе ковшей «Морского фасада», а также в западной части губы, где впервые над грунтами, представленными крупнозернистыми песками и гравием с галькой и валунами, прозрачность снизилась менее 1 м. Содержание взвешенного материала во всей толще воды по данным А. Максимова на некоторых станциях превышали 60 мг/л (при ПДК – 10 мг/л), при этом минеральная составляющая в них превышала 90%. В этом году только по двум металлам – меди и цинку были зафиксированы концентрации выше уровня ПДК. Содержание меди по данным 2008 года изменялось от 0 до 10,04 мкг/л и в среднем составляла 4.18 мкг/л, что почти соответствует среднему содержанию суммарной формы меди по данным 2007 года и существенно превышает фон 2006 г. Одним из мощных факторов самоочищения водной толщи являлись донные осадки в условиях уничтожения зоны окисления и усиления миграции на геохимическом барьере «дно-вода».

Однако, в 2008 году на поверхности покровных песков сформировался тонкий слой песчано-глинистого наила. С ним были связаны повышенные концентрации ряда токсических металлов, в том числе и кадмия. «Хвост» этих металлов четко прослеживается вдоль берега Курортного района Санкт-Петербурга и далее в открытую часть Финского залива. Это свидетельствует, что вынос взвеси из Невской губы начал существенно влиять на формирование химического состава донных осадков и во внешней части невиского эстуария. При этом ёмкость малоградиентных геохимических барьеров в самой губе и к западу от острова Котлин оказалась превышенной, и они перестали играть свою заградительную роль. С этим процессом связано и резкое возрастание концентраций нефтепродуктов в районе нефтеперегрузочного интервала № 5 у мыса Песчаный (более 1 г/кг), которое возникло, по нашему мнению, за счет выноса загрязненной взвеси из Невской губы.

В 2009 году продолжалось улучшение качества вод, однако, ситуация с донными осадками не улучшилась. Более того, вынос взвеси во внешнюю часть Финского залива по-прежнему способствовал заметному возрастанию содержаний нефтепродуктов к западу от острова Котлин. Таким образом, локальные работы в Невской губе в 2006-2007 гг. обеспечили долговременное негативное воздействие на природную среду не только в самой губе, но и прилегающей части Финского залива, а геохимическая их структура испытала глубокие преобразования. При этом, возникающий

резерв токсичных веществ в толще донных осадков (частично, в иловых водах) служит потенциальным источником для вторичного загрязнения донных осадков.

Несколько иная картина вырисовывается по данным мониторинга в Лужской губе в районе строящегося Усть-Лужского порта. Объем дноуглубительных и намывных работ здесь только незначительно уступает «Морскому фасаду». Это приводило в ряде случаев к существенному изменению расположения полей донных осадков, однако, в целом, в пределах акватории гидротехнические работы не только не привели к загрязнению донных отложений, но, наоборот, обеспечили некоторое снижение концентраций нефтепродуктов и ряда тяжелых металлов. Причиной данного эффекта является, вероятно, то, что поверхностный слой донных отложений в Лужской губе не содержал заметного резерва поллютантов, мощность покровных песков была значительной и только в отдельных случаях в разработку вовлекались ледниково-озерные глины. Кроме того, гидрологический режим в Лужской губе, в частности, ее открытость к северу и северо-западу не привела к деградации окисленного слоя, а следовательно, миграция химических элементов на барьерной зоне «дно-вода» была затруднена. Все это привело к тому, что в целом, экологическая ситуация в Лужской губе сохранилась несравненно лучше, хотя проблема сохранности нерестилищ и здесь не была до конца решена.

Говоря об аномальных концентрациях и связывая их с антропогенным влиянием нельзя забывать о региональном фоне, связанном, в частности, с металлогеническими особенностями подстилающих пород. Так, для большей части седиментационных районов в восточной части Финского залива характерны высокие содержания меди. Среднее содержание ее в донных осадках в 2008 году составило 288 ppm, что превышает уровень интенсивного загрязнения (190 ppm) почти на 20%. Наиболее высокие концентрации Cu были зафиксированы в донных осадках в районе Зеленогорска (до 360 ppm), Выборгского и Петербургского морского торгового порта (333 ppm), что можно увязать с конкретными техногенными факторами. Но аналогичные же концентрации были установлены и в донных осадках Сескарского и Шепелевского плесов, а также и в Глубоководном районе. При этом максимальные концентрации меди превышает среднее значение всего на 25%, что составляет 1,5 стандартных отклонения. Строго, говоря, с геохимической точки зрения это аномалией не является. Соответственно, можно говорить о том, что существует высокий региональный фон этого тяжелого металла, связанный с металлогенической специализацией коренных пород

