РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН
ФГУНПП «СЕВМОРГЕО»

ГЕОЛОГИЯ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии

Москва, 16–20 ноября 2009 г.

Том IV

Москва
ГЕОС
2009

ББК 26.221
Г35
УДК 551.35

Геология морей и океанов: Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. – М.: ГЕОС, 2009. – 345 с.
ISBN 978-5-89118-479-4

В настоящем издании представлены доклады морских геологов, геофизиков, геохимиков и других специалистов на XVII 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 09-05-06029), ФГУНПП «Севморгео», 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 XVIII 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

ББК 26.221
© ИО РАН 2009

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МОРЯХ И ОКЕАНАХ

В.А. Алексеенко
(НИИ Геохимии биосферы ЮФУ, e-mail: geohimbio@mail.ru)

Особенности накопления ряда металлов прибрежными морскими водорослями Черноморского побережья России

V.A. Alekseenko
(Research Institute of Geochemistry of the biosphere SFU)

Features of the accumulation of some metals coastal marine algae of the Black Sea coast of Russia

Установление особенностей накопления ряда металлов, в том числе особо токсичных при высоких содержаниях, имеет довольно большое не только научное, но и практическое значение. Последнее объясняется рядом причин, из которых отметим две к настоящему времени основные:

1 - водоросли все в большей мере используются при изготовлении лекарств и ряда продуктов питания; 2 - по биогеохимическим и геоботаническим особенностям водорослей в ряде регионов, в том числе изучаемом наиболее перспективна оценка экологического состояния прибрежных ландшафтов. Отметим, что рассматриваемый регион относится к основным курортным зонам страны, а планируемая олимпиада в Сочи приведет к увеличению числа отдыхающих и туристов с требованиями информации об экологическом состоянии побережья.

При написании данной работы использовались материалы исследований, проводимых начиная с 1997 г. Пробы водорослей отбирались с глубин 1,3–2,0 м по всей прибрежной зоне России. При этом отмечалось развитие (или отсутствие) их отдельных видов. После отбора все пробы тщательно промывались, высушивались и озолялись. Анализ золы всех проб проводился в одной аттестованной и аккредитованной лаборатории. Контроль анализов показал хорошую и реже – удовлетворительную сходимость результатов.

Изучению подвергались 10 видов водорослей, встречающихся в прибрежных аквальных ландшафтах региона. В таблице 1 приведены сведения о распространенности в водорослях ряда металлов. Всего изучено более 20 элементов (Полные данные о распространенности всех элементов в 11 видах водорослей по Черноморскому побережью и в крупнейшей, Цемесской бухте приведены в [1].

В числе рассмотренных есть как наиболее используемые, обычно образующие в настоящее время крупные техногенные аномалии (Co, Mn, Pb, Zn), и находящихся в земной коре от 0,1%(Mn) до $1,6 \cdot 10^{-3}$ % (Pb), так и редко используемые (Be, Sr, Yb, Zr) с содержанием в земной коре от 34 (Sr) до 0,03 ($n \cdot 10^{-3}$%) (Yb).

Таблица 1

Средние содержания ряда металлов ($n \cdot 10^{-3}$ %) в золе водорослей с вероятностью 95% (Алексеенко В.А. 2006)

Черноморское побережье России									
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Водоросли	Все виды побережья	Цистозира (Cystoseira barbata)	Падина (Padina pavonia)	Энтероморфа(Enteromorpha intestinalis)	Кладофора(Cladophora)	Гелидиум (Gelidium latifolium)	Церамиум (Ceramium)	Каллитамнион (Callithamnion)	Лауренция(Laurencia)
Ba	$\frac{46 \pm 2^*}{300-10}$	$\frac{61 \pm 3^*}{200-20}$	$\frac{49{,}1 \pm 4{,}4^*}{100-30}$	$\frac{33{,}5 \pm 3^*}{150-20}$	$\frac{42 \pm 7^*}{20-300}$	$\frac{32{,}3 \pm 4{,}6^*}{10-150}$	$\frac{38{,}6 \pm 4^*}{20-80}$	$\frac{36{,}3 \pm 13^*}{20-100}$	$\frac{45 \pm 13^*}{30-60}$
Cr	$\frac{2{,}8 \pm 0{,}3}{100-0{,}2}$	$\frac{2{,}9 \pm 0{,}4}{50-0{,}5}$	$\frac{2{,}3 \pm 1{,}4}{30-0{,}6}$	$\frac{2 \pm 1{,}3}{100-0{,}2}$	$\frac{2 \pm 0{,}5}{0{,}5-20}$	$\frac{2 \pm 3{,}1}{0{,}3-100}$	$\frac{2 \pm 0{,}6}{0{,}5-15}$	$\frac{2{,}3 \pm 1{,}59}{0{,}6-10}$	$\frac{1{,}5 \pm 1{,}4}{0{,}6-5}$
Cu	$\frac{5{,}1 \pm 0{,}8}{300-1{,}5}$	$\frac{4{,}6 \pm 0{,}2}{30-2}$	$\frac{3{,}1 \pm 0{,}4}{10-1}$	$\frac{4{,}2 \pm 0{,}2}{10-1}$	$\frac{6{,}1 \pm 4}{2-200}$	$\frac{5 \pm 0{,}3}{3-10}$	$\frac{9{,}5 \pm 4{,}5}{1-300}$	$\frac{4{,}2 \pm 0{,}5}{3-5}$	$\frac{1{,}2 \pm 0{,}8}{3-5}$
Mn	$\frac{87 \pm 5}{1000-20}$	$\frac{69 \pm 5}{300-20}$	$\frac{97 \pm 12}{200-30}$	$\frac{77 \pm 8}{300-20}$	$\frac{75 \pm 9}{20-200}$	$\frac{105{,}6 \pm 31}{40-600}$	$\frac{164 \pm 44}{50-1000}$	$\frac{150 \pm 76}{30-500}$	$\frac{55 \pm 16}{20-80}$
Ni	$\frac{2{,}6 \pm 0{,}1}{30-0{,}2}$	$\frac{3 \pm 0{,}3}{30-1{,}15}$	$\frac{2 \pm 1}{20-0{,}6}$	$\frac{2 \pm 0{,}2}{10-0{,}6}$	$\frac{1{,}5 \pm 0{,}2}{0{,}3-10}$	$\frac{2{,}4 \pm 0{,}3}{1-10}$	$\frac{2 \pm 0{,}3}{1-8}$	$\frac{1{,}5 \pm 0{,}4}{0{,}3-3}$	$\frac{2 \pm 1}{0{,}5-3}$
P	$\frac{536 \pm 42}{1000-60}$	$\frac{540 \pm 69}{1000-100}$	$\frac{400 \pm 124}{600-200}$	$\frac{591 \pm 96}{1000-60}$	$\frac{484 \pm 100}{100-1000}$	$\frac{510 \pm 137}{200-1000}$	$\frac{660 \pm 246}{100-1000}$	$\frac{600 \pm 0}{600}$	н/д.

Продолжение таб. 1

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Pb	$\frac{1,5 \pm 0,1}{30 - 0,3}$	$\frac{1,9 \pm 0,3}{30 - 0,3}$	$\frac{0,9 \pm 0,2}{4 - 0,6}$	$\frac{1,2 \pm 0,1}{5 - 0,6}$	$\frac{1,4 \pm 0,2}{0,6 - 8}$	$\frac{1,2 \pm 0,4}{0,6 - 8}$	$\frac{1,2 \pm 0,2}{0,6 - 2}$	$\frac{1,1 \pm 0,3}{0,6 - 2}$	$\frac{1,3 \pm 0,8}{0,6 - 3}$
Sr	$\frac{329 \pm 22}{1000 - 30}$	$\frac{624 \pm 36}{1000 - 60}$	$\frac{682 \pm 79}{1000 - 200}$	$\frac{108 \pm 15}{1000 - 30}$	$\frac{122 \pm 18}{30 - 500}$	$\frac{106 \pm 14}{50 - 300}$	$\frac{109 \pm 23}{60 - 500}$	$\frac{123 \pm 38,5}{30 - 200}$	$\frac{158 \pm 64}{100 - 300}$
Ti	$\frac{55 \pm 3,1}{300 - 5}$	$\frac{61,3 \pm 6}{200 - 10}$	$\frac{66 \pm 19}{300 - 30}$	$\frac{34 \pm 6}{200 - 10}$	$\frac{42 \pm 8}{10 - 200}$	$\frac{42 \pm 7}{20 - 200}$	$\frac{43 \pm 12}{20 - 300}$	$\frac{54 \pm 29,5}{30 - 200}$	$\frac{25 \pm 7}{10 - 30}$
V	$\frac{0,7 \pm 0,08}{15 - 0,1}$	$\frac{0,9 \pm 0,08}{5 - 0,3}$	$\frac{0,7 \pm 0,2}{3 - 0,3}$	$\frac{0,7 \pm 0,04}{6 - 0,1}$	$\frac{0,7 \pm 0,15}{0,3 - 5}$	$\frac{0,7 \pm 0,1}{0,3 - 3}$	$\frac{0,8 \pm 0,1}{0,5 - 3}$	$\frac{0,8 \pm 0,3}{0,3 - 2}$	$\frac{0,6 \pm 0,2}{0,3 - 1}$
Zn	$\frac{6 \pm 0,4}{100 - 1,5}$	$\frac{7 \pm 0,9}{30 - 1,5}$	$\frac{4,5 \pm 0,9}{15 - 3}$	$\frac{5,1 \pm 0,6}{30 - 2}$	$\frac{3,5 \pm 0,2}{2 - 8}$	$\frac{9,1 \pm 3,1}{3 - 100}$	$\frac{58 \pm 1,6}{3 - 30}$	$\frac{4,2 \pm 0,7}{3 - 6}$	$\frac{4,5 \pm 1,3}{2 - 6}$
Zr	$\frac{2 \pm 0,2}{20 - 0,5}$	$\frac{1,4 \pm 0,2}{8,33 - 0,5}$	$\frac{3,2 \pm 1,2}{15 - 0,5}$	$\frac{1,6 \pm 0,6}{20 - 0,5}$	$\frac{1,6 \pm 0,6}{0,5 - 10}$	$\frac{1 \pm 0,2}{0,5 - 3}$	$\frac{1,7 \pm 1,1}{0,6 - 10}$	$\frac{0,7 \pm 0,2}{0,5 - 1}$	$\frac{0,6 \pm 0}{0,6}$

*В числителе среднее содержание с вероятностью 95%, в знаменателе максимальное и минимальное содержания.

Рассматривая обобщенные средние содержания металлов для всех водорослей побережья, отметим, что концентрации элементов в золе водорослей в целом согласуются с закономерностями концентрации элементов в живом веществе и в частности с распространенностью элементов в земной коре. Так пять из рассматриваемых элементов, наиболее распространенных в водорослях (Ti, Mn, P, Ba, Sr), относятся и к распространенным в земной коре. Однако прямого соответствия нет: по уменьшению содержаний в земной коре они располагаются так Ti(450)-Mn(100) – P(93) – Ba(65) – Sr(34), а в золе водорослей – P(536)- Sr(329)-Mn(86)- Ti(55)- Ba(46) (все в $n \cdot 10^{-3}$ %). Аналогично располагаются и элементы с содержанием $n \cdot 10^{-3}$ - $n \cdot 10^{-2}$ %: в земной коре – Zr-V-Zn-Cr-Ni-Cu-Li; в водорослях – Zn-Cu-Cr-Ni-Li-Zr.

Концентрация элементов в водорослях также во многом определяется видовым составом. Средние содержания практически всех металлов часто изменяются в несколько раз в зависимости от вида водорослей (табл.).

Содержание в водорослях металлов изменяется (увеличивается и уменьшается) и от эколого-геохимической обстановки в среде произрастания. Разница содержаний с вероятностью 95% может изменяться в 1,5-2,0 раза. Это позволяет рекомендовать биогеохимическую оценку для выявления зон загрязнения прибрежных аквальных ландшафтов.

Изменение обстановки в среде произрастания сказывается не только на биогеохимических, но и на геоботанических особенностях водорослей.

В зонах с наиболее чистыми водами широкое развитие получила падина, исчезающая при загрязнении. Энтероморфа развивается в загрязненных водах.

1. Алексеенко В.А. Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие и оценка. – М.: Университетская книга.- 2006.-с.518

We discuss the average concentration of several metals in the algae, patterns of concentration due to the overall prevalence of elements, differences in species composition of algae, the state of the environment. The last thing is geobotanical changes.

В.В. Аникиев[1], А.А.Павлов[2]
([1]Российская Экологическая Независимая Экспертиза e-mail: Anikiev@mail.ru,
[2]Российский государственный технологический университет)

Формирование химического состава аэрозолей в воздухе г.Владивосток (Россия) и г.Саппоро (Япония)

V.V. Anikiev[1], A.A. Pavlov[2]
([1]Russian Ecological Independent Expertise, Moscow, Anikiev@mail.ru, [2]Russian Statement Technological University)

Chemical composition' formation of aerosols over Vladivostok and Sapporo

Введение

В связи с возможностью подписания Россией Конвенции Эспо об ответственности за трансграничный перенос загрязняющих веществ вместе с воздушными массами необходимы исследования по оценке их миграции в муссонном климате[1]. В настоящей работе приводятся результаты наблюдений за концентрацией металлов (щелочных, щелочноземельных, редкоземельных и тяжелых) в аэрозолях двух городов, расположенных на расстоянии 700 км на одной параллели: г. Владивосток (Россия) и г. Саппоро (Япония) в течение 1 года (1989 – 1990 г.г.).

Результаты экспериментальных данных представлены в двух таблицах, соответствующих распределению щелочных, щелочноземельных, литофильных и редкоземельных элементов, с одной стороны (табл. 1) и группы тяжелых металлов (табл. 2) – с другой.

Табл. 1. Концентрации щелочных, щелочно-земельных, литофильных и редкоземельных металлов в аэрозолях г. Владивосток и г. Саппоро (10^{-9} г/м^3)

№/№ элементы	Среднегодовая концентрация (n=46)		Минимальное значение		Максимальное значение	
	1	2	1	2	1	2
1. Щелочные						
1. Na	1258,7	1275,9	427,0	399,0	3275,0	325,3
2. K	910,0	355,5	47,0	62,0	2995,0	1142,0
3. Rb	0,94	0,16	0,13	0,04	2,8	0,6
4. Cs	14,7	1,24	0,3	0,2	72,0	4,2
2. Щелочноземельные						
1. Mg	572,2	414,3	136,0	48,0	2482,0	1035,0
2. Ca	2229,7	719,4	654,0	470	5602,0	1794,0
3. Sr	14,8	5,3	4,0	1,1	85,8	14,2
4. Ba	32,8	9,5	3,0	1,6	109,0	270
3. Литофильные						
1. Al	3361,7	978,1	1020,0	142,0	10890,	2740,0

2. Ti	108,5	26,4	17,0	5,0	0	93,0
3. Sc	2,7	0,3	0,27	0,08	420,0	0,97
4. Редкоземельные						
1. La	2,4	0,56	0,5	0,01	12,0	2,0
2. Ce	5,7	0,74	1,6	0,16	7,4	1,55
3. Sm	0,5	0,12	0,05	0,01	20,4	0,35
4. Eu	0,08	0,036	0,018	0,005	2,6	0,15
5. Tb	0,04	0,06	0,008	0,002	0,3	0,28
6. Yb	0,07	0,08	0,04	0,015	0,052	0,34

1 – г. Владивосток; 2 – г. Саппоро

Как следует из данных табл.1 и 2 разница между максимальными и минимальными концентрациями значениями во внутригодовой изменчивости химических элементов в аэрозолях достигает более 1 порядка.

Из сопоставления среднегодовых данных для г. Владивосток и г. Саппоро можно заключить, что одинаковые значения имеют место только для Na, который является представителем океанских аэрозолей [2].

Для всех остальных элементов из табл. 1 в г. Саппоро наблюдается уменьшение химических элементов в аэрозолях в 3-5 раз, как следствие сокращения поступления терригенного материала в атмосферу о. Хоккайдо.

Табл. 2. Концентрация тяжелых металлов в аэрозолях г. Владивосток и г. Саппоро (10^{-9} г/м^3)

№/№ элементы	Среднегодовая концентрация (n=46)		Минимальное значение		Максимальное значение	
	1	2	1	2	1	2
1. Fe	2236,3	842,9	746,0	154,0	7387,0	2225,0
2. Mn	45,9	36,2	13,0	5,0	117,0	500,0
3. Cr	13,7	20,2	2,7	0,7	54,0	319,5
4. Co	1,0	0,48	0,22	0,14	2,59	2,46
5. Ni	15,1	6,28	1,8	1,0	96,5	27,0
6. Cu	13,2	8,1	3,7	1,0	75,3	35,0
7. Zn	119,3	55,5	9,0	9,0	669,0	144,0
8. Cd	1,0	0,37	0,2	0,05	3,6	1,25
9. Pb	114,1	10,1	22,0	2,0	310,0	31,0
10. U	13,3	-	2,3	-	32,1	-

Аналогичная картина имела место и для тяжелых металлов, где концентрации всех элементов в г. Саппоро были в 2-10 раз ниже, чем в г. Владивосток.

Для подтверждения связи между отдельными элементами были рассчитаны коэффициенты корреляции, при значимой величине равной 0,5 [3].

Оказалось, что в г. Владивосток и г. Саппоро существует ряд групп элементов, связанных с Fe и литофильными элементами (табл. 3).

Табл. 3. Корреляционная связь между химическими элементами в аэрозолях г. Владивостока и г. Саппоро

№/№ Элемент имеющий множественную корреляционные связи	г. Владивосток	г. Саппоро
1. Fe	K, Cs, Mg, Ca, Ba, Co, Pb	Mg, Sr, Ba
2. Al	La, Eu	Sc, Ba, La, Eu
3. Sc	La, Ce, Eu	La, Ce, Eu, Yb
4. Ti	Sm, Tb, Yb	Eu

В целом можно считать, что редкоземельные элементы мигрируют в одинаковой форме с литофильными (Sc, Ti, Al и Fe).

Связь Fe с щелочными и щелочно-земельными элементами в г. Владивосток возможно связана с производством цемента в г. Спасске и выбросами Co и Pb на этом же предприятии [4].

В г. Саппоро связь Fe с щелочноземельными элементами обусловлена только со строительной пылью, что следует из отсутствия связи с Fe другими элементами в аэрозолях.

Следует также отметить тот факт, что на о. Хоккайдо корреляционная связь Al и Sc связана с большим количеством редкоземельных элементов.

Для дальнейшей интерпретации данных были использованы методы математической статистики, которая позволяет идентифицировать характер их распределения в обоих городах и закономерности внутригодовой миграции, в зависимости от климата и антропогенных факторов[5].

Оценка скорости переноса аэрозолей

Для определения направления и времени переноса аэрозолей между г. Владивосток и г. Саппоро, применялся метод взаимного корреляционного анализа временных зависимостей концентраций.

Сущность анализа заключается в нахождение множества значений функции взаимной корреляции R_τ, выражающей меру статистической связи между двумя временными последовательностями концентраций $v(t)$ и $s(t)$, в зависимости от величины времени сдвига τ одного ряда относительно другого[5].

В частности установлено:

1. для группы элементов Fe, Co, Cr, K:

- в период с 18.09.1989 по 30.10.1989 направление переноса вещества осуществляется из г. Владивосток в г. Саппоро;

- в период с 27.11.1989 по 25.12.1989 направление переноса вещества осуществляется из г. Владивосток в г. Саппоро, время переноса веществ изменяется в диапазоне от 1,5 до 2,5 суток;

2. для группы элементов Ni, Cu:

- в период с 27.11.1989 по 25.12.1989 направление переноса вещества осуществляется из г. Владивосток в г. Саппоро, время переноса веществ изменяется в диапазоне от 2,25 до 2,5 суток;

- в период с 26.03.1990 по 30.04.1990 направление переноса вещества осуществляется из г. Саппоро в г. Владивосток, время переноса веществ составляет 2,5 суток;

Имея данные о корреляционных связях между химическими элементами, у нас появляется возможность оценивать направления и скорость перемещения химических элементов, измерения которых были произведены не полностью.

Использование целетрансформирующего факторного анализа (ЦТФА)

Как показывают расчеты ЦТФА, состав атмосферного аэрозоля был образован следующими источниками эмиссии: почва, твердые бытовые отходы, выхлопы автомобильных двигателей и промышленность, вносящими наибольший вклад в концентрацию тяжелых металлов в атмосферном аэрозоле. Вкладов источников представлены в табл. 4.

Табл. 4. Вклады источников (%) в г. Владивосток

	Na	Sc	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr
Почва	29	90	55	77	79	62	0	34	0	67	62
ТБО	55	0	16	1	1	19	67	41	67	0	7
Авто	0	0	3	3	0	2	12	7	12	6	2
Пром	13	8	19	17	19	17	21	19	21	10	10
	Cd	Cs	Ba	Tb	Pb	V	Al	La	Ce	Sm	Eu
Почва	18	53	55	0	26	45	97	52	57	65	68
ТБО	59	13	10	14	48	34	3	31	12	20	19
Авто	7	3	3	0	7	4	0	4	4	3	3
Пром	17	14	13	0	18	16	0	11	11	9	8

Выводы

1. В результате анализа среднегодовых значений концентраций щелочных, щелочно-земельных, литофильных, редкоземельных и тяжелых металлов в аэрозолях г. Владивосток и г. Саппоро разница между максимальными и минимальными значениями концентраций химических элементов в аэрозолях достигает более 1 порядка.