Приведенные факты говорят, что формирование геохимической структуры донных осадков и придонных вод в восточной части Финского залива в условиях возрастающей техногенной нагрузки представляет сложный процесс взаимодействия антропогенных и природных факторов,

количественную роль которых трудно оценить. Природные процессы в целом определяют пространственное положение формирующихся аномалий, а антропогенный вклад фиксируется в количественном уровне значений химических элементов и их соединений. Необходимо отметить и влияние на этот сугубо экзогенный процесс эндогенных процессов, связанных с инфильтрацией глубинных газифлюидов по тектоническим нарушениям, а также в результате современных геодинамических движений.

Features of formation of geochemical structure of bottom sediments and near-bottom waters are considered on an example of active dredging in the Neva Bay in 2006-2007. It is shown, that pollution of bottom sediments is kept longer, than in water thickness. Natural factors determine position of geochemical anomalies, anthropogenous - the quantitative contents of chemical compounds. Regional metallogenic background also influences on geochemistry of bottom sediments.

Алфавитный указатель

Абдуллин Р.Р.	145, 150	Калинчук В.В.	217
Александров С.В.	72	Канапацкий Т.А.	72
Аношин Г.Н.	19	Кашулин Н.А.	203
Асавин А.М.	194	Кодратьева Л.М.	85
Астахов А.С.	217	Кокрятская Н.М.	58, 162
Банг Ч.В.	131	Колесник А.Н.	222
Батурин Г.Н.	4	Колесник О.Н.	222
Белевич Т.А.	9	Комлева Е.В.	227
Бобров В.А.	14, 19, 85, 105	Комов В.Т.	95
Богуш А.А.	14, 19, 85, 105	Кондратьева Л.М.	85
Борисенко Г.С.	260	Коновалова Т.Г.	232, 245
Будько Д.Ф.	38	Константинова	194
Ветров А.А.	75	Л.И.	
Виноградова Е.Л.	159	Коробов В.Б.	237, 241
Владимиров М.В.	197	Кравцов В.А.	245
Воронцова О.Н.	58	Краснобаев В.А.	14
Гарькуша Д.Н.	23	Кривоногов С.К.	19
Горюнова Н.В.	200	Крикун Е.Д.	63
Горячев В.А.	121	Круглякова Р.П.	255
Гудкова Е.А.	28	Крылов А.А.	68
Гурский Ю.Н.	28	Кудрявцева Е.А.	72
Гусев Е.А.	90	Кузнецов А.Н.	250
Даувальтер В.А.	203	Кузьмина А.Е.	19
Демидова А.Л.	68	Кукина С.Е.	75
Демина Л.Л.	33, 38	Курилов П.И.	255
Денисов В.И.	43, 208	Леонов А.В.	80
Доманов М.М.	52	Леонова Г.А.	14, 19, 85, 105
Доценко И.В.	48	Липко И.А.	110
Дубинин А.В.	63	Литвиненко И.В.	90, 116
Емельянов В.А.	213	Лобус Н.В.	95, 131
Емельянов Е.М.	4, 245	Логвина Е.А.	68
Жабин И.А.	181	Максимова М.П.	100
Забелина С.А.	58	Мальцев А.Е.	85, 105
Засько Д.Н.	145, 150	Мамаева Е.В.	110
Захарова Е.В.	145, 150	Мартынов К.В.	194
Захарова Е.Е.	194	Мартынова Д.М.	38
Земская Т.И.	110	Матвеева Т.В.	68, 113
Зернова В.В.	52	Мельникова З.Г.	52
Зимовец А.А.	292	Михайленко А.В.	48
Иванов Г.И.	197	Мишуков В.Ф.	121
Иванов М.В.	217	Мойсейченко	260
Ильяш Л.В.	9	Г.В.	

Моргунова И.П.	116	Середкин К.А.	245
Морева О.Ю.	176	Сивков В.В.	264
Немировская И.А.	264	Синицына Н.Н.	283
Нерода А.С.	121	Слободян Е.А.	269
Никулин В.В.	269	Смуров А.В.	95, 131
Овсепян А.Э.	126, 288	Стрелецкая И.Д.	154
Оськина Н.С.	33	Стунжас П. А.	159
Павлова О.Н.	110	Суслова М.Ю.	110
Парамонова М.С.	68	Титова К.В.	58, 162
Парфенова В.В.	110	Тихова В.Д.	19
Паршин А.В.	272	Тутыгин А.Г.	245
Паутова Л.А.	52	Ульянцев А.С.	167
Пелевин В.В.	275	Фазлуллин С.М.	275
Пересыпкин В.И.	95, 131	Федоров Ю.А.	23, 48, 250, 288
Петрига А.А.	275	Федорова Н.К.	292
Петрова В.И.	90, 116, 136	Федотов Д.В.	145, 150
Пименов Н.В.	72, 145, 150	Филатова Т.Б.	172
Подгорный К.А.	80	Филина К.В.	58
Покровский О.С.	176, 278	Холмянский М.А.	197
Полосина Ю.Е.	232	Хоменко Г.Д.	237
Прохорова Л.А.	213	Черевко И.В.	140
Реджепова З.Ю.	264	Черкашѐв Г.А.	116
Розанов А.Г.	28, 140	Черноусов С.Я.	43
Романкевич Е.А.	167	Чудакова Д.В.	68
Русанов И.И.	145, 150	Чупаков А.В.	58, 176
Рыбалко А.Е.	292	Шульга Н.А.	95, 131
Саввичев А.С.	72	Шулькин В.М.	181
Савенко А.В.	154, 278	El Eskandrani M.	186
Савицкая Н.И.	255	El Gamal Sh.M.M.	186
Сандимиров С.С.	203	Nasr S.M.	186
Сапега В.Ф.	68		
Семенова В.С.	9		

ОГЛАВЛЕНИЕ

Биохимические процессы в морях и океане

<i>Батурин Г.Н., Емельянов Е.М.</i> Геохимия углеродистых осадков Балтийского моря	4
<i>Белевич Т.А., Семенова В.С., Ильях Л.В.</i> Прибрежный фитопланктон у лежбища моржей в Чукотском море	9
<i>Бобров В.А., Богуш А.А., Леонова Г.А., Краснобаев В.А.</i> Проявления аномальных концентраций цинка и меди в торфянике верхового Выдринского болота (Южное Прибайкалье)	14
<i>Богуш А.А., Леонова Г.А., Бобров В.А., Кузьмина А.Е., Кривоногов С.К., Аношин Г.Н., Тихова В.Д.</i> Особенности биоминералообразования в торфах и сапропелях Байкальского региона	19
<i>Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А.</i> Метан в донных отложениях Азовского моря и устьевой области реки Дон	23
<i>Гурский Ю.Н., Розанов А.Г., Гудкова Е.А.</i> Поведение химических элементов в осадках Черного моря к югу от Керченского пролива	28
<i>Демина Л.Л., Оськина Н.С.</i> Микроэлементы в процессах карбонатной биоминерализации в океане (на примере сообществ фораминифер Атлантического океана)	33
<i>Демина Л.Л., Мартынова Д.М., Будько Д.Ф.</i> К вопросу о факторах, определяющих биоаккумуляцию тяжелых металлов в морских экосистемах	38
<i>Денисов В.И., Черноусов С.Я.</i> Тяжелые металлы в мидиях восточного побережья Черного моря	43
<i>Доценко И.В., Федоров Ю.А., Михайленко А.В.</i> Мидийные сообщества и их роль в трансформации потоков ртути в Азовском море	48
<i>Зернова В.В., Доманов М.М., Мельникова З.Г., Паутова Л.А.</i> Особенности распределения фитопланктона в Балтийском море в Гданьском и Финском заливах летом 2010 г.	52
<i>Кокрятская Н.М., Забелина С.А., Титова К.В., Чупаков А.В., Воронцова О.Н., Филина К.В.</i> Биогеохимические исследования системы стратифицированных озер реки Светлая (водосборный бассейн Белого моря)	58