2. Была выявлено уменьшение концентрации химических элементов в аэрозолях в 3-5 раз в г. Саппоро по сравнению с г. Владивосток.

3. Определено, что редкоземельные элементы мигрируют в одинаковой форме с литофильными.

4. Для ряда химических элементов установлено направление и время переноса вещества на разрезе Владивосток-Саппоро.

5. Установлены источники эмиссии и величина их вкладов в концентрацию химических элементов. Наиболее вероятными источниками являются: почва, твердые бытовые отходы, выхлопы автотранспорта, промышленность.

1. Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. Источники и стоки антропогенных пассивных примесей в Российской Арктике весной и летом/ Известия АН сер. ФАО, 2000 т.36 №3 С.357-365
2. Кондратьев И.И. Элементный состав и сезонная изменчивость концентрации аэрозоля в атмосфере Сихоте-Алинского биосферного заповедника/ Метеорология и гидрология, 2002 №2 С. 31-41
3. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов М.: Мир, 1971. С. 115-120
4. Полякова А.М. Влияние гидрометеорологических факторов на загрязнение атмосферы г. Владивостока/ Материалы международной научно-практической конференции «Морская экология», Владивосток, 2007 т.1 С. 57-58.
5. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. Бином. Лаборатория знаний. М.:2008. С. 43-45
6. Нерода А.С. Влияние природных и антропогенных факторов на формирование химического состава атмосферы г. Владивосток / Тезисы докладов: «Гидрометеорология Дальнего Востока и окраинных морей Тихого океана», г. Владивосток, 2005. с. 54-56
7. Uematsu M., Sugita T., Anikiev V.V., Medvedev A.N. Large-scale transport of pollution aerosol over the East Coast of Asia/ Geophysical Research Letter, 1992 vol. 19 №22 p.2219-2221

The results of investigations (1989 – 1990) of seasonal variability of quality of ground air in Primorski Territory and Hokkaido Is. caused by presence of submicronic and coal aerosols and group of heavy metals at the bottom layers of atmosphere are presented.

Н.А. Беляев, М.С. Поняев, В.И. Пересыпкин
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: belyaev@ocean.ru)

Распределение органического углерода в воде и взвеси западной части Карского моря в 2007 году

N.A. Belyaev, M.S. Ponyaev, V.I. Peresypkin
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

The Organic Carbon distribution in the water and suspended matter on the western part of the Kara Sea in 2007

Маршрут 54 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море в августе- сентябре 2007 года планировался с целью получения комплексной океанологической информации в трех принципиально разных районах. Ямальский разрез пересекает область минимально подверженную влиянию речного стока. Разрезы через желоб Святой Анны и Обский разрез охватывали зону от пресноводной внутренней части Обской губы до глубоководных районов Арктического бассейна и позволяли выявить особености трансформации органического вещества в зоне смешения речных и морских вод, а также в области континентального склона. Расположение разрезов и точки отбора проб представленны на карте [1]. Определение $C_{орг}$ и $C_{карб}$ выполнялось на анализаторе TOC-Vcph фирмы Shimadzu с приставкой SSM-5000A.

Концентрации растворенного органического углерода (РОУ) в исследуемом районе варьировались от 0.84 мгС/л в глубоководной части желоба Святой Анны (ст. 4983) до 12.2 мгС/л в пресноводной части Обской губы (ст. 4993). Концентрация взвешенного органического углерода (ВОУ) в исследованном районе изменялась от 2400 мкг/л в придонных водах зоны начала смешения речных и морских вод (ст. 4994) до 6.3 мкг/л в придонных водах центральной части Ямальского разреза (ст. 4958). Среднее содержание РОУ для всех исследованных проб составляло 2.7 мг/л (число определений n=92, среднее квадратичное отклонение σ=2.7), ВОУ - 200 мкг/л.(n=78, σ=368), среднее содержание РОУ для всех исследованных проб поверхностного слоя воды составляло 4.2 мг/л. (n=18, σ=3), ВОУ - 266 мкг/л (n=18, σ=388).

На Ямальском разрезе повышенные и максимальные концентрации РОУ (ст. 4950 горизонт 0 м 3.15 мгС/л) обнаружены в западной части в поверхностном слое вод, где сказывалось распресняющее влияние Обских вод. В прибрежной зоне Ямальского разреза максимум ВОУ отмечен на ст. 4954–4958 (50–435 мкг/л), где также наблюдалось некоторое увеличение содержания РОУ. Минимальные значения концентраций РОУ выявлены на горизонте 70 м ст. 4946 и на горизонте 60 м. ст. 4960, (1.14 и 1.13 мг С/л соотв.), а минимум взвешенного – на горизонте 110 м ст. 4958 (6.3 мкг/л). В поверхностном слое концентрации РОУ и ВОУ несколько превышали

средние и составляли 2.1 мгС/л и 82 мкг/л соответственно. Среднее для разреза содержание РОУ составляет 1.55 мгС/л (n=32, σ=0.47), ВОУ - 65 мкг/л (n=25, σ=99).

Среднее содержание ОВ на разрезе через желоб Святой Анны (РОУ - 1.58 мгС/л (n=31, σ=0.64), ВОУ – 61.1 мкг/л (n=27, σ=30.7)), сравнимо с содержанием ОВ на Ямальском разрезе. В северной части разреза на станции 4983 на глубинах 61 и 200 м выявлены минимальные для всего исследованного района значения концентраций РОУ (0.94 и 0.84 мгС/л соответственно). На этой же станции на горизонте 200 м. отмечена минимальная концентрация ВОУ – 17.2 мгС/л. По содержанию Сорг эти воды значительно беднее вод южной части моря. В южной части разреза в поверхностном слое наблюдалось увеличение концентраций ОВ, связанное с влиянием речного стока (ст. 5004). Увеличение концентрации взвешенного вещества в придонном горизонте ст. 4983 до 106 мкгС/л предполагает существование нефелоидного слоя в желобе Святой Анны.

Распределение Сорг. на Обском разрезе показывает вынос ОВ водами реки и его трансформацию в области барьера река-море. В южной части Обского разреза, в придонных водах при солености от 0 до 1 psu зафиксировано аномально высокое содержание РОУ – 12 мгС/л (ст. 4993) и ВОУ – 2400 мкг/л (ст. 4994). Мористее по разрезу концентрация органического углерода (ОУ) постепенно снижается, причем максимальной она остается в речных водах, которые распостраняются в верхней части водной толщи над подстилающими их морскими [2]. В области, где резко выражена вертикальная стратификация, на горизонтах градиента солености развиваются процессы коагуляции и флоккуляции РОВ, которые приводят к изменению содержания взвеси [3]. Превышение концентрации РОУ в поверхностном, а ВОУ в придонном слое, возможно говорит о горизонтальном расположении зоны смешения речных и морских вод и об увеличении зоны распространения области поставки взвешенного вещества на дно. Сильное влияние пресноводного стока прослеживается в поверхностных водах на всем протяжении Обского разреза и южной части разреза через желоб Святой Анны [3]. При этом увеличение концентрации ВОУ в северной части разреза через желоб Святой Анны может быть отчасти связано с влиянием терригенного стока Новой Земли. В северной, глубоководной части водной толщи на разрезе через Желоб Святой Анны вода много беднее по содержанию ОВ, здесь концентрации органического вещества близки к средним для морей российской Арктики [4].

Построенные для поверхностных вод и Обского разреза графики зависимости содержания РОУ (μМС/л) от солености (рис. 1), свидетельствуют об обратной линейной зависимости этих показателей. Сравнение зависимостей Y=-22.1X+817 для всех поверхностных вод и Y=-20.8X+837 для всех вод Обского разреза позволяет сделать вывод о стабильности состава большей части РОУ и его генетической связи с

водами речного стока. Расчетное значение содержания РОУ в пресных водах по данным настоящих исследований составляет 820-830 μМС/л. Эта величина превышает показатели 1997-2000 годов (552 μМС/л -1997г., 597 μМС/л – 1999г., 617 μМС/л -2000г.).

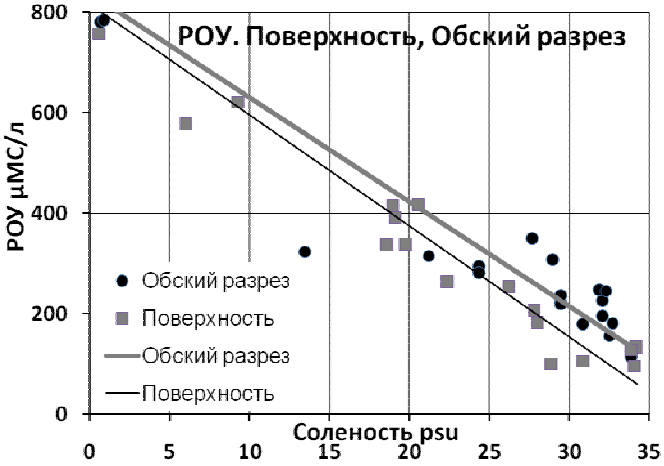


Рис. 1. Зависимость содержания растворенного органического углерода от солености

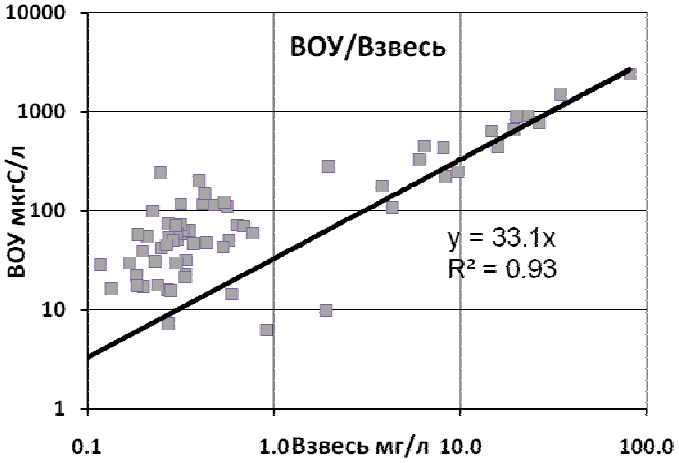


Рис. 2. Отношение взвешенного органического углерода к общему количеству взвешенного вещества

В целом растворенное органическое вещество исследованной части Карского моря стабильно и мало трансформируется в морской воде,

изменение его концентрации большей частью вызвано смешением поступающих в море пресных вод с морской водой (рис. 1) . Немногие отмеченные исключения могут быть объяснены поступлением в Карское море вод другого генезиса - Баренцевоморского и Атлантического.

Анализ связи концентраций ВОУ и солености выявляет логарифмическую зависимость, что говорит о процессах осаждения взвеси на дно по мере изменения солености. Сравнение концентраций общей взвеси и ее органической компоненты (рис 2) иллюстрирует следующую закономерность – при больших концентрациях взвешенного вещества прослеживается линейная зависимость между массой взвеси и ВОУ, при малых наблюдается обогащение взвеси органической компонентой.
Наибольшее обогащение взвеси органической компонентой замечено в поверхностных горизонтах ст. 4983. Наиболее бедное органической компонентой взвешенное вещество – это вещество придонных вод, где концентрация ОВ приближается к его содержанию в донных осадках. Похожая картина наблюдается также в исследованном районе устьевой зоны Оби где, несмотря на большие объемы выносимого рекой взвешенного вещества [5], его обогащенность ОВ относительно низкая.

1. Беляев Н.А., Поняев М.С., Пересыпкин В.И. Органический углерод верхнего слоя донных осадков западной части Карского моря // Настоящий сборник.
2. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735-747.
3. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Поярков С.Г Описание механизмов формирования вод опресненной линзы в Карском море, ее динамики и эволюции под влиянием ветрового воздействия на основе анализа данных 54 рейса НИС Академик Мстислав Келдыш // Океанология (в печати).
4. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в аректических морях России // М.: Наука, 2001. 302 с.
5. Лисицин А.П. Маргинальные фильтры и биофильтры Мирового океана // Океанология на старте XXI века / отв. ред. Верещака А.Л. М.: Наука, 2008 С. 159-224

Based on materials of 54 cruise of the R/V “Academic Mstislav Keldysh” to the Kara Sea concentrations of dissolved (DOC), particulate (POC) organic carbon were measured. DOC values ranged from 6.3 mkg/l to 2400 mkg/l in. POC values ranged from 0.84 mgC/l to 12.2 mg/l with average concentration for DOC 2.7 mg/l (n=92, σ=2.7) and for POC 200 mkg/l (n=78, σ=368)

Н.А. Беляев, М.С. Поняев, В.И. Пересыпкин
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: belyaev@ocean.ru)

Органический углерод верхнего слоя донных осадков западной части Карского моря

N.A. Belyaev, M.S. Ponyaev, V.I. Peresypkin
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Organic Carbon of surface sediments on the western part of the Kara Sea

В 54 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Карское море проводились комплексные океанологические исследования, существенной частью которых было исследование распределения органического вещества (ОВ) в воде, взвеси и донных осадках. Исследования, проведенные в отечественных и зарубежных экспедициях, позволили выявить основные тенденции распределения и захоронения органического вещества (например [1, 2]). Однако, изучение органического вещества одновременно в воде, взвеси и донных осадках совместно с детальными гидрологическими и геологическими исследованиями проводились лишь эпизодически (например, в 49 рейсе НИС «Дмитрий Менделеев» в 1993 году [3]).

В экспедиции удалось исследовать распределение органического углерода в трех принципиально разных районах: в области минимально подверженной влиянию речного стока (Ямальский разрез), в зоне смешения речных и морских вод (Обский разрез), в области континентального склона (разрез через желоб Святой Анны).

Пробы донных осадков отбирались дночерпателем «Океан» и трубками Ниемисто. В пробе донных осадков выделялся верхний полужидкий слой; далее колонка делилась приблизительно на равные слои толщиной 5 см. Пробы осадков до анализа на содержание углерода хранились в замороженном состоянии. Перед началом анализа пробы донных осадков высушивали и растирали до воздушно-сухого состояния.

Определение $C_{орг}$ и $C_{карб}$ выполнялось на анализаторе TOC-Vcph фирмы Shimadzu с приставкой SSM-5000A. Для донных осадков диапазон измеряемых концентраций углерода 0.05 – 30% масс (на сухой вес), навеска 100 мкг. Погрешность прибора 1%. Воспроизводимость результатов анализов +-5%. Перед серией анализов проводилась калибровка прибора по трем типам стандартов образцов донных осадков (СДО2, СДО1, СДО3).

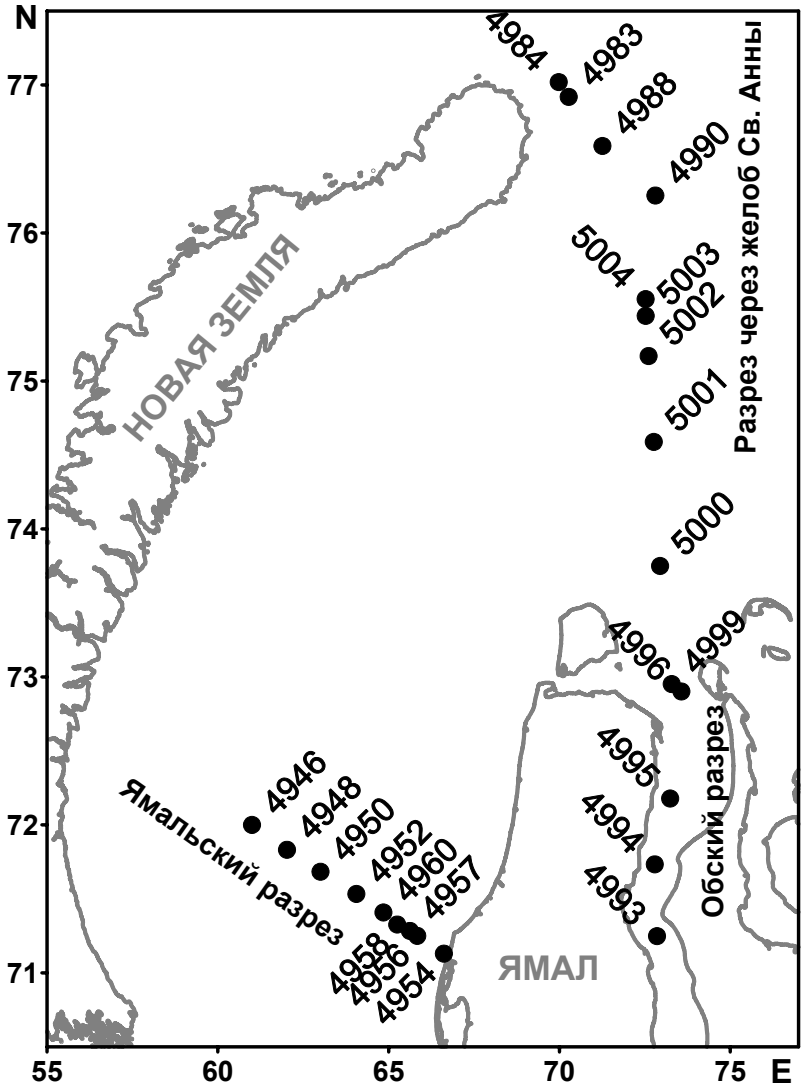


Рис. 1. Схема расположения станций в 54 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш», на которых определено содержание $C_{орг}$.

Концентрации $C_{орг}$ в пробах верхнего слоя донных осадков исследованного района изменяются от 0.13% до 2.10% на сухое вещество, при среднем значении 0.9% (n=21, σ=0.49%). Наиболее высокое значение 2.10% зафиксировано в илах глубоководного желоба Святой Анны (ст. 4983), наименьшее – 0.13% в крупноалевритовых осадках вблизи берегов

Ямала (ст. 4956). Содержание ОВ в донных осадках тесно связано с их гранулометрическим составом [1, 4, 5]. Низкое содержание в осадках Карского моря биогенного $CaCO_3$, обусловленно недонасыщенностью холодных вод моря карбонатами и низкими величинами их биосинтеза, что характерно для всех Арктических морей [1].

На разрезе от полуострова Ямал в открытую часть Карского моря максимальная концентрация $C_{орг}$ в верхнем слое донных осадков зафиксирована в пелитово-алевритистых илах самой удаленной от Ямальского берега станции 4946 – 1.4%, а минимальная – 0.13% в крупном алеврите (ст. 4956) берегового склона. Вариации концентраций углерода от 0.13 до 1.28% на станциях 4954-4958 могут указывать на процесс переноса верхнего слоя донных осадков благодаря поперечной циркуляции в присклоновом Ямальском течении и накопления обогащенных органическим веществом алевритовых илов в глубоководной части разреза. [5]. Среди исследованных проб разреза наиболее обедненные органическим углеродом осадки ($C_{орг}$ - 0.13%) представлены хорошо перемытыми крупноалевритовыми осадками станции 4956. Донные осадки прибрежной станции 4954 обогащены органическим углеродом по сравнению со станциями расположенными мористее. Это может быть обусловлено поставками тонкозернистого материала, обогащеного ОВ в процессе береговой абразии. В пелитово-алевритовых илах, залегающих в локальных понижениях дна (ст. 4957, 4958, 4960), содержание $C_{орг}$ повышено по сравнению с более грубозернистыми осадками склона. Это связано с тем, что при высоких скоростях прибрежного Ямальского течения сравнительно тонкий по гранулометрическому составу осадок не оседает на склоне, а сбрасывается и захоранивается в локальных понижениях дна, где накапливаются пелитовые и алевро-пелитовые илы. В районе станций 4948-4952 распределение $C_{орг}$ равномерное (0.81-0.96%) и увеличение его концентрации до 1.4% на ст. 4946 связано с увеличением пелитовой фракции в иле.

Разрез через желоб Святой Анны, проходящий через континентальный склон, является продолжением Обского разреза, пролегающего от южной области Обской губы, в которой зарегистрированы воды с нулевой соленостью, через область мелководного шельфа до границы континентального склона. На этих разрезах максимальная концентрация $C_{орг}$ в поверхностном слое зафиксирована на ст. 4983 (2.1%), минимальная на ст. 5001 (0.23%), средняя величина по станциям двух разрезов - 1.03%. (n=11, σ=0.52%). Для разреза через желоб Святой Анны характерна более высокая концентрация Сорг – 1.1% (n=6, σ=0.35%) , для Обского разреза она ниже - 0.99% (n=5, σ=0.72%). Это обясняется тем, что осадки на Обском разрезе литологически более неоднородны, и изменяются от песков до тонких илов.

В поверхностном слое донных осадков Обского разреза можно выделить две станции с относительно высоким содержанием $C_{орг}$ (ст. 4993 - 1.3%, 4996 – 1.26%). Первая станция приурочена к черным речным сапропелевым илам Обской губы (S‰~0.1psu), вторая станция связана с местом смешения речных и морских вод (S‰~5-8psu). В сторону северной части Обского разреза в песчано-алевритисто-пелитистых осадках (ст. 5001) содержание Сорг в поверхностном слое донных осадков уменьшается до 0.23%. На разрезе через желоб Святой Анны максимальная концентрация $C_{орг}$ зафиксирована на самой глубоководной станции исследуемого района (ст. 4983 2.1%). Осадки здесь представлены пелитово-алевритистыми илами с примесью песка, в которых происходит накопление ОВ в результате седиментации вещества, а также перемещения донных осадков по склону.