<i>Крикун Е.Д., Дубинин А.В.</i> Геохимия рассеянных и редкоземельных элементов в осадках Ангольской котловины	63
<i>Крылов А.А., Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Сапега В.Ф., Демидова А.Л., Парамонова М.С., Чудакова Д.В.</i> Источники углерода при формировании икаита в донных отложениях моря Лаптевых	68
<i>Кудрявцева Е.А., Саввичев А.С., Александров С.В., Канапацкий Т.А., Пименов Н.В.</i> Зависимость между бактериопланктоном и условиями среды в Гданьском бассейне Балтийского моря	72
<i>Кукина С.Е., Ветров А.А.</i> Биогеохимия донных отложений отделяющихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря	75
<i>Леонов А.В., Подгорный К.А.</i> Биотрансформация форм азота, фосфора и динамика кислорода в водах Невской губы: анализ результатов математического моделирования	80
<i>Леонова Г.А., Кодратьева Л.М., Богуш А.А., Бобров В.А., Мальцев А.Е.</i> Распределение C_{org} по глубине керна сапропеля оз. Духовое как отражение анаэробного распада органического вещества в раннем диагенезе	85
<i>Литвиненко И.В., Петрова В.И., Гусев Е.А.</i> Органическое вещество в истории плиоцен-четвертичного осадконакопления в Чукотском море (по результатам неглубокого бурения)	90
<i>Лобус Н.В., Пересыпкин В.И., Шульга Н.А., Комов В.Т., Смуров А.В.</i> Роль терригенного органического материала в поступлении ртути в донные отложения разреза река-эстуарий-море (на примере реки Кай и залива Нячанг Южно-Китайского моря)	95
<i>Максимова М.П.</i> Интегральная оценка функционирования морских экосистем на гидробиогеохимическом уровне. Проблематика, методология и методика	100
<i>Мальцев А.Е., Леонова Г.А., Богуш А.А., Бобров В.А.</i> Особенности химического состава поровых вод из керна донных отложений оз. Духовое (Южное Прибайкалье)	105
<i>Мамаева Е.В., Сулова М.Ю., Павлова О.Н., Липко И.А., Парфенова В.В., Земская Т.И.</i> Разнообразие культивируемого и природного микробного сообщества донных осадков шельфа Карского моря	110

<i>Матвеева Т.В.</i> Связь газогидратообразования в очагах разгрузки флюидов с аномальными гидрохимическими разрезами	113
<i>Моргунова И.П., Петрова В.И., Литвиненко И.В., Черкашёв Г.А.</i> Угледородные маркеры в осадочных отложениях гидротермального поля «Семенов» (САХ, 13°с.ш.)	116
<i>Нерода А.С., Мишуков В.Ф., Горячев В.А.</i> Радиоактивные изотопы в составе атмосферных аэрозолей над Владивостоком в Марте- Июне 2011 г.	121
<i>Овсеян А.Э.</i> Особенности накопления ртути в одном из элементов биогеохимического цикла - гидробионтах устья реки Северная Двина	126
<i>Пересыпкин В.И., Смуров А.В., Лобус Н.В., Шульга Н.А., Банг Ч.В.</i> Состав органического вещества донных осадков на разрезе река–море в заливе Нячанг (Южно-Китайское море, 2010 г)	131
<i>Петрова В.И.</i> Молекулярная геохимия рассеянного органического вещества (РОВ) донных осадков Мирового океана: достижения и перспективы	136
<i>Розанов А.Г., Черевко И.В.</i> Исследование химического обмена на границе вода-дно (опыт участия в шведской экспедиции с лендерами)	140
<i>Русанов И.И., Засько Д.Н., Захарова Е.Е., Федотов Д.В., Абдуллин Р.Р., Пименов Н.В.</i> Микробная продукция и трансформация растворенного органического вещества на гидротермальных полях Менез Гвен и Лост Сити	145
<i>Русанов И.И., Засько Д.Н., Захарова Е.Е., Федотов Д.В., Абдуллин Р.Р., Пименов Н.В.</i> Продукция растворенного органического вещества при микробном окислении метана в гидротермальных системах	150
<i>Савенко А.В., Стрелецкая И.Д.</i> Новые данные о распределении растворенных фосфатов и кремния в эстуарии Енисея и на прилегающей акватории	154
<i>Стунжас П. А., Виноградова Е.Л.</i> Кремний в воде и осадках Северного Ледовитого океана	159
<i>Титова К.В., Кокрятская Н.М.</i> Реакционноспособное железо в воде и донных осадках малых озер водосборного бассейна Белого моря	162

<i>Ульянцев А.С., Романкевич Е.А.</i> Современные подходы к изучению коллоидного органического вещества океана	167
<i>Филатова Т.Б.</i> Особенности режима биогенных веществ в водах Керченского пролива	172
<i>Чупаков А.В., Морева О.Ю., Покровский О.С.</i> Биогенный и микроэлементный (К, Cr, Mn, Fe, Co, As, Rb, Sr, Zr) режим озера Светлое (водосборный бассейн Белого моря)	176
<i>Шулькин В.М., Жабин И.А.</i> Влияние вариаций химического состава стока р. Амур и процессов в Амурском лимане на биогеохимию железа в прилегающей акватории Охотского моря	181
<i>Nasr S.M., El Eskandrani M., El Gamal Sh.M.M.</i> Geocemical and granulometric normalization for heavy metals in bottom sediments of Eastern harbour, Alexandria, Egypt	186

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

<i>Асавин А.М., Константинова Л.И., Мартынов К.В., Захарова Е.В.</i> Оценка сорбционных свойств железомарганцевых корок в отношении радионуклидов	194
<i>Владимиров М.В., Холмянский М.А., Иванов Г.И.</i> Подводная объектология – новое направление в морской геологии	197
<i>Горюнова Н.В.</i> Количественное распределение и состав нерастворимых частиц в снежно-ледовом покрове в окрестностях заливов Ис-фьорд и Гронфьорд, арх. Шпицберген	200
<i>Даувальтер В.А., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С.</i> Химический состав донных отложений озер Севера Фенноскандии	203
<i>Денисов В.И.</i> Макро- и микроэлементный состав поверхностного слоя донных осадков в районе Керченского предпроливья Черного моря	208
<i>Емельянов В.А., Прохорова Л.А.</i> Геодинамическая подгруппа геолого-экологических условий северо-западной части континентального склона Черного моря	213
<i>Иванов М.В., Калинин В.В., Астахов А.С.</i> РтутOMETрические исследования воздуха, воды и донных осадков в 54 рейсе (май-июнь 2011 г.) НИС «Академик М.А. Лаврентьев»	217

<i>Колесник А.Н., Колесник О.Н.</i> Свинец и цинк в поверхностном слое донных осадков Чукотского моря и сопредельных акваторий	222
<i>Комлева Е.В.</i> Информация к размышлению: геологические, экологические и политические аспекты хранения и захоронения ядерных материалов	227
<i>Коновалова Т.Г., Полосина Ю.Е.</i> Распределение взвешенного материала в мониторинговом районе у нефтедобывающей платформы Д-6, Юго-Восточная Балтика	232
<i>Коробов В.Б., Хоменко Г.Д.</i> Применение экспертных технологий для разработки некоторых составляющих схемы экологического мониторинга гидротехнических сооружений	237
<i>Коробов В.Б., Середкин К.А., Тутыгин А.Г.</i> О применении метода аналитических сетей в задачах геоэкологии	241
<i>Кравцов В.А., Емельянов Е.М., Коновалова Т.Г.</i> Распределение тяжелых металлов (Cu, Cd, Pb, Cr, Hg) в донных осадках юго-восточной Балтики и оценка степени их загрязнения (по результатам мониторинга 2003-2010 гг.)	245
<i>Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А.</i> Изучение хронологии аккумуляции нефтяных компонентов в донных отложениях Азовского моря и Нижнего Дона с использованием радиоизотопов как трассеров	250
<i>Курилов П.И., Круглякова Р.П., Савицкая Н.И.</i> Оценка экологического состояния акваторий по формам нахождения тяжелых металлов в донных осадках	255
<i>Мойсейченко Г.В., Борисенко Г.С.</i> Экоотоксикологическая оценка воздействия на среду и биоту масштабного гидротехнического строительства в прибрежной зоне Японского и Охотского морей	260
<i>Немировская И.А., Сивков В.В., Реджепова З.Ю.</i> Содержание и состав углеводородов во взвеси и донных осадках в районе Кравцовского месторождения в Балтийском море (лето 2011 г.)	264
<i>Никулин В.В., Слободян Е.А.</i> Эколого-геохимическая характеристика донных осадков Куяльницкого лимана (Одесская область)	269
<i>Паршин А.В.</i> ГИС-обеспечение государственного мониторинга водной среды озера Байкал в 2010-2011 гг.	272