1. Органическое вещество донных отложений полярных зон Мирового океана / М-во геол. СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т геологии и минеральных ресурсов Мирового океана / Под ред. А.И Данюшевской, Л.: Недра, 1990. 280 с.
2. H. Kohler, B. Meon, V.V. Gordeev, A Spitzy, R.M.W. Amon Dissolved organic matter (DOM) in the estuaries of Ob and Yenisei and the adjacent Kara Sea, Russia // Siberian river run-off in the Kara Sea / Ed. R.Stein, K.Fahl, D.K. Futterer, E.M. Galimov and O.V. Stepanets Elsevier Sciense, 2003. P. 281-308.
3. Лисицын А.П. , Шевченко В.П., Виноградов М.Е., Северина О.В., Вавилова В.В., Мицкевич И.Н. Потоки осадочного вещества в Карском море. // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 748-758.
4. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России //М.: Наука, 2001. 302 с.
5. R.Stein, K.Fahl The Kara Sea: Distribution, Sources, Variability and Burial of Organic Carbon // The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean / Ed. R.Stein, R.W. Macdonald Springler, 2004. P. 237-266.

The new data of concentration of total organic carbon in the Kara Sea bottom sediments were obtained. Three different areas were investigated: Ob runoff area, St. Anna trench, Jamal peninsula area. Concentration of total organic carbon in the bottom sediments closely connected with the grain size composition and currents.

Е.В. Верхозина[1], В.А. Верхозина[2]
([1]Институт Земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, verhel@crust.irk.ru; [2]Институт геохимии Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутский технический университет)

Влияние гидродинамических процессов на биогеохимические условия в формировании качества пресных вод глубоких рифтовых озер мира

E.V. Verkhozina[1], V.A. Verkhozina[2]
([1]Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, [2]Institute of Geochemistry, SB RAS, Irkutsk State Technical University)

The hydrodynamic processes influence on the biogeochemistry conditions of forming the fresh waterquality in the world deep rift lakes

Важным источником пресных поверхностных вод, являются глубокие рифтовые озера, такие как Байкал (Азия) и Ньяса (Юго-Восточная Африка) Они находятся в различных климатических условиях и могут быть моделями при изучении процессов, формирующих качество воды.

Геоэкосистемы рифтовых озер Байкал и Ньяса представляют собой сложные системы, которые создавались в течение длительного времени. Они достаточно изучены в части конкретных их составляющих. Однако этого нельзя сказать об исследовании общей структуры геоэкосистем рифтовых озер и механизмов, формирующих качество пресной питьевой воды.

В озерах Байкал и Ньяса наблюдаются структуры пространственных неоднородностей горизонтального распределения бактерий, что связано с огромным влиянием гидродинамических параметров на структуру экосистем, как в морях и океанах, что нехарактерно для экосистем мелких неглубоких озер. Теоретические расчеты хорошо совпадают с полученными экспериментальными результатами. Впервые для Байкала такие неоднородности с горизонтальными масштабами распределения бактериопланктона порядка километра, а вертикальными порядка метров, описаны в работе [1].

Для оценки масштабов пространственных неоднородностей, концентрации биологических объектов при взаимодействии их с турбулентным движением воды, была предложена модель спектра неоднородностей, т.е. характерных размеров «пятен» и расстояний между «пятнами». Спектр получен как решение гидродинамического уравнения для области волновых чисел, соответствующей инерциальной области турбулентного движения, где можно пренебречь эффектами молекулярной диффузии. Для бактерио-и-фитопланктона, в отличие от пассивных, консервативных примесей, появляется специфическая пространственная

неоднородность распределения планктона в турбулентных потоках, называемая пэтчинг (пятнистость). Горизонтальный пэтчинг бактериопланктона был описан путем анализа дифференциальных уравнений в работе [2]. Масштаб распределения полностью согласуется с хорошо изученными неоднородностями в морях и океанах.

Механизм, динамика и условия формирования качества воды в водоемах до сих пор концентрировались на температуре как основном факторе. Это так и происходит в мелких водоемах (глубина которых менее 500 метров). Однако, проведенные исследования по изучению процессов, формирующих качество воды оз. Байкал показали, что основное значение имеют гидродинамические процессы. Это касается только глубоких рифтовых озер, какими и являются рассматриваемые озера. При помощи двухслойной модели глубокого озера выявлено, что основным элементом, лимитирующим продуктивность органического вещества в пелагиали рассматриваемых озер и влияющим на качество воды, является азот [3, 4]. Поэтому сброс хозяйственно – бытовых стоков, где соединения азота присутствуют в больших количествах, необходимо учитывать и строго контролировать.

Кроме того, огромное влияние на формирование качества воды в Байкале имеют процессы азотфиксации (пополнение экосистемы азотом) и денитрификации (потери азота в атмосферу) в водной толще и донных осадках. Круговорот азота представляет собой взаимосвязанную цепь реакций превращения различных форм азота, ведущая роль, в осуществлении которых принадлежит микроорганизмам. В исследуемых озерах выявлены все группы микроорганизмов, участвующих в круговороте азота, и исследованы процессы азотфиксации и денитрификации. И, хотя установлена довольно высокая устойчивость экосистемы Байкала, выявлены слабые звенья. Например, слабые процессы денитрификации и довольно активные процессы азотфиксации. При попадании в водоем азотсодержащих веществ, входящих в большом количестве в хозяйственно-бытовые стоки, может нарушиться весь биологический круговорот азота. Это, несомненно, приведет к необратимым последствиям: увеличение численности бактерий, нитратов, нитритов и аммонийного азота в воде, что скажется на качестве питьевой воды и даже может изменить трофический статус озера.

Несмотря на различные климатические условия, определяющим фактором в механизме формирования качества воды является гидродинамический фактор [5]. Геоэкосистемы этих озер по механизмам формирования качества воды подобны океанским, а не озерным. Как показали наши исследования, механизм, динамика и условия формирования качества воды глубоких рифтовых озер (Байкал и Ньяса) идентичны. Климатические различия на континентах, а именно температурный фактор, не имеет решающего действия на формирование качества воды, как это наблюдается в мелководных озерах.

Выявлены общие закономерности и механизмы, обеспечивающие динамику микробиологических и гидрохимических процессов, которые определяют качество воды крупнейших рифтовых озер мира. Эти разработки перспективны и очень значимы, поскольку позволят принимать управленческие решения по регулированию интенсивности всех видов деятельности, влияющих на формирование качества воды исследуемых озер. Определяющим фактором в механизме формирования качества воды рифтовых озер (Байкал и Ньяса) является гидродинамическая диффузия вод. Геоэкосистема рассматриваемых озер по механизмам формирования качества воды более подобна океанским, а не озерным.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-05-01092-а), экспедиции СО РАН 2008-2009 г., экспедиции РФФИ 2008 г.) и интеграционного проекта № 87 СО и ДВО РАН.

1. Сафарова В.А. Верхозина В.А. Использование программы черчения изолиний на вертикальных разрезах озера Байкал при наблюдениях, входящих в систему мониторинга. // География и природные ресурсы. 1988. № 3. С. 152-154.
2. Верхозина В.А., Куснер Ю.С., Сафарова В.А., Судакова Н.Д. Мелкомасштабная турбулентность и пэтчинг бактериопланктона на Байкале. //Доклады АН. 1988. Т.301. № 6. С. 1508- 1512.
3. Верхозина В.А., Куснер Ю.С. Специфика цикла азота в гидродинамических условиях оз. Байкал. // Динамика и термодинамика рек водохранилищ, внутренних и окраинных морей. Т.1. М. 1994. С. 50-53.
4. Verkhosina V.A., Kusner Yu.S., Pastukhov V.D., Popovskaya G.I., Safarova V.A., Sudakova N.D. Stability principle and mathematical modeling Lake Baikal Ecosystem //Internation cartographic congress “InterCarto 2: GIS for Environmental studies and mapping.” Irkutsk, Russia, Yune 6-29. 1996. PP. 143-147.
5. Verkhozina V.A., Kozhova O.M., Kusner Yu.S. Hydrodynamics as a limiting factor in Lake Baikal ecosystem //Aquatic Ecosystem Health and Management Society. 2000. V. 3. P. 203-210.

The determining factor in the mechanism of forming the water quality of rift lakes (Baikal and Nyasa) is the geodynamic diffusion of water. In terms of the mechanism responsible for forming the water quality geological ecosystem of the considered lakes is rather similar to oceanic ecosystems than lacustrine ones.

Верхозина В.А.[1], Верхозина Е.В.[2], Чудненко К.В.[2]
([2]Институт геохимии Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутский технический университет, verhval@igc.irk.ru [2]Институт Земной коры Сибирского отделения Российской академии наук 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128 verhel@crust.irk.ru);

Биогеохимические процессы азотфиксации и денитрификации в экосистеме озера Байкал и их роль в балансе азота

Verkhozina V.A.[1], Verkhozina E.V.[2], Chudnenko K.V. [2]
([1]Institute of Geochemistry, SB RAS, Irkutsk State Technical University; [2]Institute of the Earth's Crust, SB RAS)

Influence biogeochemistry processes of nitrogen fixation and denitrification on the nitrogen balance of Ecosystem Lake Baikal

До недавнего времени изучение цикла круговорота азота в гидросфере считалось делом важным, но не имеющим особого практического значения. Недостаточное внимание к изучению этого вопроса объяснялось тем, что время нахождения фиксированного азота в океане считается продолжительным - около 10 тыс. лет, и баланс азота, подобен таковому у других элементов, т.к. находится в стабильном состоянии или очень близок к этому. В настоящее время выявлено, что азотный цикл в морях и океанах более динамичен, чем считали прежде. Исследование биогеохимических процессов трансформации азотсодержащих соединений в континентальных водоемах еще более актуальны, чем в океане, в связи с проблемой качества воды и интенсификацией антропогенного эвтрофирования.

Серьезные попытки квалифицировать баланс связанного азота – денитрификации и фиксации азота – начались в 1970 годах и, несмотря на различные оценки исследователями, понятие о равновесном состоянии круговорота азота стало возможным лишь в середине 1980-х годов. Однако, пределы, в которых изменения денитрификации или фиксации азота могут влиять на баланс этого элемента в гидросфере, являются аспектами, которые остаются в настоящее время спорными. Интерес к балансу азота привел к обширному диапазону исследований. Особое внимание было направлено на биологические измерения специфических процессов (например, N_2 – фиксация и денитрификация), геохимические измерения в масштабах водоема и комплексное моделирование.

Круговорот азота представляет собой взаимосвязанную цепь реакций превращения различных форм азота, ведущая роль, в осуществлении которых принадлежит микроорганизмам. Азотфиксация - процесс пополнения экосистемы азотом. Способностью к фиксации азота обладает широкий круг авто- и гетеротрофных микроорганизмов, как в аэробных, так

и анаэробных условиях, обладающих ферментом нитрогеназой. Все они имеют похожий биохимический механизм фиксации молекулярного азота. Этот процесс называют биологической фиксацией азота. Денитрификация представляет собой единственный биогеохимический процесс, ведущий к обеднению водоема азотом, что играет важную роль в процессах самоочищения водоемов. Только имея данные о количественном состоянии процессов, ведущих к накоплению или освобождению азота в водоемах, можно составить заключение о содержании этого элемента в экосистемах.

Эти знания имеют существенное значение для развивающихся направлений по регулированию экосистем с целью контроля качества воды или увеличения первичной продуктивности водоема. Нужно отметить, что содержание отдельных форм азота в водоемах сильно меняется по сезонам года и зависит от развития фитопланктона, полноты и характера циркуляции воды в водоеме, а также от поступления азота из грунта, притока его с водосборного бассейна и т.д. Вместе с тем, содержание общего азота, а часто и его отдельных соединений из года в год остается для одного и того же озера величиной постоянной.

Ввиду отсутствия данных по скоростям азотфиксации и денитрификации для Байкала, как и для подавляющего числа иных крупных водоемов в мире, баланс этого важнейшего биогенного элемента не был изучен. Для экосистемы озера Байкал был рассчитан сток нитратного азота через р. Ангару [1]. Задача выявления роли биогеохимических процессов в балансе азота экосистемы озера Байкал является особенно актуальной для контроля качества воды, т.к. при развитии туризма, строительстве коттеджей, кемпингов, саун на побережье озера, наблюдается почти полное отсутствие очистных сооружений и поступление в воду большого количества органического азота.

Для измерения процессов азотфиксации и денитрификации в работе был использован ацетиленовый метод, который успешно применяется при исследовании этих процессов в различных водоемах мира. Метод привлекает своей принципиальной простотой и пригодностью его в длительных и дальних экспедициях. Методика и полученные результаты по исследованию этих процессов в экосистеме озера Байкал описаны ранее [2].

Известно, что в экосистеме озера Байкал наблюдается очень значительные пространственно-временные неоднородности развития планктонных организмов, так называемый пэтчинг [3]. Статистику таких рядов трудно, охарактеризовать обычными для биологии статистическими методами. Поэтому для анализа рядов многолетних и пространственно неоднородных наблюдений нами использовался более простой и легко интерпретируемый "интервальный" метод анализа полученных данных по процессам азотфиксации и денитрификации [4]. Все измеренные значения в пределах одного порядка величины считались равными друг другу в диапазонах: 1-2; 2-5; 5-10, после чего строились гистограммы распределений измеряемых чисел в интервалах.

Смысл именно такой разбивки на интервалы заключается в том, чтобы равномерно распределить измеренные значения в логарифмической шкале (0-0,3-0,7-1,0– соответственно), при условии, что распределения параметров большинства экосистем являются логарифмически нормальными, несмотря на большие флуктуации параметров.

В озере Байкал гидрохимическими исследованиями [5] установлено, что в воде озера существует довольно устойчивая сезонная цикличность динамики азота, который присутствует, в основном, в форме нитратов. Аммонийный и нитритный азот можно выявить лишь в зонах литорали (мелководье) или в отдельных точках пелагиали при отмирании фитопланктона, который имеет ярко выраженную пространственно-временную неоднородность. Поэтому, проследить динамику азота можно лишь по азоту, находящемуся в форме нитратов. Содержание нитратного азота значительно колеблется из года в год, но сезонная динамика азота сохраняется, благодаря деятельности микроорганизмов.

В представленной работе были проанализированы многолетние результаты исследований. Было выявлено слабое течение процессов азотфиксации и денитрификации в пелагиали и активное в литорали озера.

Основные проблемы и трудности измерений исследуемых процессов связаны со спецификой экосистемы озера Байкал, которую невозможно считать единой экосистемой из-за разницы глубин: пелагиаль – более 1000 м и литоральная зона - несколько метров. Соответственно наблюдается очень большая разница температурного и гидрохимического режима.

Бассейну озера Байкал свойственно весьма сложное распределение речного стока, обуславливающее различную интенсивность его поступления в отдельные части котловины озера. Тем не менее, на основе гидрохимических съемок, был рассчитан годовой сток нитратного азота. Хотя содержание нитратного азота в экосистеме озера Байкал подвержено большим сезонным изменениям [5], его многолетняя средняя концентрация составляет 40 мг/м^3. С водным стоком реки Ангары концентрация нитратного азота составляет около 2,4 $\cdot 10^3$ тонн/год. Сток из озера Q = 60,4 км^3/год [1]. Баланс средней многолетней концентрации NO_3, осуществляется за счет притока в озеро (реки, осадки и т.д.).

В результате проведенных расчетов установлено, что сток нитратного азота из озера через реку Ангара равен 2,4 $\cdot$ 10^3 (т/ год). Доля азота в стоке нитратов составляет 2,13 $\cdot 10^{13}$ (мкмоль/год) или 0,54 $\cdot$ 10^3 (т /год). Значит годовой биосток азота равен 1,5 $\cdot 10^{13}$ (мкмоль/год) или 0,42 $\cdot$ 10^3 (т /год).

Биосток и сток нитратного азота составляют величины одного порядка. Биосток равен 1,5 $\cdot 10^{13}$ (мкмоль/год), а сток нитратного азота 2,13 $\cdot 10^{13}$ (мкмоль/год).

Масса захораниваемого органического азота в донных отложениях = 2,5 $\cdot$ 10^{15} (мкмоль/год) = 70 $\cdot 10^3$ (т/год). Это составляет величину на два порядка большую, чем сток нитратного азота через Ангару и биосток азота.

Денитрификация, которая также главным образом идет в донных отложениях, составляет $4,8 \cdot 10^9$ (моль/год) $=134 \cdot 10^3$ (т/год). По-видимому, это основной канал потерь органических форм азота в экосистеме Байкала.

Данные измерения скоростей азотфиксации на различных глубинах в водной толще озера Байкал были обработаны интервальным методом. Численные значения активности азотфиксации (пелагиаль озера) показали, что чаще всего встречаются средние значения скорости азотфиксации: $2 \cdot 10^{-2} > \mathbf{A} > 20 \cdot 10^{-2}$ мкмоль/м^3 сут. Среднее квадратичное отклонение (SD) = 0,075±0,041 (55%). Меньшие и большие значения **A** характеризуют соответственно мало продуктивные и высоко продуктивные районы акватории озера Байкал. Скорости процессов азотфиксации и денитрификации обнаруживают столь же значительную пространственно-временную изменчивость, как и изменчивость бактериопланктона в экосистеме озера [6], что не наблюдается в мелководных озерах. На Байкале основной вклад азота в процесс азотфиксации дают именно высокие, не так часто встречающиеся значения величин **(A)** и зоны литорали: заливы, соры, дельта р. Селенги, т.е. мелководные районы. Активность азотфиксации, в грунтах Байкала изменялась от $0,025 \cdot 10^{-3}$ до $2,58 \cdot 10^{-3}$ (мкмоль /г сут). Активность азотфиксации в донных осадках Байкала выше по сравнению с водной толщей. Подсчитаем скорость **A** в пелагиали. Принимая $\mathbf{A} = 85 \cdot 10^{-2}$ мкмоль/м^3 сут. азота в водной части (пелагиаль и литораль озера) экосистемы Байкала, годовой приход азота в результате азотфиксации в воде Байкала $= 87,6 \cdot 10^5$ (г/км^3 ·год) $= 201,5 \cdot 10^3$ (т/год), а в донных осадках,- $3,96 \cdot 10^3$ (т / год).

В нашей работе при подсчете баланса азота в оз. Байкал показано, что вклад бактериальных процессов, рассчитанных по средним многолетним данным, существенен. Как видно из полученных результатов, биосток соизмерим с потерей нитратного азота: $0,42 \cdot 10^3$ и $0,54 \cdot 10^3$ т/год (соответственно). Самый большой процент поступления азота в процессе азотфиксации наблюдается в водной толще экосистемы Байкала и составляет $201,5 \cdot 10^3$ т/год. В донных осадках озера, хотя процесс фиксации азота идет довольно активно, в целом рассчитанный на площадь озера, он оценен как $3,96 \cdot 10^3$ т/год. Расходная часть баланса азота составляет: при захоронении в донных осадках озера $70 \cdot 10^3$ т/год и в процессе денитрификации $134 \cdot 10^3$ т/год, в водной толще озера денитрификация практически не выявлена.

В результате проведенной работы выявлена роль процессов азотфиксации и денитрификации и оценены элементы баланса азота в экосистеме Байкала. Следует отметить, что баланс азота в озере Байкал является виртуальным (непостоянным), т.е. сильно зависящем от времени. На рассматриваемые процессы существенное значение оказывают климатические изменения такие, как урожайные и неурожайные по фитопланктону годы [7], т.к. фитопланктон является основным

поставщиком органического вещества в экосистему озера. Вклад процессов фиксирования азота бактериопланктоном соизмерим с содержанием растворимых форм азота в озере.

Резюме. В работе впервые представлен расчет баланса азота на основе исследованных авторами биогеохимических процессов азотфиксации и денитрификации. Баланс азота в озере Байкал до сих пор не был составлен, поскольку не имелось данных по активности этих биогеохимических процессов. Как видно из полученных результатов, биосток соизмерим с потерей нитратного азота: $0{,}42 \cdot 10^3$ и $0{,}54 \cdot 10^3$ т/год (соответственно).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-05-01092-а), экспедиции СО РАН 2008-2009 г., интеграционного проекта № 87 СО и ДВО РАН.

1. Афанасьев А.Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна оз. Байкал. Новосибирск. Наука СО АН СССР. 1976. 239 с..
2. Верхозина В.А., Одинцов В.С., Илялетдинов А.Н. Фиксация азота и денитрификация в грунтах Южного Байкала // Изв. АН КазССР. 1987. № 5. С. 51-55.
3. Верхозина В.А., Куснер Ю.С., Сафарова В.А., Судакова Н.Д. Мелкомасштабная турбулентность и пэтчинг бактериопланктона на Байкале // Доклады АН. 1988. Т.301. № 6. С 1508- 1512.
4. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л. Энергоатомиздат. 1990. 287 с.
5. Вотинцев К.К. Гидрохимия озера Байкал. М.: Изд-во АН СССР. 1961. 311 с.
6. Верхозина В.А., Верхозина Е.В., Куснер Ю.С. Процессы азотфиксации и денитрификации в озере Байкал, их влияние на качество воды и общий баланс азота в экосистеме. // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. Научная конференция. Томск. ТПУ. 2003. С. 220-222.
7. Верхозина В.А., Куснер Ю.С., Павлова Т.В., Потемкин В.Л. Проявление климатической изменчивости в периодичности урожайности планктона озера Байкал. // ДАН 2000. Т. 374. № 2. С. 252-254.

The article for the first time gives the calculations of nitrogen balance based on biogeochemical processes of nitrogen-fixing and denitrification. Nitrogen balance has not been calculated for Lake Baikal yet, as the data concerning the activity of the above geological processes are not available. As the obtained calculations indicate biological flow is comparable with the loss of the inert nitrogen: $0{,}42 \cdot 10^3$ and $0{,}54 \cdot 10^3$ tons/year correspondingly.

А.А. Ветров, В.И. Пересыпкин
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: vetrov@ocean.ru)

Органический углерод отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря

A.A. Vetrov, V.I. Peresypkin
(P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Organic carbon separated reservoirs of Kandalaksha bay of the White Sea

В истории Земли неоднократно чередовались периоды потеплений и похолоданий (ледниковые периоды). С изменением климата менялся и уровень океана – повышение уровня при потеплении (трансгрессия) и понижение (регрессия) при похолодании. При трансгрессии часть шельфа затапливалась, а при понижении уровня океана море отступало, оставляя в ряде понижений рельефа замкнутые или проточные водоемы, которые эволюционировали из морских акваторий в пресноводные.

В настоящее время процесс трансформации морских акваторий в пресноводные можно наблюдать на Карельском берегу Белого моря, на примере отделения от его акватории кутовых частей многочисленных заливов с образованием небольших озер. Это отделение происходит не за счет понижения уровня океана, а вследствие медленного подъема суши, освободившейся 10 тысяч лет назад от многокилометровой толщи ледника. По геологическим понятиям скорость подъема суши в этом районе все еще большая, в среднем 4 мм/год [1, 2]. По свидетельству наблюдателей некоторые отшнуровывающиеся водоемы, отделенные от залива «полупрозрачной» перемычкой, всего лишь 10–15 лет назад имели открытое с заливом сообщение во время приливов. В этих водоемах устанавливается специфический гидрологический режим, изменяющийся по мере их обособления от моря [3, 4].

Работа посвящена исследованию особенностей формирования донных осадков, их органического состава, в условиях постепенной трансформации морских водоемов в пресноводные.

Сбор проб донных осадков и воды проводился 29.08-10.09.2008 г. в отшнуровывающихся водоемах – озере на Зеленом мысу и оз. Кислосладкое, а также в открытых частях и небольших лагунах Ругозерской, Кислой и Чернореченской губ Кандалакшского залива (рис. 1). Географическая характеристика, гидрологический и гидрохимический режимы исследовавшихся озер приведены в работе [4]. Все пробы отбирались с берега или с прибрежных камней на глубинах до 1 м с помощью пробоотборника, укрепленного на 2 м шесте.

Замороженные пробы донных осадков были доставлены в лабораторию, высушены при 60ºС и растерты в агатовой ступке. Содержание органического углерода в пробах донных осадков и воде определяли на анализаторе углерода TOC V-cph (Shimadzu).

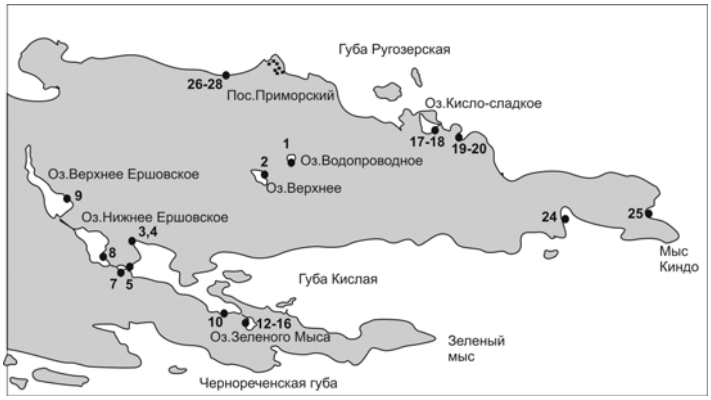


Рис. 1. Места отбора проб донных осадков и воды.

В открытых частях Кандалакшского залива осадки преимущественно представлены заиленным песком, вкрапленным в бенч. В кутовых частях губ, где отсутствует сортировка осадков течениями, а гидрологическая обстановка определяется приливами и отливами, верхний слой осадков имеет ярко выраженную двухслойную структуру. Как правило, это заиленный песок или ил темно-серого цвета, покрытый рыхлым илом серо-желтого цвета слоем от нескольких миллиметров до 3 см. Такая же структура донных осадков наблюдается в прибрежных частях отшнуровывающихся водоемов. В озерах, проточных и непроточных, отделение которых от моря произошло сотни лет назад и более, осадки представлены преимущественно торфом различной степени зрелости.

В озерах, образовавшихся в начале голоцена (оз. Водопроводное и оз. Верхнее), содержание $C_{орг}$ в торфе (пробы 1, 2) достигает 47%. В оз. Верхнее Ершовское, находящемся немного выше уровня моря, торф менее зрелый (29% $C_{орг}$, проба 9). В соединенном с ним протокой оз. Нижнее Ершовское, отшнуровавшемся позднее, осадок (проба 8) представлен сапропелем (5.4% $C_{орг}$ от сухого осадка).

Осадки открытых частей залива представлены грубозернистым материалом, подвергшимся сортировке течениями, содержание $C_{орг}$ наименьшее (0.025–0.07%, пробы 24, 25, 29). В затишных частях губ формируются мелкозернистые осадки, содержащие илы богатые органическим веществом. Примером могут служить пробы, взятые в кутовой части Кислой губы (пробы 3, 4), заселенной колонией пескожилов. Верхний рыхлый осадок характеризуется $C_{орг}$ 2.0%, под ним залегает слежавшийся темно-серый ил, содержащий 3.0% $C_{орг}$. Более свежий верхний осадок содержит меньше ОВ, чем диагенетически преобразованный нижний. Возможно, верхний осадок представлен смесью свежего ОВ с материалом, переработанным пескожилами.

Озеро на Зеленом мысу соединено неглубокой протокой с губой Кислая. Расход воды во время отлива составляет около 10 л/сек, соленость поверхностной воды 23–25 ‰ [4]. В южной части озера, наиболее удаленной от протоки, имеется поступление пресной воды из заболоченного мелколесья. Осадок, взятый в протоке (заиленный песок) характеризуется довольно высоким содержанием $C_{орг}$ – 2.1% (проба 12). В западной части озера, представляющей обширное мелководье, донные осадки сложены темно-серым илом ($C_{орг}$ – 1.6%, проба 14), покрытым рыхлым серо-желтым наилком (~ 1 см, $C_{орг}$ – 3.4%, проба 13). В южной части озера, принимающей сток пресной воды из заболоченной местности, структура осадка такая же, как в западной части, но осадки сильнее обогащены органическим веществом – $C_{орг}$ 3.9 и 4.9% (пробы 16, 15), соответственно.

Озеро Кислосладкое находится в более поздней стадии обособления от моря, чем озеро на Зеленом мысу. Озеро отделено от моря двумя перемычками, одна из которых заросла травой, а другая сложена окатанными валунами и галькой, через которую осуществляется слабый водообмен с Кандалакшским заливом, не превышающий 1 – 1.5 л/сек во время сизигийных приливов [4]. Источниками пресной воды в озеро являются его слабо заболоченный южный берег, атмосферные осадки и, возможно, подземные источники. Поверхностная вода во время отбора проб была почти пресной, но может осолоняться до 22‰ [4]. Образцы осадков брались в восточной части озера в 50 м от каменистой протоки. Слой наилка серо-желтого цвета с высоким содержанием $C_{орг}$ (8.3%, проба 17) достигал 3 см. Осадок, залегающий под наилком, темный песок, наоборот, оказался очень бедным ОВ ($C_{орг}$ – 0.25%, проба 18). Возможно, это вызвано сортировкой осадка во времена, когда протока еще была открыта.

В Кандалакшском заливе наряду с отшнуровывающимися озерами встречаются небольшие лагуны размерами 10-20 метров, отделенные от залива во время отлива перемычками. Их поверхность почти полностью покрыта макрофитами, забрасываемыми в них во время штормов. В Кислой губе в 70 м от оз. Зеленого мыса находится лагуна, полностью заполненная в основном нитчатыми водорослями, сохраняющими свою жизнеспособность за счет периодического смачивания во время приливов. Осадок под этими водорослями значительно обогащен ОВ ($C_{орг}$ – 3.9% от сухого осадка, проба 10).

Лагуна, расположенная в Ругозерской губе в 300 м к северу от пос. Приморский, диаметром около 10 м, в приливы затапливается морской водой, а в отлив полностью промывается пресной, поступающей с заболоченного склона. В шторм в лагуну забрасываются водоросли, в основном бурые, а также зеленые нитчатые. В отличие от лагуны в Кислой губе морские водоросли попадают в крайне неблагоприятные для жизни условия – чередование морской и пресной воды, вследствие этого интенсивно разлагаются и обеспечивают высокую скорость осадконакоп-

ления. Осадок под ними имеет запах сероводорода с высоким содержанием $C_{орг}$ (18.7%, проба 26). В этой же лагуне в местах не покрытых водорослями содержание $C_{орг}$ низкое – в заиленном песке 0.38% (проба 27) и в встречающейся голубой глине 0.31% (проба 28).

В Ругозерской губе недалеко от Кислосладкого озера находится также небольшая лагуна с активным поступлением пресных вод. Вода в лагуне слабосоленая, пресноводный сток из болота не успевает заместить морские воды, поступившие в лагуну с приливом. Лагуна в протоке и в затишных местах заселена колониями пурпурных серных бактерий Thiocapsa roseopersicina и Amoebobacter sp., а также зеленых цианобактерии Microcystis sp. и Oscillatotia sp. (пробы 19, 20). Илистый осадок под матами бактерий имеет сероводородный запах и содержит очень высокий $C_{орг}$ (19%, проба 23).

На протоке из оз. Нижнее Ершовское в Кислую губу расположена небольшая лагуна (около 10 м в диаметре), отделенная «прозрачной» каменистой перемычкой от губы во время отлива. Лагуна интересна тем, что в результате приливов и отливов происходит почти полная замена в ней пресной воды на морскую и наоборот. Благодаря защищенности здесь губы от ветров в ней не возникает больших волн, способных забросить в лагуну макрофиты. Однако для биоты, попадающей в лагуну, создаются губительные условия. В результате донные осадки, представленные черным илом, обогащены органическим веществом ($C_{орг}$ – 6.3%, проба 7). За перемычкой дно губы каменистое, заселено фукусами и колониями мидий. Осадок – заиленный песок между камнями, под створками погибших мидий, содержит 1.6% $C_{орг}$ (проба 5).

Для сравнения были исследованы осадки в Чернореченской Губе в лагуне, которой заканчивается устье р. Черная. В приливы морская вода далеко заходит в устье реки. В конце лагуны (примыкающем к заливу, соленость ~10‰) осадки представлены заиленным песком с низким содержанием $C_{орг}$ (0.27%, проба 29). В начале лагуны (соленость ~3–4‰) осадок представлен темным илом ($C_{орг}$ – 1.0%, проба 31) с наилком серо-желтого цвета, содержащим 0.40% $C_{орг}$ от сухого осадка (проба 30).

Таким образом, вследствие подъема суши в Кандалакшском заливе происходит медленное отшнуровывание небольших заливов и превращение их в пресноводные озера. В этих водоемах устанавливается специфический гидрологический режим, изменяющийся по мере их обособления от моря. Вследствие большого поступления с суши терригенного органического материала, происходит их заиление и изменение окислительно-восстановительного режима. В осадках преобладают резко восстановительные условия, и как следствие этого появление большого количества колоний пурпурных серных бактерий Thiocapsa roseopersicina и Amoebobacter sp., а также зеленых цианобактерии Microcystis sp. и Oscillatotia sp. и бесцветных серобактерий – Beggiatoa alba (B. Gigantea).

Осадки насыщены сероводородом и имеют специфический черный цвет с большим содержанием $C_{орг}$ – 5 ÷ 20%.

1. Арманд А.Д., Самсонова Л.Я. Морские отложения и голоценовая тектоника района Кандалакши // Основные проблемы геоморфологии и стратиграфии антропогена Кольского полуострова. Л.: Наука, 1969. С. 96-112.
2. Олюнина О.С., Романенко Ф.А. Поднятие Карельского берега Белого моря в голоцене по результатам изучения торфяников // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы V Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. М.: ГЕОС, 2007. С. 312–315.
3. Сапожников В.В., Аржанова Н.В., Титов О.В. и др. Гидрохимические и микробиологические особенности оз. Могильного // Водные ресурсы. 2001. Т. 28. № 1. С. 58–66.
4. 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.

Small bays are separated and transitioned into freshwater lakes in consequence of land rising in Kandalaksha bay. Specific hydrological type is formed in such lakes and changed depending on isolation from the sea.

Н.В. Глазырина[1], Е.А. Глазырин[2], М.Б. Шкабурский[3]
([1]ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, eaglazyrin@mail.ru; [2]ООО «Кубаньгеоразведка», Краснодар, eaglazyrin@mail.ru; [3]ФГУГП «Кавказгеолсъемка», Ессентуки, zamglav@mail.ru;)

Биогенные литогенетические преобразования флишевых отложений (на примере верхнемеловых отложений Северо-Западного Кавказа)

N.V. Glazyrina[1], E.A. Glazyrin[2], M.B. Shkaburski[3]
([1]Sth Sc. C. Russian Academy of Sciences, Rostov-na-Donu; [2]OOO “Kubangeorazvedka”, Krasnodar; [3]FGUGP “Kavkazgeolsemka”, Essentuki)

Biogenic lithogeneous of the transformation sediments deposits (on example sediments deposits NORTHWEST Caucasus)

Отложенный в результате седиментации первичный осадок и сформированная в процессе его диагенетических преобразований осадочная порода, как известно, могут значительно отличаться, в том числе по составу, структуре и текстуре. Основу этих преобразований составляют

физико-химические процессы на стадии диагенеза. Значительный вклад в эти трансформации вносят бентосные организмы, которые преобразуют осадок на месте его отложения.

Нами изучен продуктивный разрез верхнемеловых (турон-кампан) отложений Новороссийско-Лазаревской структурно-фациальной зоны, составляющих сырьевую базу Новороссийской группы месторождений цементных мергелей. Мощность продуктивного разреза составляет около 1000 м и представлен отложениями (снизу вверх) натухайской, гениохской и ахеянской свит.

Отложения сложены флишевым переслаиванием песчаников и алевролитов (0.5-20 %), глинистых мергелей (5-70 %), мергелей (5-35 %), известковых мергелей (5-77 %), кремнистых мергелей (0-16 %), глинистых известняков (0-71 %) с различным их соотношением в отдельных интервалах разреза.

Полный флишевый ритм сложен (снизу вверх):

1. известковые алевролит и (или) мелкозернистый песчаник (часто отсутствуют, выпадают из ритмов) мощностью 0,5-5, редко до 20 см;
2. мергель глинистый (может выпадать из основания ритма в высококарбонатном разрезе);
3. мергель (может выпадать из ритма);
4. известковый мергель (может выпадать из кровли ритма в низкокарбонатном разрезе);
5. глинистый известняк (может выпадать из ритма в низкокарбонатном разрезе).

Мощность ритмов чаще всего составляет 0,1-0,6 м. Для некоторых интервалов низкокарбонатного разреза верхняя часть ритмов вместо пластов 4 и 5, может быть представлена кремнистым мергелем.

Между выделяемыми литологическими разностями существуют взаимные переходы, обусловленные вариацией соотношений двух главных составляющих пород – биогенной и терригенной.

Биогенная составляющая представлена карбонатными раковинками фораминифер, их детритом и шламом. Реже отмечаются спикулы губок, диатомеи и фрагменты литотамниевых водорослей. Биогенная составляющая обогащает верхнюю часть флишевых ритмов.

Терригенная составляющая сложена глинистым и алевро-песчаным материалом, обогащающим нижнюю часть флишевых ритмов. Алевро-песчаный материал представлен преимущественно терригенным кварцем, литокластами ниже залегающих пород, редкими мусковитом, биотитом, андезином и микроклином. Значительная роль принадлежит перемытым раковинкам микрофауны и их детрита.

В результате структура пород комбинированная - преимущественно органогенно-детритово-алевропелитовая у мергелей и глинистых известняков, до псаммо-органогенно-полидетритовой и органогенно-полидетритовой псаммитовой у песчаников.

Весьма редко в разрезе встречаются одиночные карбонатные биостромы, вероятно водорослевой природы, в виде плоских карбонатных построек мощностью 0,5-1,5 см. В разрезе постройки состоят из параллельных полупрозрачных светло-серых слойков мощностью 1-2,5 мм поперечно-шестоватой микросотовой структуры. Чаще всего они приурочены к центральным частям пластов глинистых известняков, где трассируют паузу в седиментации, разделяя нижнюю часть, сформированную из турбидитов, от верхней, сформированной в условиях перемыва отложений.

Практически все литологические разности пород имеют следы переработки ходами илоедов, которые в различной степени преобразуют исходный осадок. Максимальной переработке подвержена кровля флишевых ритмов, особенно высококарбонатных пород – известковых мергелей и, более всего, глинистых известняков.

Основные морфотипы фукоидов:

1. Плоская ползания. Проявлена в кровле мергелей в виде плоских ходов по плоскостям слоистости. Следы выполнены глауконит-известково-глинистым пеллетным материалом. В плане они имеют различную форму и ширину, что указывает на формирование разными организмами:

- длинные дугообразные шириной 1-1.5 см, редко до 2 см, без разветвлений, часто радиально расходящиеся от одного центра. Характерны для кровли известковых мергелей;

- ветвистые ходы шириной до 0.5 см. Ветви ходов имеют дугообразную форму. Распространены в мергелях, с увеличением глинистой составляющей приобретают более мелкую форму и ширину ходов.

2. Объемная радиально-лучистая. Образована расходящимися от одного центра слабо ветвящимися ходами диаметром 0.5-1 мм, выполненными грязно-зеленым глауконит-известково-глинистым пеллетным материалом. Диаметр постройки около 5 см.

3. Объемная зарывающаяся. Данная форма весьма распространена в глинистых известняках, реже в известковых мергелях. Представлена частыми, до полной биотурбации слоя, ходами диаметром от долей мм, до 1.5 см. Ходы субвертикальные, с дугообразным выполаживанием к низу. Выполнены переработанным вмещающим матриксом, но более светлым за счет уничтожения тонко рассеянного органического углеродистого материала и обеднения глинистым материалом. Проникают в слой из верхней половины пластов, отчего пласты приобретают зональность, где верхняя часть пластов полностью биотурбированная и осветленная, до мелоподобного известняка, а нижняя с все уменьшающимся количеством ходов и менее светлая. С увеличением в породе терригенной составляющей эта форма фукоидов становится все более редкой и мелкой.

В результате жизнедеятельности илоедов, помимо чисто текстурно-структурной переработки осадка в нем фиксируются и заметные изменения состава.

В первую очередь происходит обеднение рассеянным органическим углеродистым веществом. В результате этого изменяется характер диагенетической сульфат-редукции и, соответственно, проявления осадочно-диагенетической сульфидизации.

В менее проработанных илоедами мергелях содержание дисульфидов железа повышенное за счет большего содержания углеродистого материала. Характер сульфидизации тонкодисперсный, представлен преимущественно фрамбоидальным пиритом. Редкие фукоиды, особенно зарывающиеся, пиритизированы, так как служат коллекторами реакционно-способного железа и путями миграции сероводорода.

В полностью переработанных илоедами слоях органический углеродистый материал практически нацело уничтожен. Порода приобретает белый мелоподобный облик. Осадочно-диагенетическая пиритизация развивается в меньшей степени, преимущественно в отдельных фукоидах вдоль их стенок, редко полностью выполняет единичные фукоиды с образованием череночных конкреций.

Пеллетный материал фукоидов, особенно плоских ползания, подвержен интенсивному гальмиролизу с образованием глауконита и коллофана. В паузы седиментации за счет перемыва отложений донными течениями глауконит и коллофан могут дополнительно концентрироваться в кровле перемываемых ритмов. Но более всего они обогащают песчано-алевролитовые слои в основании флишевых ритмов, где их содержание достигает до 2-3 % объема и более. Они, особенно глауконит, обогащают основания слойков в пластах песчаников и алевролитов, подчеркивая своей окраской градационную косую, косо-волнистую и параллельную слоистость. Совместно с ними концентрируются фосфатные микроостатки илоедов типа конодонтов, перемытые крупные раковинки фораминифер и другой микрофауны.

В кремнистых мергелях следы илоедов служат центрами окремнения с образованием струйчатой и сгустковой структуры окремнения.

Таким образом, изученный верхнемеловой карбонатный флиш носит явные следы литогенетического преобразования илоедами. Наибольшему преобразованию подвержена кровля флишевых ритмов. При этом интенсивность преобразования флишевых ритмов обратно пропорциональна поставке терригенного материала и прямо пропорциональна длительности седиментационной паузы. С деятельностью илоедов взаимосвязано количество и форма проявления осадочно-диагенетической сульфидизации и развития гальмиролизной минерализации по пеллетам – глауконита, коллофана. Гальмиролизные минералы и фосфатные остатки бентосных организмов могут концентрироваться в значительных количествах в результате локальных перемывов нелитифицированного осадка, обогащая алевро-песчаное основание флишевых ритмов, реже кровлю перемываемых шламово-

фораминиферовых осадков – представленных ныне глинистыми известняками.

Biogenic conversion setting changes not only texture and structure, but also composition of the future rock. These changes are considered on example sediments deposits NORTHWEST Caucasus.