<i>Петрига А.А., Пелевин В.В., Фазлуллин С.М.</i> Исследование взвесенесущих потоков в прибрежной зоне моря на основе лабораторных экспериментов и натурных наблюдений (на примере р. Мзымты, Краснодарский край)	275
<i>Савенко А.В., Покровский О.С.</i> Миграция растворенных веществ в устье р. Серебрянки, впадающей в Японское море	278
<i>Синицына Н.Н.</i> Неразрывность связи распределения частиц примеси в пространстве с их движением в толще вод	283
<i>Федоров Ю.А., Овсеян А.Э., Зимовец А.А.</i> Ртуть в осадках устьевой области реки Северная Двина	288
<i>Федорова Н.К., Рыбалко А.Е.</i> Особенности формирования геохимической структуры донных отложений и придонных вод восточной части Финского залива	292
Алфавитный указатель	297

CONTENTS

Biogeochemical processes in the seas and oceans

<i>Baturin G.N., Emelyanov E.M.</i> Geochemistry of carbonaceous sediments of the Baltic Sea	4
<i>Belevich T.A., Semenova V.S., Ilyash L.V.</i> Coastal phytoplankton near walrus haulout in the Chukchi Sea	9
<i>Bobrov V.A., Bogush A.A., Leonova G.A., Krasnobaev V.A.</i> Anomalous Concentrations of Zinc and Copper in Highmoor Peat Vydrinaya Bog (Southeast Coast of Lake Baikal)	14
<i>Bogush A.A., Leonova G.A., Bobrov V.A., Kuzmina A.E., Krivonogov S.K., Anoshin G.N., Tikhova V.D.</i> Features of biomineralization in peat and sapropel at the Baikal region	19
<i>Garkusha D.N., Fedorov Yu.A.</i> Methane in the bottom sediments of the Sea of Azov and the Don River mouth area	23
<i>Gursky Yu.N., Rozanov A.G., Gudkova E.A.</i> The behavior of chemical elements of the Black Sea sediments to the facies profile to the south of the Kerch Strait	28
<i>Demina L.L., Oskina N.S.</i> Trace metals and carbonate biomineralization (the Atlantic foraminiferal assemblages as an example)	33
<i>Demina L.L., Martynova D.M., Budko D.F.</i> About factors that control the trace metal bioaccumulation in marine ecosystems	38
<i>Denisov V.I., Chernousov S.Y.</i> Heavy metals in the mussels of the Eastern Black Sea coast	43
<i>Dotsenko I.V., Fedorov Yu.A., Mikhailenko A.V.</i> The mussels communities and their role in the transformation of mercury's flow in the Azov Sea	48
<i>Zernova V.V., Domanov M.M., Melnikova Z.G., Pautova L.A.</i> Characteristic features of phytoplankton distribution in Gdansk and Finland bays of the Baltic Sea in summer 2010	52
<i>Kokryatskaya N.M., Zabelina S.A., Titova X.V., Chupakov A.V., Vorontsova O.N., Filina K.V.</i> Biogeochemical studies of stratified lakes of the River Svetlaya (the catchment area of the White Sea)	58
<i>Krikun E.D., Dubinin A.V.</i> Trace element and REE geochemistry of the Angola Basin sediments	63
<i>Krylov A.A., Logvina E.A., Matveeva T.V., Sapega V.F., Demidova A.L., Paramonova M.S., Chudakova D.V.</i> Sources of the	