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

Речной сток в Северный Ледовитый океан и вероятное влияние климатических изменений на его геохимию

V.V. Gordeev
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

River input into the Arctic Ocean and probable influence of climate changes on its geochemistry

Проблема глобального потепления климата вызывает опасения человечества в связи с вероятными негативными последствиями на экосистемы, особенно в регионах высоких широт. Недавно опубликован Четвертый Оценочный Отчет [8]. Он включает анализ климатической изменчивости, основанный как на данных наблюдений, так и палеоклиматических реконструкциях и результатах моделирования современных и будущих изменений климата.

Данные многолетних наблюдений позволяют сделать следующие важные заключения:

– За последнее столетие зафиксировано значительное увеличение средней глобальной температуры воздуха. Линейный тренд за период 1906-2004 гг. – 0,74°С превышает соответствующий тренд за период 1901-2000 гг. – 0,60°С.

– Спутниковые данные свидетельствуют о сокращении площади арктических льдов на 2,7% с 1978 г., при этом в летний период снижение еще больше – 7,4% за десятилетие.

– Максимальная площадь сезонно мерзлых грунтов в Северной полусфере снизилась с 1990 г. на 7%, весной до 15%.

– Концентрации наиболее важных парниковых газов существенно возросли. В 2005 г. концентрация CO_2 была 379 ppm (доиндустриальный уровень – 280 ppm), CH_4 – 1732 ppb (было 715 ppb), N_2O – 319 ppb (было 270 ppb).

Все эти находки весьма убедительно поддерживают идею глобального потепления. В Отчете IPCC на основе этих наблюдений и целой серии различных климатических моделей делается заключение, что к 2100 г.

средняя глобальная температура воздуха возрастет по отношению к периоду 1980-1999 гг. в диапазоне от 1,8 до 4,6°С. Снижение ассимиляции CO_2 океаном и континентами при потеплении может привести к дополнительному повышению температуры на 1°С.

Однако не все опубликованные данные поддерживают данную точку зрения. Так, Поляков И.В. с соавторами [11] считают, что “данные не поддерживают гипотетического полярного усиления глобального потепления». К такому же заключению приходит проф. О.Г. Сорохтин [1].

По его мнению, климат в первую очередь, находится под определяющим воздействием солнца. В своей книге он приводит график, показывающий высокую положительную корреляцию между вариациями температуры в Северной полусфере и магнитной активностью солнца. Увеличивающаяся концентрация CO_2 в атмосфере это результат климатического потепления, а не наоборот. И дальнейшее повышение CO_2 в атмосфере приведет к климатическому похолоданию.

Автор данного доклада не ставит целью доказать или опровергнуть справедливость идеи климатического потепления.

Вопрос ставится так: Если глобальное потепление произойдет в реальности (как это утверждает отчет IPCC), то, как это может повлиять на речной сток воды и твердого материала в Арктике и как изменится при этом химический состав речного стока.

Водный сток рек. В настоящее время опубликована серия работ, в которых представлены доказательства увеличения стока рек Арктики за последние десятилетия [10 и др.]. Анализ данных Росгидромета (Peterson et al., 2002) показал, что общий ежегодный сток 6 рек Российской Арктики (Сев. Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена, Колыма) за период наблюдений с 1936 г. по 1999 г. возрастал со среднегодовой скоростью 2,0± 0,7 км^3/год, так что среднегодовой сток этих рек в 1999 г. был на 128 км^3 больше, чем в 1930-х. Это составляет около 7%. Авторы [10] полагают, что основной механизм это, скорее всего, возрастающий объем атмосферных выпадений, как предсказывают глобальные климатические модели.

Твердый сток. Анализ данных об осадочной нагрузке 145 рек Мира с периодами наблюдений 25 и более лет (для Сибирских рек до 62 лет) показал, что для 70 рек тренды отрицательные, в основном благодаря наличию плотин, и только для 7 рек имело место увеличение стока взвеси со временем [12].

Новая стохастическая модель транспорта взвеси была опубликована американскими исследователями [9]. В этой модели ежедневный сток взвеси выражается в виде функции от высоты рельефа, площади бассейна и температуры воздуха бассейна. Модель предсказывает, что при повышении температуры воздуха в бассейне реки на каждые 2°С твердый сток арктической реки будет возрастать на 30%. Модель не способна, однако, предсказать продолжительность переходного периода, который потребуется

для такого увеличения стока. Кроме того, модель также предсказывает, что увеличение водного стока на 20% приведет к 10%-ному увеличению стока взвешенного осадка.

В работе автора [6], для оценки твердого стока рек Российской Арктики использовались данные о твердом стоке рек [6], об увеличении водного стока 6 рек Арктики [10], оценки Отчета IPPC об увеличении температуры к 2100 г. в диапазоне от 1,8 до 5,6°С, а также предсказания модели американских специалистов [9] об увеличении твердого стока рек в зависимости от изменений температуры воздуха и водного стока.

Оценки показали, что при предполагаемых изменениях климата и справедливости упоминаемой модели к концу XXI века твердый сток 6-ти рек Российской Арктики увеличится от 30 до 122% относительно 2000-го года в зависимости от предсказываемого IPCC диапазона увеличения температуры атмосферного воздуха.

Сток растворенных солей. Измерения концентраций макроионов в бассейнах Оби, Иртыша, Надыма и Пура (всего 94 водотока и рек) показали, что потепление климата и таяние вечной мерзлоты, вероятно, усилят вынос растворенных солей в Карское море и всю Арктику [5]. Оказалось, что между регионами, находящимися под влиянием мерзлоты и свободными от нее, существуют большие различия. Так, средняя минерализация вод в 55 водосборах, свободных от мерзлоты, составляет 289 мг/л, тогда как в 39 водосборах, находящихся под влиянием мерзлоты (севернее 62°с.ш.) минерализация почти в 6 раз ниже – 48 мг/л. Авторы считают, что при широком развитии мерзлоты это связано с образованием барьеров, запрещающих инфильтрацию поверхностных вод через глубинные минеральные горизонты и резко ограничивающих проникновение богатых солями субмерзлотных подземных вод к поверхностным горизонтам. Авторы работы [5] подсчитали, что при полной деградации вечной мерзлоты в бассейне Карского моря вероятное увеличение выноса реками растворенных солей в море составит 59% (от текущих 46 млн.т/год до 73 млн.т/год).

Сток органического вещества. Цикл органического углерода имеет важнейшее значение для экосистем. Потепление климата с последующим разрушением вечной мерзлоты может привести к мобилизации огромных масс ОВ, поскольку в мерзлых почвах и торфах высоких широт концентрируется до половины глобального количества $C_{орг.}$ [2].

Судьба $C_{орг.}$ в арктических реках и Арктическом океане исследовалась за последние годы в ряде работ [3 и др.].

Фрей и Смит [3] определили растворенный органический углерод (РОУ) в тех же 96 водосборах Западной Сибири, что и макроионный состав, описанный выше. Оказалось, что в водосборах, подверженных влиянию мерзлоты, концентрация $C_{орг.}$ сравнительно низкая (12,3 мг/л) и не зависящая от степени распространенности мерзлоты, тогда как в водосборах

без мерзлоты концентрация РОУ возрастает до 60-70 мг/л и выше и прямо коррелирует с интенсивностью распространения мерзлоты. Авторы утверждают на основании предсказаний их модели, что площадь поверхности, ограниченная изотермой температуры воздуха -2°С в Арктике, удвоится к 2100 году, а именно эта температурная граница является разделом для водосборов с наличием и отсутствием мерзлоты.

По оценкам авторов это может привести к 29-46% росту стока РОУ в Арктику. Эти оценки были получены при допущении, что никаких изменений водного стока и процессов в русле рек не будет происходить, что заведомо неверно.

Авторы [7] сделали попытку оценить изменения стока растворенного и взвешенного $C_{орг.}$ (РОУ и ВОУ) реками Российского Арктики к 2100 году, учитывая полученные ранее оценки увеличения водного стока (на 18-70%, Peterson et al., 2002), твердого стока (на 30-122%, [6]) и увеличению концентрации РОУ (на 400% в воде Надыма и Пура при 50% охвате водосбора торфами). Оценки показывают, что к 2100 году вынос РОУ 6-ю реками Арктики увеличится на 350-500%, ВОУ на 130-215%, а сток общего (растворенного и взвешенного) $C_{орг.}$ возрастет на 310-440%!

Сток биогенных элементов. Наряду с макроионам и РОУ в 96 реках и водотоках Западной Сибири, авторы [4] определили в воде этих водосборов также некоторые формы азота и фосфора. Изучались растворенный органический азот, нитраты, аммонийный и общий растворенный азот, а также общий растворенный фосфор. Как и в случае макроионов и РОУ, авторы нашли более высокие концентрации растворенных $N_{орг.}$, общих N и P в водосборах без влияния мерзлоты, тогда как для нитратов и аммонийного азота не было зафиксировано статистически значимых различий для водосборов под влиянием мерзлоты и при ее отсутствии. Грубые оценки показали, что таяние мерзлоты при повышении температуры воздуха к 2100 году приведет к повышению концентрации $N_{орг.}$ на 32-53%, общего N на 30-50% и общего P на 29-47%.

Как относиться к оценкам подобного рода? Понятно, что важнейшим движущим фактором является увеличение глобальной температуры воздуха. За основу берутся данные из доклада [8], в котором вопрос потепления климата не ставится авторами под сомнение, а обсуждается только его интенсивность (1,5 или 6°С). Однако выше уже упоминались работы авторов, не согласных с этими выводами [1, 11].

Рассмотрим наиболее слабые моменты в представленных выше прогнозных оценках.

– В настоящее время плохо изучены и поняты обратные реакции на повышение температуры, изменения атмосферных выпадений, речного стока и т.д.;

– Даже оценки современного речного выноса РОУ и биогенов в Арктике не всегда надежно определены, часто не учтены сезонные вариации стока;

– Высоко нелинейные процессы деградации вечной мерзлоты при потеплении делают оценки стока ОВ и биогенов еще более неопределенными;

– Отсутствуют какие-либо оценки потоков РОУ, ВОУ, ООУ и биогенов за счет прибрежной эрозии при потеплении.

Таким образом, наличие множества факторов, которые нет возможности учесть в настоящее время, не позволяет даже оценить степень надежности представленных оценок.

1. Сорохтин О.Г. Жизнь Земли. Институт компьютерных исследований, Москва-Ижевск, 2007
2. Dixon R.K. et al., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, v. 263, p. 185-190
3. Frey K.E., Smith L.C., 2005. Amplified carbon release from vast West Siberian peatlands by 2100. J. Geophys. Res. Lett., v. 32, doi: 10.1029/2004.
4. Frey K.E., McClelland J.W., Holmes R.M., Smith L.C., 2007. Impact of climate warming and permafrost thaw on the riverine transport of N and P to the Kara Sea. J. Geophys. Res., v. 112, doi: 10.1029/2006 JG 000369.
5. Frey K.E., Siegel D.I., Smith L.C., 2007. Geochemistry of West Siberian streams and their potential response to repmafrost degradation. Water Res. Res., v.43, W03406, doi: 1029/2006WR004902.
6. Gordeev V.V., 2006. Fluvial sediment flux to the Arctic Ocean. Geomorphology, v. 80, p. 94-104.
7. Gordeev V.V., Kravchishina M.D., 2009. River flux of dissolved organic carbon (DOC) and particulate organic carbon (POC) to the Arctic Ocean: what are the consequences of the global change? In.: Influence of Climate Change on the Changing Arctic and Sub-Arctic Conditions. J.C.J. Nihoul, A.G. Kostianoy (eds.). NATO series C: Environmental Security, Springer, p. 145-160.
8. IPCC Fourth Assessment Report. Climate Change, 2007. In.: Solomon S., Qin D., Manning M. et al. (eds.). The Physical Science Basis. Cambridge University Press, UK/New York.
9. Morehead M.D., Syvitski J.P., Hutton E.W., Peckman S.D., 2003. Modeling the temporal variability in the flux of sediment from unganged river basins. Global Planet Change, v. 39, p. 95-110..
10. Peterson B.J., Holmes R.M., McClelland J.W. et al., 2002. Increasing river discharge to the Arctic Ocean. Science, v. 298, p. 2171-2173.
11. Polyakov I.V., Alekseev G.V., Bekryaev R.V. et al., 2002. Observationally based assessment of polar amplification of global warming. Geophys. Res. Lett., v. 29, doi: 10.1029/2001 GL 011111.
12. Walling D.E., Fang D., 2003. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. Global Planet Change, v. 39, p. 111-126.

The expected global climatic changes may affect a whole spectrum of natural

and human systems in the Arctic region. Many publications have appeared recently with new data of measurements and model calculations of present and future concentrations and fluxes of major elements, organic matter and nutrients in the Arctic rivers. They show that in a case of global climate warming to 2100 in accordance with the IPCC report in a range between 1,8 and 5,6 C the fluxes of all these elements and components will be increased significantly due to permafrost thawing and delivery of materials to the arctic rivers and streams

В.А. Гриценко[1], А.В. Килесо[2], В.В. Кортишко[2]
([1]Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, e-mail: gritsenko_vl@mail.ru, [2]Российский государственный университет им. И. Канта, Калининград, e-mail: ocean@kantiana.ru)

Изменчивость придонных градиентов скорости вдольсклоновых течений и ресузпензия донных осадков

V.A. Gritsenko[1], A.V. Kileso[2], V.V. Kortishko[2]
([1]Atlantic Branch of Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, [2]Immanuel Kant State University of Russia, Kaliningrad)

The variability of the downslope currents' bottom velocity gradients and the bottom sediment re-suspension

Хорошо известна роль придонных течений в процессах переноса и переотложения взвеси или донных осадков. В морской геологии существуют различного рода эмпирические интервальные оценки, дающие достаточно грубую связь скорости течения с его способностью к переносу взвеси или ресузпензии осадков. Соответствующие полуэмпирические критерии опираются, как правило (Шепард, 1969), на оценки различного рода градиентов полей скорости и плотности течений или их сочетания. Целью данной работы является анализ придонных градиентов скорости и плотности для вдольсклоновых плотностных течений.

В работе был выполнен анализ динамических условий седиментации для двух режимов придонных стратифицированных по плотности течений - традиционного, вдольсклонового при распространении течения по горизонтальному или слабонаклонному дну с уклоном до 5-7° и волно-вихревой, возникающий на достаточно крутых склонах дна - от 10-15° до 45°. В расчетной модели используется соленостный вариант стратификации. Массивы расчетных течений были получены на нелинейной 2d модели (Гриценко, Юрова, 1997). Исходная система уравнений модели имела следующий вид:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{g}{\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial z} + \nu_T\,\Delta\omega, \quad \frac{d\rho}{dt} = D_T\,\Delta\rho, \quad \Delta\psi = \omega, \quad \frac{dc}{dt} = D_T\,\Delta c,$$

где ω – завихренность, ψ – функция тока, g=982 см/с^2, ρ_0 – плотность пресной воды, а ρ – соленой, $\nu_T=\nu_0+c\ \nu_{ЭФ}$, $D_T=(Sc)^{-1}\nu_T$ – коэффициенты турбулентных вязкости и диффузии, Sc=2, $\nu_{ЭФ}=\sqrt{Re}\cdot\nu_0$, $Re=u_0h_0/\nu_0$, C-трассер водной массы течения. Конечно-разностные уравнения модели построены на сетках 701x121, 401x321 и 701x621 ($\Delta x=\Delta z=0.05$) по явной схеме с направленными разностями. Значения размерных параметров изменялись в диапазонах: $\Delta\rho_0$ - от 0.0005 до 0.005 г/см^3, h_0 - от 1 до 1000 см, u_0 - от 1 до 20 см/с, $\nu_{ЭФ}$ - от 0.3 до 5.0 см^2/с.

На рис. 1 и 2 приведены типичный вид распределений плотности для обоих режимов распространения придонных течений и поля градиентов вдольсклоновой компоненты скорости. На рис. 1 приведены также графики изменчивости вдоль склона дна значений вертикального градиента горизонтальной скорости (1б) и горизонтального градиента вертикальной скорости (1в). Данные параметры влияют на условия седиментации вблизи дна. Оценка величин касательного напряжения на дне производилась в контексте традиционно подхода $\tau=\mu\,\partial u/\partial z$ (Шлихтинг, 1974).

Из рисунка отчетливо видно наличие возмущений вязких касательных взаимодействий вод течения с дном. Приведенные графики свидетельствуют о том, что градиенты скорости в придонной области в головной части придонного течения в направлении, перпендикулярном дну и вдоль дна, имеют резкие скачки, что может способствовать вовлечению осадочного материала в придонное течение и его последующему переносу. Совершенно очевидно, что появление такого рода возмущений на фоне вязкого пограничного слоя может значительно усилить воздействие придонного потока на верхний слой осадочного материала и привести к появлению локальных зон его размыва.

На рис. 2*а,б* приведен распределения изолиний плотности для двух фаз волно-вихревого вдольсклонового течения.

На изолиниях плотности отчетливо виден волнообразный характер верхней границы течения. Приведенные на рис. 2*в* и 2*г* распределения изолиний модуля градиента вдольсклоновой компоненты скорости течения и локального числа Ричардсона свидетельствуют о квазипериодическом характере касательных взаимодействий потока с дном. Важнейшим здесь представляется то обстоятельство, что величина градиентов скорости в придонной области, фактически, пульсирует. Особенно интересным выглядит распределение вертикального градиента вдольсклоновой компоненты скорости в придонной области течения (рис. 3).

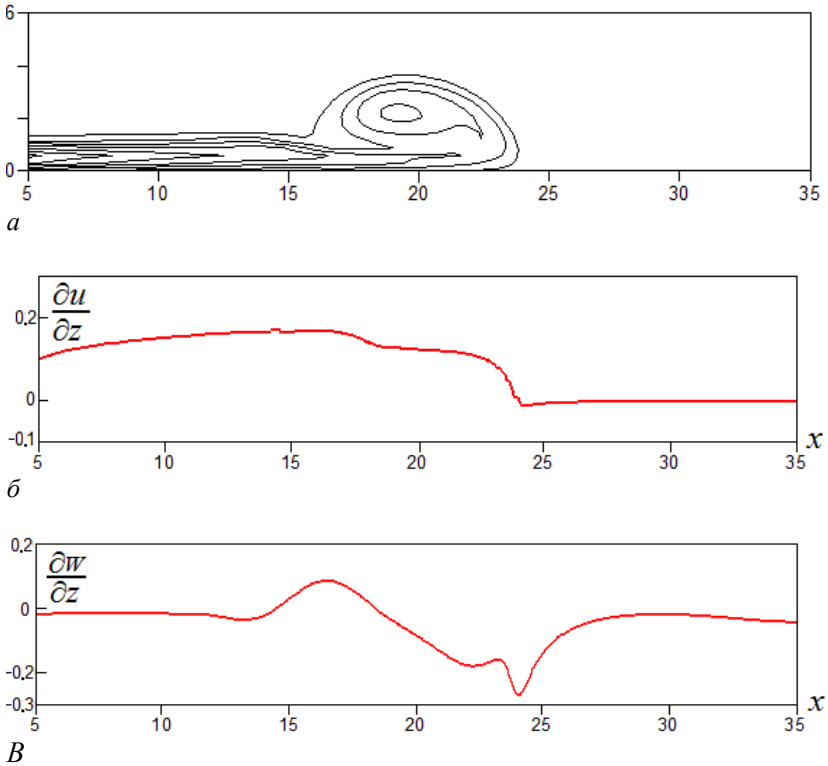


Рис. 1. Распределения значений изолиний плотности (*а*) для одного из расчетных придонных течений. Значения изолиний плотности пробегают (сверху-вниз) значения 0.05; 0.15; 0.25; 0.35; 0.45; 0.55; 0.65; 0.75. График изменчивости вдоль линии дна вертикального градиента горизонтальной скорости (*б*) и горизонтального градиента вертикальной скорости (*в*). Характерные параметры течения: сетка 701x121, $\Delta\rho_0$=0.0001 г/см^3 u_0=3 см/с, $\nu_{эфф}$=10^{-1} см^2/с, уклон дна равен 7°.

Изолинии значений числа Ричардсона позволяют выделить зоны возможной генерации мелкомасштабной турбулентности, которая также является существенным источником возмущений в придонной области.

Таким образом, анализ расчетных данных свидетельствует о значительной пространственной и временной изменчивости градиентных полей в придонной области течения, что может играть существенную роль в процессах транспорта и ресузпензии донных осадков.

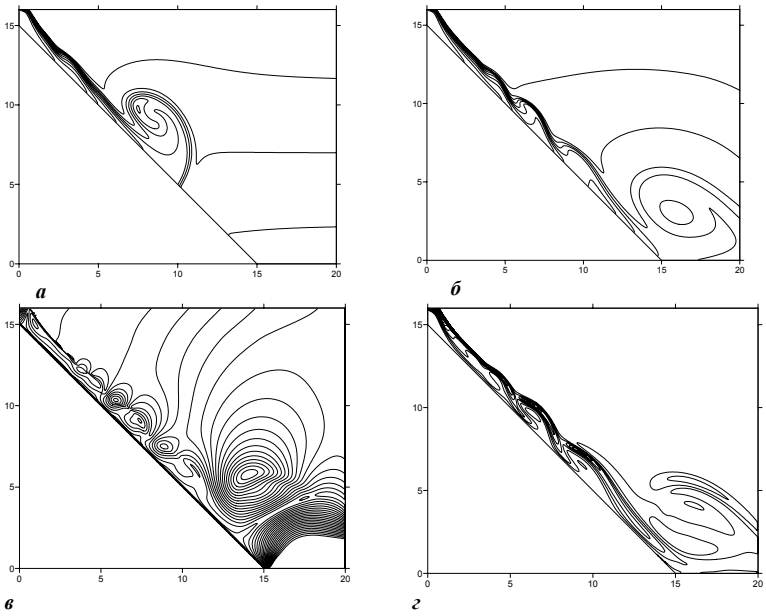


Рис. 2. Распределения значений изолиний плотности (*а, б*), модуля градиента вдольсклоновой компоненты течения (*в*) и изолиний локального числа Ричардсона (*г*) для одного из расчетных вдольсклоновых течений с волно-вихревым режимом распространения. Характерные масштабы течения: $\Delta\rho_0$=0.0001 г/см^3, h_0=1000 см, u_0=10 см/с, $\nu_{эфф}$=5*10^{-1} см^2/с.

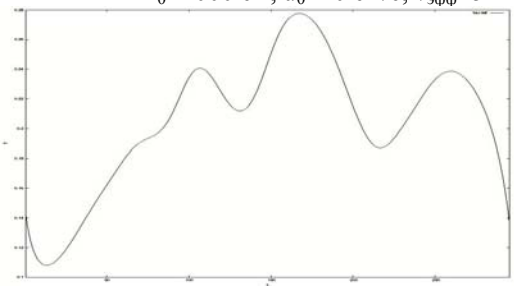


Рис. 3. Градиент вдольсклоновой компоненты скорости придонного течения вдоль склона дна, распределения значений изолиний плотности которого представлены на рис. 2*а* и 2*б*.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 09-05-00446а и ФЦП «Мировой океан», проект 2008-МО-5-09.

The analysis of the down-slope currents' bottom velocity and density gradients variability along the bottom is made using the computative current array for the two regimes of the down-slope currents' propagation - the bottom one and the vortex-wave one. The assumption of the potential role of such kind of conditions in sedimentation processes is made.

Ю.Н. Гурский
(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва; e-mail: yurgur@list.ru)

Геохимия анаэробных и обменных процессов на нижнем этаже маргинального фильтра

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

The geochemistry of anaerobic and exchange processes in the ground floor of marginal filter

Явление маргинального фильтра было открыто и описано акад. А.П. Лисицыным [1, 2] и исследовано им и его коллегами, на барьере река–море в различных районах Мирового океана и в многочисленных эстуарных зонах [3, 4]. Главное внимание в этих работах было обращено на особенности условий извлечения и осаждения на дно осадочного материала из речной воды по мере смешения её с морской водой, что определяет последовательную смену этапов развития всей системы в горизонтальном профиле водной толщи от поверхности до дна эстуария. Однако не меньший интерес и не меньшую важность представляют геохимические и гидродинамические процессы, которые развиваются под дном эстуария – в донных отложениях и взаимосвязанной обменной системе осадок – иловая вода – придонная вода, т.е. на нижнем этаже маргинального фильтра. Именно здесь, в сравнительно небольшой по мощности (1–3 м и более) толще свежих, рыхлых, неконсолидированных осадков и происходит самое главное – растворение, перестройка форм, концентрационный и межфазовый перенос, общая трансформация и уплотнение осадочного материала. Ведь на осаждение частиц речной взвеси и коллоидов в зоне эстуариев при сравнительно небольших глубинах уходят месяцы, дни, может быть даже часы. В геологическом смысле это процесс мгновенный. Но для развития процессов раннего диагенеза в современных отложениях природой отпущено гораздо большее время: это десятки, сотни, тысячи и даже десятки тысяч лет.

При проведении исследований по этой проблеме нами накоплен значительный материал, главным образом по приустьевым зонам внутренних морей[5, 6]. С начала 1970-х гг. был изучен химический состав

макро- и микроэлементов иловых вод на барьере река–море или в приустьевых зонах следующих рек внутренних морей: Дуная, Днепра, Буга, Риони, Мзымты, Бзыби, Сочи, Супсы, Чороха (Черное море); Кубани, Дона (Азовское море); Волги, Урала, Куры (Каспийское море); Невы, Немана, Даугавы (Балтийское море); Роны и Нила (Средиземное море). Как правило, на каждой станции исследовали также пробы придонной воды, несколько реже – пробы воды с поверхности водоема.

Наиболее детальные исследования проведены в Днепровско-Бугском лимане Черного моря, где выполнено 6 сезонных съемок (весна–осень). В каждую из них на 11–12 стандартных станциях отбирали поверхностную, придонную воду и колонки донных отложений, из которых отжимали иловую воду. В воде определяли Cl^-, Alk, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, $N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_2$, Fe, Mn, Zn, Cu, P, иногда – углеводы и ряд других компонентов. В воде и донных отложениях измеряли pH и Eh. Проводились химический, спектральный, рентгенорадиометрический анализы осадков. Результаты исследований показали, что в зоне смешения соленость иловой воды всегда выше, чем придонной, т.к. идет расслоение вод по плотности. В осадках накапливается большое количество органического вещества, что способствует резкой активизации диагенетических процессов.

Под поверхностью дна при минерализации органического вещества развивается сульфатредукция, формируются анаэробные условия, резко понижаются величины pH (до 6,8) и Eh (до -280 мВ), что приводит к растворению и переходу в жидкую фазу биогенных элементов, микроэлементов и других компонентов осадка. Редукция сульфатов и накопление биогенных элементов резко активизируются в приустьевой зоне. При этом концентрации Alk, NH_4, Si, P, I, Mn, Fe, Zn, Cu в иловой воде возрастают в десятки, сотни и тысячи раз по сравнению с содержанием их в придонной воде, а концентрация сульфатов снижается до минимума. Градиенты солености ($\sum M$), Cl^-, Mg^{2+}, Na^+, $N\text{-}NH_4^+$, Mn, Zn, Cu, Fe и концентрации многих других элементов между иловой и придонной водой возрастают от периферии к центральным частям зоны смешения, особенно во время весенних паводков (рис.1). Происходит вынос химических элементов из иловой воды в придонную воду и далее – в море и океан. Наиболее ярко эти закономерности проявлены в эстуариях закрытого типа (например, в Днепровско-Бугском лимане), а в климатическом отношении – в морях и эстуариях гумидной зоны.

На нижнем этаже маргинального фильтра в эстуариях доминирующим является солевой фактор, характеризующий процесс смешения речной и морской воды, который, по данным факторного анализа, может определять от 1/4 до 1/3 суммарной изменчивости химического состава иловых вод в зоне смешения. По степени ослабления влияния речного стока в открытых эстуариях можно выделить три геохимические фации иловых вод: 1) ближайшую к устью реки, с преобладанием слабо осолоненных речных вод

и активизацией биогенного процесса на локальных участках дна; 2) фацию слабо опресненной морской воды в пределах устьевого взморья на большей части шельфа, с постепенным повышением Cl и ΣM на профиле река–море и некоторым ослаблением интенсивности биогенного процесса; 3) фацию весьма слабого локального опреснения иловой воды на окраине шельфа, иногда на континентальном склоне и за его пределами, где активизируется биогенный процесс в подзонах аккумуляции осадков. Эта фация может прослеживаться на десятки и сотни км от устья реки при достаточной мощности речного стока (приустьевые зоны Дуная, Волги, Нила).

Установлена качественная связь главных особенностей геохимических фаций иловых вод с основными этапами развития маргинального фильтра в водной толще. Клин пресных вод дальше проникает в море от устья реки у поверхности и в водной толще, чем в иловой воде, где степень осолонения всегда выше. Это определяет наличие градиентов концентраций элементов между придонной и иловой водой.

В региональном плане наибольшая активность биогенных процессов, неизменно занимающих второе место в факторном анализе после основного процесса смешения, и наибольшие количества биогенных компонентов наблюдаются в эстуариях закрытого типа (Днепровско-Бугский лиман). Среди приустьевых зон открытого типа близкое по интенсивности развитие биогенного процесса с аномально высокими концентрациями биогенных компонентов отмечено в Азовском море в приустьевой зоне р. Кубани. Весной в послепаводковый период наблюдается общая активизация биогенного процесса с дополнительным поступлением терригенного ОВ, его минерализацией и накоплением биогенных компонентов. Осенью отмечаются локальные биогенные аномалии, связанные с более глубоким развитием этого процесса. В вертикальном профиле донных отложений Днепровско-Бугского лимана, в приустьевой зоне р. Кубани и других районах, нередко наблюдается резкое обогащение верхних горизонтов иловых вод биогенными элементами и металлами на фоне более равномерного их распределения в колонках с глубиной. Обычно эти аномалии коррелируют с соответствующими колебаниями величин pH и Eh.

Третьим по значению в приустьевых зонах является процесс окислительного диагенеза, который проявлен на окислительно-восстановительном барьере, в самых верхних или подповерхностных слоях донных отложений. Он наблюдается также в нижних слоях колонок на глубинах >1–2 м при затухании сульфатредукции, при наличии подрусловых потоков и в связи с активизацией гидродинамического режима на локальных участках дна. Величины Eh при этом повышаются, а pH понижаются. Следствием является окисление сероводорода и сульфидов, с образованием вторичных сульфатов, при одновременном понижении щелочности иловой

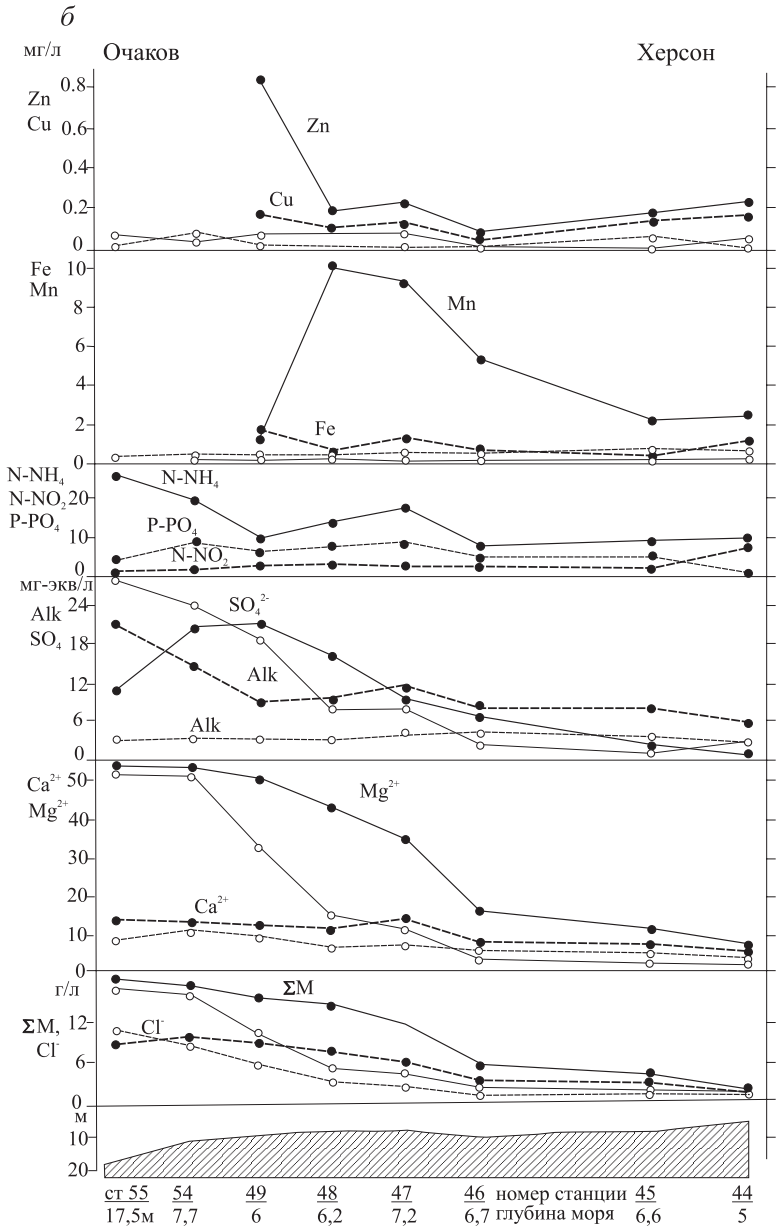


Рис. 1. Распределение элементов и ионов в Днепровском лимане на профиле река – море по результатам весенней съемки (май). Залитые точки – иловая вода, незалитые – придонная.

воды. Концентрации SO_4, Ca, NO_2, NO_3, Mn, иногда Co и ряда других металлов в иловой воде повышаются, а содержание фосфора понижается (P и Fe накапливаются в осадках). Проявление этого процесса наблюдалось как в открытых, так и в закрытых эстуариях в разные сезоны года, но, в особенности, во время паводков. Чаще всего он активизируется в непосредственной близости от устья реки. Основные результаты развития окислительного процесса подтверждены экспериментальными наблюдениями.

В приустьевых зонах многих рек установлено закономерное накопление марганца в верхних (1–2 см, реже – до 10 см и >) горизонтах иловой воды, у редокс-барьера в зоне смешения и в ближайшей к устью части эстуария. Обычно им сопутствуют аномалии Mn во вмещающем осадке. Содержание Mn в Днепровско-Бугском лимане у поверхности дна достигло 10–17 мг/л при средних содержаниях в наддонной воде 0,047 и 1,9–4,1 мг/л в иловой воде. В Балтийском море на ближайшей к устью р. Невы станции в верхних слоях резко повышено количество Mn и Fe – до 46 и 9 мг/л (во вмещающих осадках – 8,3 и 0,6% оксидов Fe и Mn, присутствуют Fe-Mn конкреции). В иловой воде здесь также повышено содержание V, Ni, Pb, Cu, Cd, Cr, Zr.

Наиболее высокие аномалии Mn отмечены в устье р. Риони, также в верхних слоях. На прибрежной станции устьевого взморья обнаружено 49 мг Mn/л, а на ближайшей станции в русле реки – 92 мг/л. В осадках содержание Mn достигло 1,5% при фоновых концентрациях 0,05–0,08%.

При наличии антропогенных загрязнений, поступающих с речным стоком, возрастает вероятность вторичного загрязнения водоемов, связанная с выносом загрязнений из донных отложений в иловую и наддонную воду, что особенно часто наблюдается во внутренних морях.

1. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735-743.
2. Lisitzin A.P. The continental-ocean boundary as a marginal filter in the World Oceans // Biogeochemical cycling and sediment ecology. Dordrecht: Kluwer, 1999. P. 69-109.
3. Лисицын А.П., Демина Л.Л., Гордеев В.В. Геохимический барьер река–море и его роль в осадочном процессе // Биогеохимия океана. М.: Наука, 1983. С. 32-50.
4. Гордеев В.В. Система река–море и ее роль в геохимии океана. Автореф. дисс. …доктора геол.-мин. наук. М. ИО РАН. 2009. 36 с.
5. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Том 1. Методы изучения и процессы формирования химического состава иловых вод в отложениях Черного, Азовского, Каспийского, Белого, Балтийского морей. М.: ГЕОС, 2003. 332 с.
6. Гурский Ю.Н. Геохимия литогидросферы внутренних морей. Т. 2. Иловые воды Красного и Средиземного морей. Зоны эстуариев.

Закономерности формирования и классификация литогидросферы. М.: ГЕОС. 2007. 450 с.

Interstitial waters formation from the river mouth within inland seas has been investigated. There the role of sulphate reduction, and other processes in the water-sediment system was revealed. Laws of sulfate-reduction, chemical exchange in the system “sediments – interstitial water – near-bottom water”, relation of anaerobic and oxidizing processes in the mixing zone have been studied.

В.Б. Дарницкий[1], М.А. Ищенко[2]
([1] Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, e-mail: laitik@mail.ru, [2]Тихоокеанский Океанологический Институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, e-mail: maksim@poi.dvo.ru)

Биологическая продуктивность и особенности океанографии в районах подводных гор юго-восточной Пацифики (хребты Наска и Сала-и-Гомес)

V.B. Darnitskiy[1], M.A. Ishchenko[2]
([1]Pacific Scientific Fisheries Research Center, [2]V.I.Il`ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS)

The biological productivity and oceanography peculiaritys in seamount areas in the South-Eastern Pacific (Nazca and Sala-y-Gomez Ridges)

Первые советские рыбохозяйственные исследования подводных хребтов Наска, Сала-и-Гомес в юго-восточной части Тихого океана проводились экспедициями ТИНРО в пределах координат 15-30° ю.ш., 78-105° в.д. в разные сезоны 1973-1979 г.г. Хребты располагаются в системе ветвей холодного прибрежного и более теплого Перуанского океанических течений, составляющих восточную часть южного субтропического круговорота вод [1]. Над хребтами выполнялись гидрологические станции, велись сборы мезо- и макропланктона сетью Джеди (d=37 см, газ № 38) и тралом Айзекса-Кидда (вставка из газа № 15), производились отборы желудков у рыб, изъятых из донных тралов на глубинах от 90 до 1200 м [4].

Исследования в районе хребта Наска проводились экспедициями на НПС «Посейдон» и «Геракл» в 1973-1974 г.г. В 1975-76 г.г. в рейсе НПС «Геракл» съемкой был охвачен район хребта Сала-и-Гомес. Анализ полученных материалов в совокупности с данными последующих работ позволил составить представление об особенностях формирования биологической продуктивности в областях восточных горных систем.

В морфологическом отношении хребет Наска представляет собой крупную асейсмичную морфоструктуру, ориентированную в северо-восточном направлении под углом около 45° относительно Перуано-Чилийского желоба, к которому он примыкает на северо-востоке. На юго-западе хребет протягивается примерно до 83-го меридиана западной долготы и подходит к восточной части разлома Пасхи. Хребет Наска - сводовое поднятие, оконтуривается изобатой 4000 м. У южной периферии хребта отмечается ряд одиночно стоящих гор. В рейсах судов «Посейдон» (1973-74 г.г.), «Геракл» (1975-76 г.г.), «Глобус» (1979 г.) (ТУРНИФ); НПС «Звезда» (1978 г.) (Запрыбпромразведка) были обследованы наиболее высокие вершины хребта, топография которых оказывает существенное влияние на океанологические и биологические условия окружающих вод (рис. 1).На этом разрезе хорошо видны возмущения океанографических характеристик, обусловленные топографией подводных гор. Причем, если в поле температуры большими возмущениями охвачен верхний 200 м слой, то в поле солености и кислорода возмущения отражаются в ходе изолиний во всем 1000 м слое.

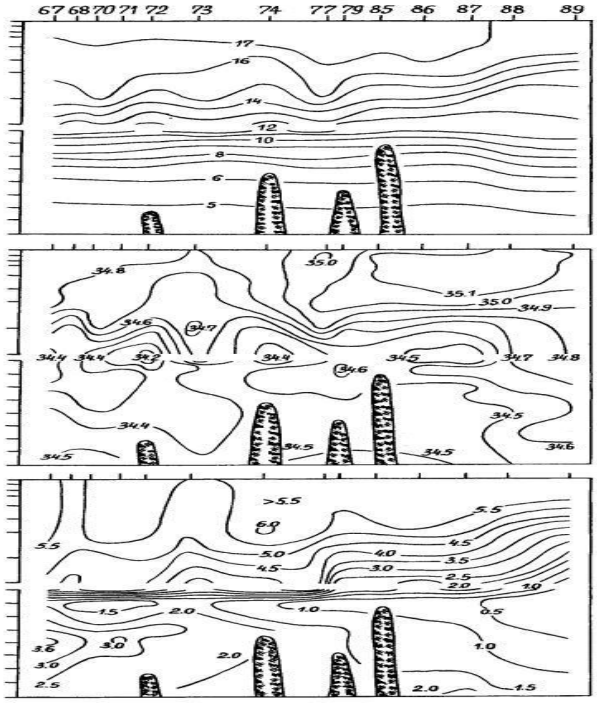


Рис. 1. Распределение температуры (ºС) - (А), солености (‰) - (Б) и кислорода (мл/л) - (В) на разрезе вдоль хребта Наска в ноябре 1975 г. НПС «Геракл»

В осевой части хребта Наска известно 13 подводных гор с минимальными глубинами от 735 до 135 м. Горы, глубины над которыми не превышают 400 м имеют уплощенные, подверженные абразии вершины. У гор, объединенных общим цоколем, а также прилегающих в южной части хребта, свал глубин наблюдается на уровнях от 340-350 (в северной части) до 300-320 м (в юго-западной части). У поднятий, расположенных западнее основного хребта перегиб склона отмечается на глубинах 430-450 м.

Хребет Сала-и-Гомес являетя сейсмичной морфоструктурой, вероятно, более молодой, нежели хребет Наска. Протягивается в широтном направлении от Восточно-Тихоокеанского поднятия до 85° з.д. более чем на 1200 миль параллельно разлому Пасхи. По результатам батиметрической съемки, выполненной в рейсе НПС «Геракл» [2] установлено, что настоящая геоструктура выражена серией взаимосвязанных горстовых хребтов и вулканических гор. Глубины над гребнями хребтов и гор нередко составляют менее 1000 м, причем у возвышенностей, минимальная глубина над которыми 400 м и менее, вершины имеют уплощенную форму с довольно ровной поверхностью. В настоящее время имеются сравнительно полные сведения о 14 наиболее высоких поднятиях [5].

Хребет Наска, ориентированный почти по нормали к перуанскому берегу, находится под влиянием прибрежной ветви Перуанского течения и Перуано-Чилийского противотечения, относится к высокопродуктивным. Концентрация кремнекислоты (из биогенного комплекса этого региона) увеличивается здесь от 50 (в слое 0-200 м) до 2250-2460 мкг/л (на глубине 1000 м). Биомасса мезопланктона в слое 0-100 м изменялась в пределах от 90 до 15100, и в среднем составляла 1750 мг/м^3, макропланктон имел биомассу 0,5-35,0 , в среднем 9,5 г/1000 м^3 .