carbon for Ikaite formation in the bottom sediments of the Lap- tev Sea	68
<i>Kudryavtzeva E.A., Savvichev A.S., Aleksandrov S.V., Kana- patskiy T.A., Pimenov N.V.</i> The dependence between bacterial component and environmental condition of the Gdansk Basin (the Baltic Sea)	72
<i>Kukina S.E., Vetrov A.A.</i> Biogeochemistry of sediments from separating basins of Kandalaksha Bay of the White Sea	75
<i>Leonov A.V., Podgornyy K.A.</i> Biotransformation of nitrogen and phosphorus forms and oxygen dynamics in Neva Bay wa- ters: analysis of mathematical model simulation	80
<i>Leonova G.A., Kondrateva L.M., Bogush A.A., Bobrov V.A., Maltcev A.E.</i> Distribution of organic carbon in sapropel of Du- hovoe Lake as a reflection of the anaerobic decomposition of organic matter in the early diagenesis	85
<i>Litvinenko I., Petrova V., Gusev E.</i> Organic matter in history of Pliocene-Quaternary sedimentation in the Chukchi Sea (results of shallow drilling)	90
<i>Lobus N.V., Peresypkin V.I., Shulga N.A., Komov V.T., Smurov A.V.</i> The role of terrestrial organic material in the flow of mer- cury in the sediments of the section of river-estuary-sea (for example, the Cai river and Nha Trang Bay, South China Sea)	95
<i>Maksimova M.P.</i> The integral evaluation of functioning of the ecosystem of seas on the gidrobiogeochemical level. The prob- lematic, methodology and method	100
<i>Maltcev A.E., Leonova G.A., Bogush A.A., Bobrov V.A.</i> Fea- tures of the chemical composition of the pore water from sedi- ment of Duhovoe Lake (Southeast of Baikal Lake)	105
<i>Mamaeva Ye.V., Suslova M. Yu., Pavlova O.N., Lipko I.A., Parfenova V.V., Zemskaya T.I.</i> Biodiversity of cultivated and total microbial community sediment Kara Sea shelf	110
<i>Matveeva T.V.</i> Association of gas hydrate formation in fluid discharges with anomalous hydrochemical profiles	113
<i>Morgunova I.P., Petrova V.I., Litvinenko I.V., Cherkashev G.A.</i> Hydrocarbon markers in the bottom sediments of the hydro- thermal field "Semenov" (MAR, 13°N)	116
<i>Neroda A.S., Mishukov V.F., Goryachev V.A.</i> Radioactive iso- topes in atmosphere aerosols over Vladivostok in March- June 2011	121

<i>Ovsepyan A.E.</i> Features of the accumulation of mercury in one of the of the biogeochemical cycle elements – hydrobionts at the mouth of the Northern Dvina River	126
<i>Peresyipkin V.I., Smurov A.V., Lobuc N.V., Shulga N.A., Bang Ch.V.</i> Composition of organic matter in sediment on the cut of the river - sea in the gulf Nha Trang (South China Sea, 2010)	131
<i>Petrova V.I.</i> Molecular geochemistry of organic matter of the bottom sediments of the World Ocean: achievements & prospects	136
<i>Rozanov A.G., Cherevko I.V.</i> Study of chemical exchange on the bottom water-sediment interface (case-study in the Swedish expedition with landers)	140
<i>Rusanov I.I., Zasko D.N., Zakharova E.E., Fedotov D.V., Abdullin R.R., Pimenov N.V.</i> Microbial production and transformation of dissolve organic composition to the Menez Gwen and Lost Sity hydrothermal systems	145
<i>Rusanov I.I., Zasko D.N., Zakharova E.E., Fedotov D.V., Abdullin R.R., Pimenov N.V.</i> Production of dissolve organic composition by microbial methane oxidation to the hydrothermal systems	150
<i>Savenko A.V., Streletskaia I.D.</i> New data about distribution of dissolved phosphates and silica in the Yenisei River estuary and adjacent water area	154
<i>Stunzhas P., Vinogradova E.</i> Silica in the Arctic water and sediment	159
<i>Titova X.W., Kokryatskaya N.M.</i> Reactive iron in the water and sediments of small lakes in the catchment area of the White Sea	162
<i>Ulyantsev A.S., Romankevich E.A.</i> Contemporary approach to the investigation of the marine colloidal matter	167
<i>Filatova T.B.</i> The peculiarities of Biogenic Matters Conditions of thKerch Strait	172
<i>Chupakov A.V., Moreva O.Yu., Pokrovsky O.S.</i> Nutrients and traces elements (K, Cr, Mn, Fe, Co, As, Rb, Sr, Zr) of Lake Svetloe (the catchment area of the White Sea)	176
<i>Shulkin V.P., Zhabin I.A.</i> The influence of Amur River runoff and processes in Amur Liman on the biogeochemistry of iron at the adjacent Okhotsk Sea area	181

<i>Nasr S.M., El Eskandrani M., El Gamal Sh.M.M.</i> Geochemical and granulometric normalization for heavy metals in bottom sediments of Eastern harbour, Alexandria, Egypt	186
---	-----