Хребет Сала-и-Гомес, ориентированный в зональном направлении, оконтуривающий с севера Чилийскую котловину, находится под влиянием океанической ветви Перуанского течения и его противотечения, относится к менее продуктивным. Содержание кремнекислоты изменялось здесь от 10 (0-200 м) до 1800 мкг/л (на глубине 1000 м).

Биомасса мезопланктона составляла 10-450, в среднем 115 мг/м^3, макропланктона 0,3-5,0, в среднем 2,5 г/1000 м^3.

Кремнекислота является одним из показателей потенциальной биологической продуктивности вод в Южном океане. В районе подводных гор ее распределение носит неоднородный характер с увеличением концентраций в пограничных слоях трения, имеющих куполообразный характер над вершинами гор.

Эти два сопряженных под углом хребта имеют различные концентрации кремнекислоты в верхнем 1000 м слое, что вероятно может отражаться и на биопродуктивности окружающих вод.

В районе хребта Сала-и-Гомес в верхнем 500 м слое концентрации кремнекислоты были в 5 раз меньше, чем над хребтом Наска. На глубине

1000 м концентрации кремнекислоты в пределах хребта Наска оказались выше на 450-660 мкг/л. По-видимому, запас биогенных элементов является здесь главной причиной дифференциации биологической продуктивности над различными хребтами. Это, в свою очередь, может быть обусловлено динамикой макромасштабного антициклонического круговорота вод южной Пацифики, по отношению к которому хребет Сала-и-Гомес занимает более центральное (в географическом отношении) положение и его омывают менее динамичные воды центральной части круговорота.

Хребет Наска, напротив, расположен ближе к перуанскому апвеллингу и ориентирован почти по нормали к основным течениям. В целом продуктивность вод по мезо- и макропланктону в районах хребта Наска (общая биомасса планктонных организмов) в локальных участках оказалась в 1970-е гг. в 4-34 раза выше, чем в районе гор хребта Сала-и-Гомес.

В районах подводных гор этих хребтов продуктивность вод в среднем в 3-15 раз выше, чем в окружающих океанических водах. Высокая продуктивность вод районов подводных гор, сравнимая с шельфовыми зонами, объясняется взаимодействием водных масс с рельефом подводных гор, приводящим к возникновению турбулентных вихрей различных масштабов.

Рассматриваемые районы различаются биогеографически по планктону и ихтиофауне [6]. В ихтиофауне хребта Наска в те годы было определено около 80 видов рыб, а в районе хребта Сала-и-Гомес не более 60. В планктоне в слое 0-350 м обнаружено 94 вида, из них 81 - в районе хребта Наска и 65 – на акватории Сала-и-Гомес. В районе хребта Сала-и-Гомес не были обнаружены экваториальные и периферические виды, а вблизи гор Наска – центральные виды. В районе Наска в зимне-весенний период наблюдалось смешение вод и фаун различного происхождения - тропических, субтропических и субантарктических. Последнее, по видимому, объясняется более динамичными процессами в Перуанском течении, способствующем интенсивному смешению фаун в меридиональном направлении.

Исследование массовых видов рыб позволило определить типы их питания и выделить определенные трофические комплексы [3]. При этом у ряда видов по мере их роста обнаружена смена питания и тенденция освоения больших глубин.

В одни и те же сезоны над различными подводными возвышенностями концентрация корма, интенсивность питания рыб и их уловы были неодинаковыми. В зонах наиболее интенсивного подъема вод и выноса биогенных элементов биомасса мезо- и макропланктона повышалась до 500 мг/м^3 и 10 г/1000 м^3. Здесь наблюдались более плотные скопления рыб и выше интенсивность их питания (в частности, красноглазки, эпигонуса, ставриды) в 3-5 раз, чем на горах с меньшей концентрацией панктона. Скопления рыб отсутствовали при биомассе мезо- и макропланктона менее

100 мг/м^3 и 1 г/1000 м^3. В условиях окружения гор олиготрофными водами на больших глубинах концентрация корма является одним из определяющих факторов интенсивности питания рыб и, соответственно, плотности их скоплений.

Наблюдения показали, что некоторые биологические объекты весьма чувствительны к изменению концентраций растворенного кислорода у дна. Например, вертикальные миграции лангустов были связаны с динамикой слоя кислородного минимума. Периодичность хорошей промысловой обстановки на некоторых подводных горах хребта Наска изменялась в пределах 4-7 суток. Это близко к естественному синоптическому периоду в атмосфере над районом ЮВТО. Изменчивость плотности промысловых концентраций биологических объектов объясняются их короткопериодными миграциями вдоль горных архипелагов.

Межгодовая изменчивость рыбопродуктивности в районах подводных гор должна подчиняться также региональным циклам атмосферы и океана, дифференциация которых в Мировом океане проявляется на различных уровнях организации морских экосистем (Дарницкий, Ищенко, 2008). В докладе будет сделано обобщение ритмических процессов в этой области океана по литературным источникам и данным, полученных путем обработки Мировой базы Левитуса последней версии (2006).

1. Бурков В.А. Общая циркуляция Мирового океана – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 253 с.
2. Бек-Булат Г.З. Факторы среды и промысловая обстановка // Рыбное хозяйство. 1988. № 8. С. 45-46.
3. Ермаков Ю.К., Дарницкий В.Б. Результаты исследования ихтиофауны банок и островных склонов тропической зоны Тихого океана (отчет о 10 рейсе НПС «Лира»). Владивосток, 1971. Архив ТИНРО-Центра, № 12624. 125 с.
4. Маркина Н.П., Дарницкий В.Б. Перераспределение продуктивных зон в связи с изменением условий среды в Южном океане // Всесоюзная конференция по теории формирования численности и рациональному использованию стад промысловых рыб. М., 1982. С. 216-219.
5. Описание подводных гор и поднятий промысловых районов Мирового океана (открытая часть). Том II. Тихий океан. // Л., ГУНИО, 1989. 388 с.
6. Парин Н.В. Основные особенности географического распространения рыб эпипелагиали // Тихий океан. Биология Тихого океана.– М., 1967. Т.III. Рыбы открытых вод. С. 128-139.

In the South-East Pacific there is two conjugate submarine ridges, where TINRO have been made some oceanographic and biological investigations last century. The complex analyses of the oceanographic survey and Levitus's oceanographic data base are made in this paper. The cyclic processes have been

established in that regions and different levels of biogenic elements on the top of seamounts also was install.

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

Тяжелые металлы в глобальных биофильтрах океана

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

Heavy metals in the global ocean biofilters

Термин «биофильтр», сначала применявшийся в изучении активности фильтрующих бентосных организмов и зоопланктона [1-3], позднее был расширен для характеристики биоседиментационной деятельности морских организмов, которые трансформируют растворенные химические элементы во взвесь, используя, наряду с фильтрацией, и биосинтез [4, 5]. Работа биофильтра в океане заключается в геохимической трансформации и аккумуляции химических элементов в толще воды и на дне в биомассе организмов. Сообщества морских организмов создают в морях и океанах трехступенчатую систему биофильтров [4, 5]:

1) первичное биопродуцирование фитопланктона в зоне фотосинтеза;
2) вторичное биопродуцирование зоопланктона и вертикальные потоки биогенных частиц;
3) трансформация осадочного материала в поверхностном слое донных осадков бентосом.

В океане пространственное распределение бентопелагических биосообществ подчиняется трем видам зональности: циркумконтинентальной, широтной (климатической) и вертикальной [6, 7].

Среди геохимических предпосылок биогенной миграции тяжелых металлов (ТМ) можно выделить следующие: 1) способность ТМ образовывать стойкие металлорганические комплексы (соединения металлов с органическими лигандами); 2) участие большинства ТМ (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Ni, Co, Cr и др.) в разнообразных процессах фотосинтеза, окисления-восстановления, углеводного обмена, гидролиза, активизации ферментов и гормонов; 3) повсеместная заселенность вод океана живыми организмами. К настоящему времени установлено, что первичная продукция и сукцессия фитопланктона в значительной мере зависит от наличия биодоступных форм металлов [8, 9].

Взаимодействие живых организмов и ТМ осуществляется в ходе процессов двух основных типов – активными (биоассимиляция в ходе метаболизма), и пассивными (адсорбцией на поверхностях). Изучение химических форм нахождения ТМ в поверхностном тотальном планктоне

(65% копеподового зоопланктона +35% диатомово-перидиниевого фитопланктона) юго-восточной части Тихого океана с помощью вытяжек растворами пирофосфата, абсолютного хлорированного спирта и хлороформа показал следующее. В составе органического вещества планктона, представленного белково- и углеводоподобными веществами, пептидами, липидами и др., находится в среднем свыше 75% Fe, Zn, Cu и Mn от их общего содержания. В адсорбированной форме находится не более 20%, и в составе литогенной – не более 5% [10]. Геохимическим следствием взаимодействия ТМ с фито- и зоопланктоном является важная роль металлорганических комплексов Fe, Zn, Cu, Co в растворе океанской воды, которая по нашим и литературным данным составляет от 35 до 80%.

Известно, что биомасса планктонных и бентосных сообществ, а также макрофитов, функционирующих за счет фотосинтеза, особенно высока в литорали [2] и зонах апвеллинга [6], где отмечается и повышенное содержание ТМ. Многие исследователи отмеают высокие коэффициенты концентрирования (F_c) ТМ в организмах фито-, зоопланктона и макрозообентоса – от 10^3 до 10^6, причем предельные значения F_c характерны как для биохимически важных, так и для токсичных металлов.

Особая роль принадлежит открытым лишь около 30 лет назад сообществам бентопелагических организмов, которые обильно заселяют глубоководные гидротермальные области, расположенные в основном вдоль границ литосферных плит с общей протяженностью около 75 тыс.км. В глубоководных гидротермах источником металлов служат горячие (до 400°C) флюиды, обогащенные H_2S, H_2, CH_4 и тяжелыми металлами, а фауна функционирует на основе бактериального хемосинтеза и метанотрофии [11]. Подобно маргинальным фильтрам, в океанских гидротермальных областях отмечаются максимальные биомассы макро- и микроорганизмов, а также резкие градиенты физико-химических параметров. Другим сходным признаком является то, что доминирующими и наиболее массовыми сообществами макрозообентоса являются двустворчатые моллюски (Bivalvia). Однако, в гидротермальных областях их биомасса только для мягких тканей достигает 19 кг·м^2 [12], а вместе с раковинами, по нашим данным, - до 90 кг·м^2 , что на 2 порядка величин выше, чем на аналогичных глубинах фоновых районов океана и до 20 раз выше, чем на шельфе. Проведенные нами морфометрические измерения двустворчатых моллюсков, обитающих как в литорали, так и в гидротермах, свидетельствуют о том, что основная часть их биомассы (85-90%) связана с карбонатными раковинами.

На пути миграции от речного стока, служащего главным источником химических элементов, до отложения в донных осадках океана, ТМ вступают во взаимодействие с биосообществами, различающимися своей биомассой, размерами отдельных особей, структурной организацией, типом питания, химическим составом панцирей и т.д. Для оценки вклада этих

сообществ в биоседиментацию важно определить накопительную емкость биофильтров в отношении ТМ на единицу площади их биотопа, которую можно определить, умножив биомассу того или иного биосообщества на содержание в нем ТМ (в расчете на организм целиком). Наиболее представительными с точки зрения имеющихся данных по ТМ и биомассам являются сообщества макрозообентоса (двустворчатые моллюски) в маргинальных фильтрах и гидротермах, а также сообщество тотального, преимущественно зоопланктона, в открытом океане. Сравнительную оценку накопительной емкости проведем на примере биофильтров трех разных типов. В Таблице 1 приведены усредненные данные по накоплению некоторых ТМ в биомассе тотального зоопланктона океана, целых организмов моллюсков Mytilus edulis из Кандалакшского залива Белого моря (n=64), а также целых гидротермальных моллюсков Bathymodiolus azoricus поля Рейнбоу Срединно-Атлантического хребта (САХ) (n=20). Подчеркнем, что в Таблице приведены данные по содержанию ТМ в целых организмах моллюсков, т.е. с учетом весовой доли мягких тканей и раковин, что позволяет наиболее корректно произвести расчеты на биомассу.

Таблица 1. Содержание ТМ и металлоидов (мг/кг целого организма) и биомасса сообществ трех биофильтров разного типа.

Элемент	Океанский зоопланктон [13]	Двустворчатые моллюски маргинального фильтра Белого моря [14]	Гидротермальные моллюски с поля Рейнбоу САХ [15]
As	15	2.89	4.42
Cd	0.72	0.046	0.34
Cu	12	1.39	23.5
Fe	160	40.2	850
Hg	0.03	0.021	0.063
Mn	20	1.77	83.4
Pb	8.7	0.06	28.7
Zn	39	6.48	31.0
Биомасса, кг· м^2	0.06*	10**	90

* Биомасса зоопланктона в Мировом океане составляет $20 \cdot 10^9$ т [3], с учетом общей площади океана (361 млн.кв км) = 0.06 кг·/ м^2.

** [16].

Из Таблицы 1 видно, что биомасса (на единицу площади) моллюсков в гидротермали значительно выше, чем в литорали. Зоопланктон существенно обогащен мышьяком, кадмием, железом и цинком по сравнению как с литоральным, так и гидротермальным бентосом. Совершенно другие результаты получаются, если сделать расчет на биомассу (Таблица 2). Наиболее емким, с точки зрения накопления металлов, оказывается донное сообщество моллюсков с гидротермального поля САХ, в биомассе которого

в десятки и тысячи раз больше металлов, чем в зоопланктоне океана и моллюсках маргинального фильтра (рис.).

Таблица 2. Содержание металлов (мг·м^2) в биофильтрах океанского зоопланктона, литоральных (Белое море) и гидротермальных (САХ) двустворчатых моллюсках в расчете на их биомассу.

Элемент	Океанский зоопланктон	Двустворчатые моллюски маргинального фильтра Белого моря	Гидротермальные моллюски с поля Рейнбоу Срединно-Атлантического хребта
As	0.9	29	396
Cd	0.043	0.46	30.6
Cu	0.72	13.9	2115
Fe	9.6	402	76500
Hg	0.002	0.21	5.67
Mn	1.2	17.7	7506
Pb	0.52	0.6	2583
Zn	2.34	64.8	2790

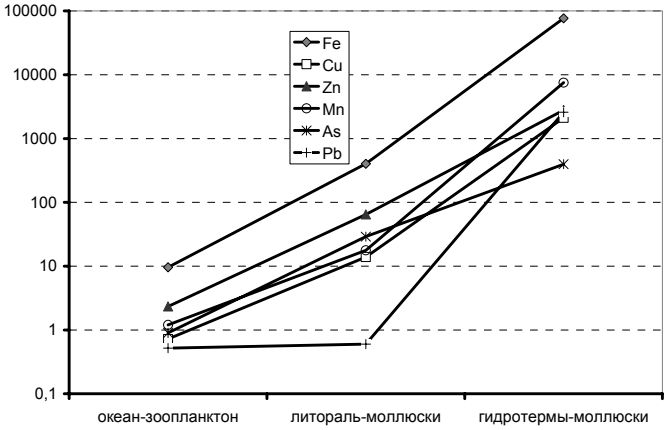


Рис. Сравнение накопительной емкости биосообществ зоопланктона океана, двустворчатых моллюсков маргинального фильтра и глубоководной гидротермали

Таким образом, интенсивное накопление тяжелых металлов биомассой биоты глубоководной гидротермали позволяет сделать вывод о том, что эта фауна служит мощным глубоководным биофильтром, концентрирующим металлы из состояния рассеяния и имеющим, наряду с другими биофильтрами, важное значение в биогенной миграци тяжелых металлов в океане.

1. Воскресенский К.А. Биофильтры литорали и соображения к построению биогидрологии побережья. // Докл. ГОИН. 1946. № 58.
2.Зенкевич Л.А. Фауны и биологическая продуктивность моря. // М.: Советская наука. 1951. Т.1.
3. Богоров В.Г. Биологическая структура океана. // Докл. АН СССР. 1960. Т.128. № 4.
4. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов. // Океанология. 1994. Т.34. № 5. С.735-747.
5. Лисицын А.П. Геология Мирового океана в третьем тысячелетии – новые подходы, достижения и перспективы. // Новые идеи в океанологии. Том 2. Геология. М., Наука, 2004. С. 7-66.
6. Виноградов М.Е., Лисицын А.П. Глобальные закономерности распределения жизни в океане и их отражение в составе донных осадков. Закономерности распределения планктона и бентоса в океане. // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1981. № 3.
7. Лисицын А.П., Виноградов М.Е. Глобальные закономерности распределения жизни в океане и их отражение в составе донных осадков. Образование и распределение биогенных осадков. // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1982. № 4.
8. Sunda W.G. Trace metal interactions with marine phytoplankton. // Biol. Oceanogr. 1989. No 6. P. 411-442.
9. Bruland K.W., Donat J.R., Hutchins D.A. Interactive influence of bioactive trace metals on biological production in oceanic waters. // Limnol. Oceanogr., 1991. Vol. 36, P.1555-1577.
10. Демина Л.Л., 1982. Формы миграции тяжелых металлов в океане. // М.: Наука. 120 С.
11. Леин А.Ю. Геохимия и биогеохимия гидротермальных флюидов.// В кн.: Экосистемы Атлантических гидротерм. М.: Наука. 2006. С.68-94.
12. Gebruk A. V., Chevaldonné P., Shank T., et al. // Journal of Marine Biological association of the UK. 2000. V.80. P.383-394.
13. Li Y.H. Distribution patterns of the elements in the ocean: a synthesis// Geochim. Cosmochim. Acta. 1991. V. 55. P. 3223-3240.
14. Демина Л.Л., Мартынова Д.М., Подлесных К.В. Биоаккумуляция тяжелых металлов различными компонентами экосистемы Кандалакшского залива Белого моря// В материалах международн. Конференции по биоресурсам Белого моря. Петрозаводск. 2009. 5-8 октября 2009 г.(в печати).
15. Демина Л.Л., Галкин С.В., 2008. О роли абиогенных факторов в биоаккумуляции тяжелых металлов в гидротермальной фауне Срединно-Атлантического хребта. // Океанология. Т. 48. № 6. С. 847-860.
16. Berger V., S. Dahle, K. Galaktionov, et al. White Sea. Ecology and Environment. 2001.Dersavets Publisher, St. Peterburg-Tromsø. 158 p.

The proceeses of biogenic migration of the heavy metals in the ocean are under concideration. The high concentration of metals in the biomass of the hydrothermal mussels let us to conclude the latter to be a deep-sea biofilter along with the biofilter of the littoral mollusks and oceanic zooplankton.

Л.Л. Демина, В.В. Гордеев, С.В. Галкин, М.Д. Кравчишина, С.П. Алексанкина
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail:ldemina@ocean.ru; gord_v_v@mail.ru; galkin@ocean.ru)

Тяжелые металлы в маргинальном фильтре р. Обь

L.L. Demina, V.V. Gordeev, S.V. Galkin, M.D. Kravchishina, S.O. Alexankina
(P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Heavy metals in the Ob River marginal filter

Исследование биогеохимического поведения тяжелых металлов в морских бассейнах особенно важно в маргинальных фильтрах - зонах контакта морских вод с речным стоком, который является главным источником поступления металлов. В работе сообщаются результаты изучения распределения группы тяжелых металлов и металлоидов в воде (включая растворенную и взвешенную формы), донных осадках и зообентосе на разрезе эстуарий р. Обь – Карское море на основании материалов, собранных во время 54-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» в сентябре-октябре 2007 г. Содержание Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Ag, Co, Cr, Hg, As, Sb и Se) определяли методами атомно-абсорбционной спектрометрии (в пламени и графитовой кювете) и инструментального нейтронно-активационного анализа.

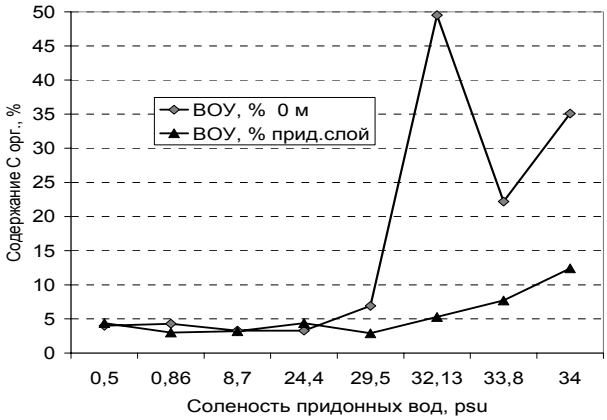
На разрезе эстуарий р. Обь - Карское море при смешении речных вод с морскими происходят разнообразные процессы разбавления, а также физико-химической и биогеохимической трансформации состава речных вод, наиболее интенсивно - в пределах глубин 20 м, где соленость не превышает 3 епс, что характерно для маргинального фильтра [1]. При возрастании солености концентрация взвеси уменьшается более чем в 100 раз- от 30 мг/л в распресненных водах до 0,25 мг/л в водах моря. Это сопровождается изменением концентраций растворенной и взвешенной (мкг/л) форм тяжелых металлов. Взвешенная форма Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd и As уменьшается в 800-100 раз по сравнению с речными водами. В растворе содержание Fe убывает аналогично взвеси, тогда как Mn, Zn, Cu и Pb практически не изменяются, а Cd и As даже возрастает в 3-10 раз. В водах эстуария взвешенная форма является преобладающей для Fe, Mn, Zn и Pb (50- 99 % от общего содержания в воде). В отличие от этих элементов,

основная часть Cu (66-92%), Cd (85-98%) и As (74-99%) находится в воде эстуария в растворенной форме, доля которой заметно увеличивается при уменьшении мутности и увеличении солености вод. Вариабельность весовых концентраций взвешенных металлов (10^{-4} % сух. вес взвеси) $Fe_{взв}$, $Mn_{взв}$, $Zn_{взв}$, $As_{взв}$ и $Cu_{взв}$ на разрезе река-море меньше, чем объемных, что может объясняться чередованием адсорбционных и десорбционных процессов на разрезе, связанных с окислительно-восстановительными обстановками. По данным Н.А. Беляева [2], распределение взвешенного $C_{орг.}$ в поверхностном, и в меньшей степени в придонном слое обусловлено различиями в уровнях биопродуцирования в распресненных и морских (>30 psu) водах (рис. 1а). В придонной взвеси адсорбированная форма играет заметную для большинства металлов (в среднем 34-58%от их общего содержания во взвеси) и даже преобладающую для Mn (77% в среднем). С увеличением солености доля адсорбированной формы $Fe_{взв}$, $Mn_{взв}$ (рис.1б), $Zn_{взв}$ и $Cu_{взв}$ возрастает, достигая максимума, сопряженного с $C_{орг.}$ (биогенный фактор), в морских водах.