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

<i>Asavin A.M., Konstantinova L.I., Martynov K.V., Zakharova E.V.</i> Experimental estimation of adsorption feature of Fe-Mn crust as natural substance for radionuclide sorbent	194
<i>Vladimirov M.V., Kholmyansky M.A., Ivanov G.I.</i> Underwater objectology as a new direction in marine geology	197
<i>Goryunova N.V.</i> Quantitative distribution and composition of particulate matter in snow-ice cover in vicinity of Is-fjord and Gronfjord areas, Svalbard archipelago	200
<i>Dauvalter V.A., Kashulin N.A., Sandimirov S.S.</i> Chemical composition of lake sediments of North Fennoscandia	203
<i>Denisov V.I.</i> Macro- and Microelements' Composition of the Black Sea Bottom Sediments' Superficial Layer near the Strait of Kerch	208
<i>Emelianov V.A., Prokhorova L.A.</i> Geodynamic subgroup of geology-environment conditions of the north-western part of the continental slope of the Black Sea	213
<i>Ivanov M.V., Kalinchuk V.V., Astakhov A.S.</i> Mercury investigation air, water and bottom sediments	217
<i>Kolesnik A.N., Kolesnik O.N.</i> Lead and zinc in surface layer of bottom sediments from the Chukchi Sea and adjacent areas	222
<i>Komleva E.</i> Pabulum for reflection: geological, ecological and political aspects of depository and repository of nuclear materials	227
<i>Konovalova T.G., Polosina Y.E.</i> Distribution of particulate suspended matter (PSM) in monitoring area near the oil platform D-6, South-Eastern Baltic	232
<i>Korobov V.B., Khomenko G.D.</i> The use of expert technologies to develop the some components of the scheme of environmental monitoring of hydraulic structures	237
<i>Korobov V.B., Seryodkin K.A., Tutigin A.G.</i> About using analytical network method for geoecological tasks	241

<i>Kravtsov V.A., Emelyanov E.M., Konovalova T.G.</i> Distribution of heavy metals (Cu, Cd, Pb, Cr, Hg) in the bottom sediments of the south-eastern Baltic and the estimation of its contamination (data of monitoring 2003-2010)	245
<i>Kuznetsov A.N., Fedorov Yu.A.</i> The study of chronology of the oil components' accumulation in the Sea of Azov and the Lower Don bottom sediments using the radioisotopes as tracers	250
<i>Kurilov P.Y., Kruglyakova R.P., Savitskaja N.I.</i> The estimation of the ecological conditions of water areas by of mobile forms of heavy metals in the bottom sediments	255
<i>Moyseychenko G.V., Borisenko G.S.</i> Ecotoxicological estimation of impact on the environment and biological populations within the large hydrotechnical construction in the coastal zone of the Japan and the Okhotsk seas	260
<i>Nemirovskaya I.A., Sivkov V.V., Redzhepova Z.Yu.</i> Content and composition of hydrocarbons in the suspended matter and bottom sediments in the region of Kravchovsky oilfield of the Baltic Sea (summer 2011)	264
<i>Nikulin V.V., Slobodyan K.A.</i> The ecology-geochemical characteristics of bottom sediments of leman Kuyalnik (Odessa region)	269
<i>Parshin A.V.</i> GIS-providing for state aquatic monitoring of Lake Baikal in 2010-2011	272
<i>Petriga A.A., Pelevin V.V., Fazlullin S.M.</i> Turbidity currents research in coastal zone of a sea based on laboratory experiments and field observations (Mzymta River, Krasnodar Region)	275
<i>Savenko A.V., Pokrovsky O.S.</i> Migration of dissolved substances in mouth of the Serebryanka River discharging into the Japan Sea	278
<i>Sinitsina N.N.</i> Indissoluble tie of admixture particles spatial distribution with their motion in the water layer	283
<i>Fedorov Yu.A., Ovsepyan A.E., Zimovec A.A.</i> The mercury in precipitations of the mouth region's river North Dvina	288
<i>Fedorova N.K., Rybalko A.E.</i> Features of formation of the geochemical structure of the bottom sediments and near-bottom waters in the Eastern Gulf of Finland	292

Научное издание

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

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

Москва, 14–18 ноября 2011 г.

Том IV

Подписано к печати 30.09.2011.

Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная № 1,80 г/м²

Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Уч.-изд. 19,5 л. Тираж 400 экз.

ООО “Издательство ГЕОС”

125315, Москва, 1-й Амбулаторный пр., 7/3-114.

Тел./Факс: (495) 959-35-16, (499) 152-19-14, 8-926-222-30-91.

E-mail: geos-books@yandex.ru, www.geos-books.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета в ПИК “Идел-Пресс”
420066, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Декабристов, 2.