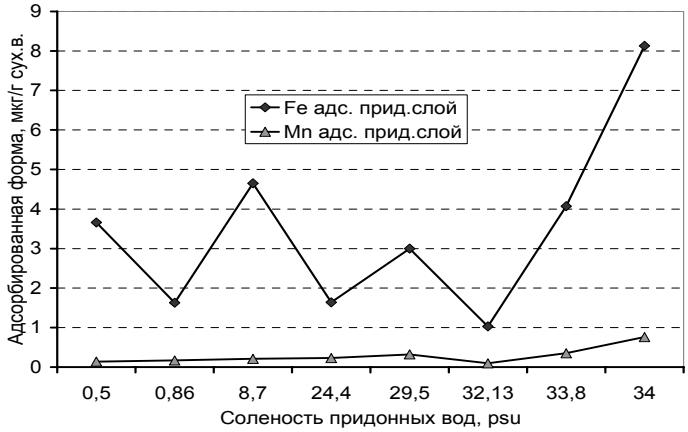
Для другой группы металлов - $Pb_{взв}$, $Cd_{взв}$, $As_{взв}$ и $Ag_{взв}$ - корреляции с $C_{орг}$ не прослеживается, что возможно объясняется не прямой а опосредованной связью с биогенным фактором (например, адсорбция на Fe-Mn гидроксидаха.

В поверхностном слое донных осадков на разрезе содержание тяжелых металлов и их изменчивость, как правило, ниже, чем в придонной взвеси. Преобладание большинства металлов, и особенно таких токсичных как Pb и Cd, в геохимически инертной форме в донных осадках [3] позволяет считать их благоприятной средой для функцимонирования донной фауны.

Концентрации металлов, подлежащих нормированию Всемирной организацией здравоохранения, в мягких тканях двустворчатых моллюсков на разрезе р. Обь - Карское море находятся на уровне фоновых (Cd< 2, Pb< 5) или незначительно превышают их: Cu< 10, Zn<200 мкг/г сух.в.[4]. Это может свидетельствовать об отсутствии сильного антропогенного загрязнения тяжелыми металлами эстуария р. Обь. В донной фауне, представленной в основном двустворчатыми моллюсками и иглокожими, пиковые концентрации разных металлов обнаружены в различных органах, что связано с разными их способностями к накоплению металлов. В целом моллюски наиболее обогащены металлами по сравнению с иглокожими и ракообразными. В мягких тканях массового вида моллюсков *Macoma sp.* предпочтительнее концентрируются все изучаемые металлы, кроме Pb, который предпочтительнее накапливается в карбонатных раковинах (рис. 3а, б).

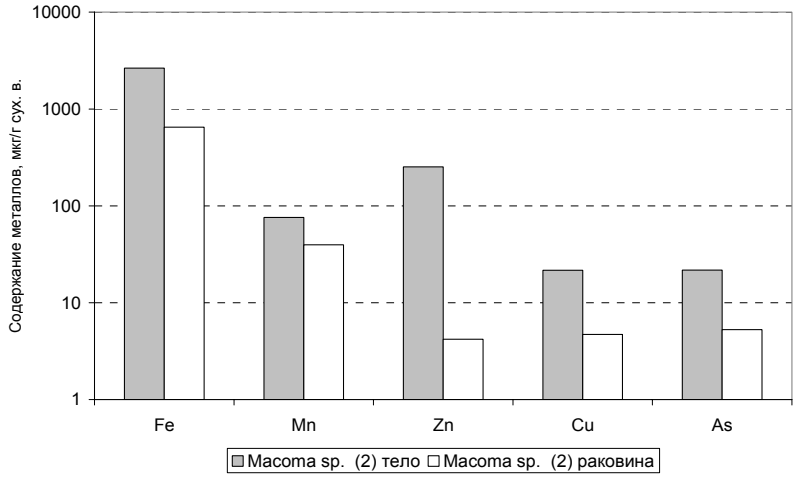


а)

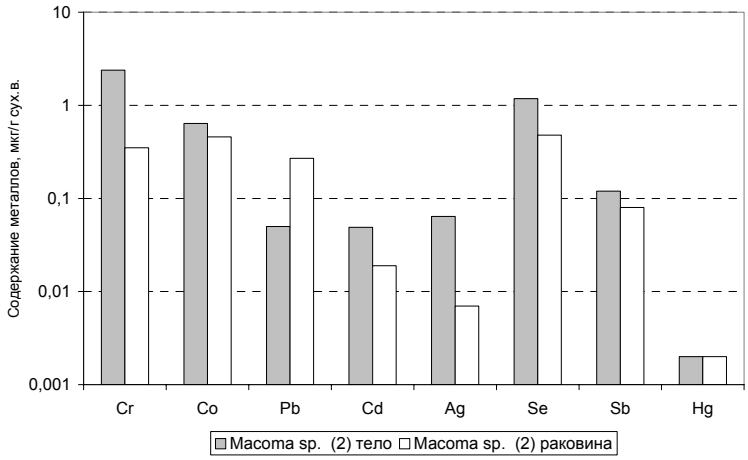


б)

Рис. 1. Распределение $C_{орг.}$ в поверхностной и придонной взвеси, а также адсорбированной формы Fe и Mn в придонной взвеси в эстуарии Оби.



а)



б)

Рис. 3. Тяжелые металлы в мягких тканях и раковинах двустворчатого моллюска *Macoma sp.*(в скобках - число проб).

Для оценки концентрационной функции организмов обычно используют фактор концентрирования ($F_{конц}$= $C_{мет.\ орган.}$/ $C_{мет.\ среда}$). Отметим, что при расчетах последней использовалась суммарная концентрация металлов в растворе и взвеси в мкг/л, а для организмов содержание металлов пересчитывалось на сырой вес (содержание сухого вещества принималось за 0.3 от сырого веса). Как известно, химические элементы поступают в

морские организмы из пищи, которой для фильтраторов служит взвесь, и из воды. Суммарное содержание металлов в растворе и взвеси придонного слоя на ст.4996 убывает в следующем порядке (мкг/л):

Fe (310) > Mn (30) > As (4.47) >Cu (1.50) > Zn (0.50) > Pb (0.32) > Cd (0.20).

Полученные нами $F_{конц}$ составляют следующие ряды: моллюск-фильтратор *Portlandia aestuariorum,* мягкие ткани -

Zn > Mn > Fe > Pb > Cd > Cu > As

$8\cdot10^4$ $3\cdot10^4$ $4\cdot10^3$ $3\cdot10^3$ $2\cdot10^3$ $2\cdot10^3$ $7\cdot10^2$;

моллюск-фильтратор *Portlandia aestuariorum,* раковины –

Mn > Zn > Fe > Cu > As > Pb, Cd

$7\cdot10^5$ $1\cdot10^5$ $4\cdot10^4$ $1\cdot10^4$ $6\cdot10^3$ $1\cdot10^3$;

иглокожие *Stegophiura nodosa* (диски) - Zn > Cu, Cd > As > Mn, Pb > Fe

$7\cdot10^3$ $1\cdot10^3$ $0.5\cdot10^3$ $2\cdot10^2$ $7\cdot10$.

Отсюда следует, что наибольшее концентрирование металлов происходит в раковинах моллюсков, а наименьшее – в дисках иглокожих. Последовательность убывания содержания металлов в придонном слое и в рядах $F_{конц}$ оказывается различной, т.е. наши данные подтверждают известный тезис о селективности биоконцентрирования химических элементов морскими организмами [5]. Различия в $F_{конц}$ для разных металлов составляет два порядка величин в каждом из рядов. Среди металлов наибольшие значения $F_{конц}$ в моллюсках показывают физиологически значимые металлы - Zn, Mn и Fe. Повышенное концентрирование Mn в раковинах объяснимо его более высокой по сравнению с другими тяжелыми металлами способностью к изоморфному замещение Ca в структуре арагонита. $F_{конц}$ металлов в раковинах моллюсков *Portlandia aestuariorum* до 10 раз выше, чем в мягких тканях, причем наибольшие значения $F_{конц}$ в моллюсках показывают физиологически значимые металлы - Zn, Mn и Fe. Проведенные нами морфометрические измерения показали, что суммарная масса сухих моллюсков (2 раковины + мягкие ткани) *Portlandia aestuariorum* и *Macoma sp.* со средней длиной 40 мм составляет 0.241 и 2.195 г соответственно. На долю вещества раковин приходится 0.23 и 1.93 г или 95 и 88 % от суммарной массы. Таким образом, масса раковин может на порядок превышать массу мягких тканей. Принимая во внимание, что биомасса двустворчатых моллюсков достигает нескольких кг/кв.м., [6] приходим к выводу о недооцененной роли раковин в биоаккумуляции тяжелых металлов двустворчатыми моллюсками.

Таким образом, биогеохимические процессы, происходящие на маргинальном фильтре р. Обь, способствуют аккумуляции тяжелых металлов в донных организмах.

1. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т.34. №5. С.735-747.
2. Беляев Н.А. Состав органического углерода в растворе, взвеси и

донных осадках эстуария р. Обь // Океанология, 2009, в печати.
3. Демина Л.Л., Левитан М.А., Политова Н.В. О формах нахождения некоторых тяжелых металлов в донных осадках эстуарных зон рек Оби и Енисея // Геохимия. 2006. №2. С. 212-226.
4. Laane R.W.P.M. Background concentrations of natural compounds in rivers, sea water, atmosphere and mussels // Report DGW-92.033, Tidal Waters Division, Ministry of transport, public works and water management. The Haague. 1992. 84 P.
5. Саенко Г.Н. Металлы и галогены в морских организмах. М.: Наука. 1992. 200 с.
6. Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР. 1963. 739 с.

The biogeochemical behavior of some heavy metals in water (soluble and particulate fractions), bottom sediments and benthic organisms along the transect from the Ob River estuary to the Kara Sea was studied. All the samples were collected during the 54 cruise of R\V "Akademik Mstislav Keldysh" in September-October 2007. Alteration of soluble and particulate fractions of Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd and As and growth of non-detrital metal fraction in the near bottom suspensions in the mixing zones of the river and sea water was shown.

Л.Л. Демина, С.В. Галкин, О.М. Дара
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail:ldemina@ocean.ru; galkin@ocean.ru, dara@ocean.ru)

Карбонатная биоминерализация и биоаккумуляция металлов в глубоководных гидротермальных областях

L.L. Demina, S.V. Galkin, O.M. Dara
(P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow)

Carbonate biomineralization and heavy metal accumulation in the deep-sea hydrothemal vent fields

Морские организмы в процессе метаболизма осуществляют концентрационную функцию или производят биоаккумуляцию, которая охватывает биоассимиляцию (внутриклеточное поглощение химических элементов мягкими тканями) и биоминерализацию (гетерогенное формирование минеральных форм). В ходе биоминерализации организмы с карбонатной функцией (фораминиферы, кокколиты, кораллы, птероподы, двустворчатые моллюски и др.) переводят растворенные в морской воде химические элементы в карбонатные скелеты, служащие основой биогенной карбонатной седиментации в океане, вклад которой в биогенные осадки пелагиали составляет около 40% [1]. В глубоководных гидротермальных

областях, расположенных преимущественно в рифтовых зонах общей протяженностью около 75 тыс.км, доминирующими как по численности, так и по биомассе бентосными организмами являются двустворчатые моллюски [2, 3], имеющие карбонатный скелет.

В данной работе изучены особенности биоаккумуляции тяжелых металлов Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Ag, Ni, Cr, Co, Hg, а также металлоидов As, Se, Sb раковинами двустворчатых моллюсков. Для выяснения влияния среды обитания на биоаккумуляцию металлов и оценки концентрационной функции раковин исследовано распределение металлов в воде биотопов моллюсков. Концентрацию металлов определяли методами атомно-абсорбционной спектрометрии (в пламени и графитовой кювете) и инструментального нейтронно-активационного анализа.

Двустворчатые моллюски собраны в 49-м (2003г.) и 50-м (2005 г.) рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» с помощью манипуляторов глубоководных обитаемых аппаратов «Мир-1» и «Мир-2». 35 образцов собрано с семи разных гидротермальных полей Срединно-Атлантического хребта (САХ) (Менез-Гвен, Снейк-Пит, Рейнбоу, Брокен-Спур) и Восточной Пацифики (ВТП) (9^o50'с.ш., 21^oс.ш., южный трог бассейна Гуаймас). САХ является низкоспрединговым хребтом (скорость раздвижения литосферных плит < 6 см\год) , а ВТП - высокоспрединговым (скорость спрединга > 6 см/год). Это, а также разная глубина, геологическое строение и состав пород (базальты - ультраосновные) обусловливают различия в максимальной температуре флюидов, pH и уровнях содержания в них восстановленных соединений и металлов.

Рентгено-диффрактометрический минералогический анализ карбонатных скелетов показал, что раковины моллюсков-митилид *Bathymodiolus sp.,* доминирующих на гидротермальных полях Срединно-Атлантического хребта (САХ)-Менез-Гвен, Снейк-Пит, Рейнбоу и Брокен-Спур сложены в основном кальцитом, а везикомиид *Calyptogena m.*, собранных в Восточной Пацифике (9^oс.ш., 21^oс.ш., южный трог бассейна Гуаймас) – арагонитом. По нашим данным, в составе органической матрицы раковин, как кальцитовых, так и арагонитовых, содержится от 0.5 до 2.4 % $C_{орг}$.

В расчете на "end-member"флюид (с нулевым содержанием Mg) высокотемпературные флюиды из черных курильщиков гидротермальных полей САХ (Брокен-Спур, Снейк-Пит, Рейнбоу) и ВТП (9^o50' с.ш., Гуаймас) содержат Fe, Mn, Zn, Cu и Sb в 50-1000 раз, а Ni, Co, Cd, Ag и Pb – в 5- 20 раз выше, чем низкотемпературные растворы поля Менез-Гвен САХ [4]. При турбулентном излиянии кислых горячих флюидов, в 10^2-10^6 раз обогащенных многими химическими элементами относительно холодной придонной воды, создается геохический барьер с резкими градиентами физико-химических показателей, в результате чего T^o падает на десятки ^oC, а pH возрастает от 2-3 до 5.6-6.8 [German, Von Damm, 2004]. Двустворчатые моллюски обитают в зоне истечения теплых диффузных гидротермальных

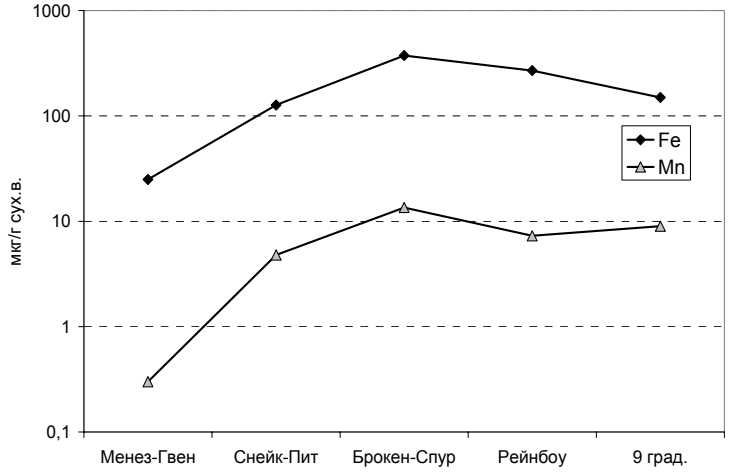
источников в температурном интервале от 6 до 20° C и pH от 5.3 до 7.5 [2]. Из литературных и собственных данных следует, что в воде над поселениями фауны на полях с высокотемпературными источниками среднее содержание ряда металлов (Fe, Mn, Zn, Cr, Pb и Ag) лишь в 2-10 раз выше, чем в воде биотопов вокруг низкотемпературных источников. В воде биотопов резкие различия в уровнях металлов, свойственные исходным флюидам гидротермальных полей различного типа, заметно сглаживаются.

Вариабельность концентраций каждого из исследованных металлов в образцах раковин моллюсков с разных полей составляет около двух порядков величин, что обусловлена влиянием абиотических и биотических факторов. Среди абиотических основными следует считать физико-химические и биогеохимические условия среды обитания, которые определяются, главным образом, влиянием разбавленных гидротермальных флюидов. Раковины моллюсков с гидротермальных полей с черными курильщиками, где повышены содержания металлов содержат Fe и Mn в 20-30 раз больше, чем их аналоги с поля Менез-Гвен (рис. 1а), низкотемпературные флюиды которого обеднены металлами. Значимость различий подтверждена критерием Стьюдента ($P_{0.95}$). Подобным образом, раковины моллюсков с поля Рейнбоу, ассоциированного с серпентинитами, содержат Ni и Co почти в 5 раз больше, чем на остальных полях (рис. 1 б), что является отражением их высокого содержания в исходных флюидах [5] и воде биотопов. Наименьшие различия выявлены для Cu, Pb, Ag, Cd, Hg, Sb, Se и As.

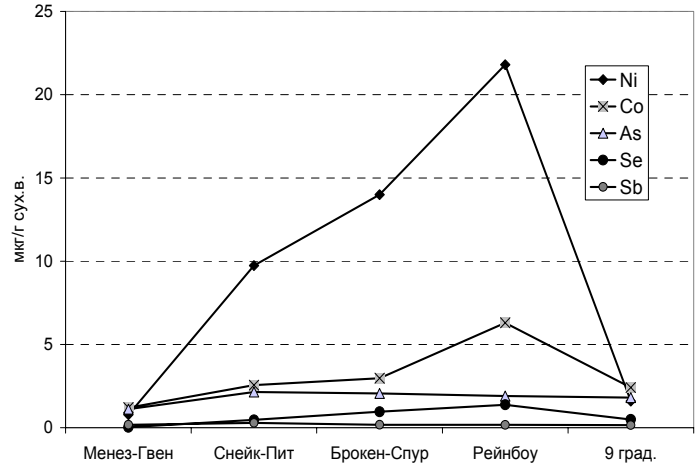
В литературе содержатся противоречивые мнения о влиянии разбавленных флюидов на биоаккумуляцию металлов в веществе раковин. Так, для поля Лакки-Страйк показано более чем десятикратное превышение содержания Fe и Cu по сравнению с полем Менез-Гвен, что пропорционально их содержанию во флюидах [6]. С другой стороны, Co и Mn в раковинах *Calyptogena magnifica* с поля 21°с.ш. ВТП и других моллюсков с арагонитовыми раковинами содержатся в близких концентрациях и не отражают содержание металлов в воде микробиотопов [7].

Биотические факторы для одного рода моллюсков, включающие в себя стадию онтогенеза, по нашим данным, влияют на более интенсивное накопление Fe, Mn, Ni и Cu на ранних стадиях онтогенеза (рис. 2а, б).

Высокие коэффициенты накопления большинства металлов ($n\cdot10^2$ - $n\cdot10^4$), а также чрезвычайно высокая их биомасса на гидротермальных полях – до 2100 экз./кв.м [8], свидетельствуют о высокой концентрационной функции карбонатных раковин двустворчатых моллюсков, служащих, наряду с другими массовыми представителями фауны важными компонентами глубоководного гидротермального биофильтра.

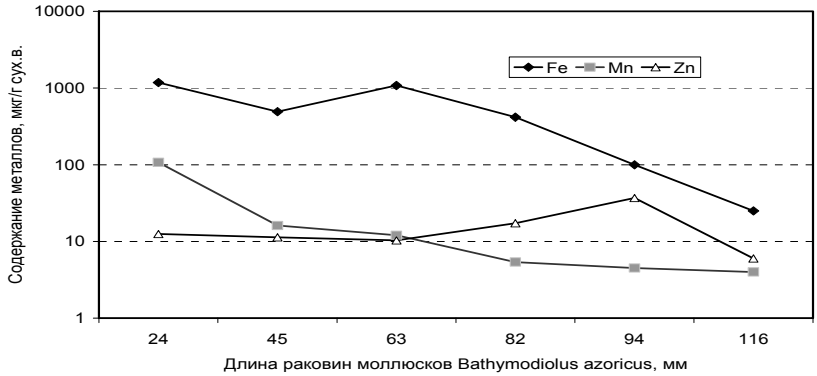


а)

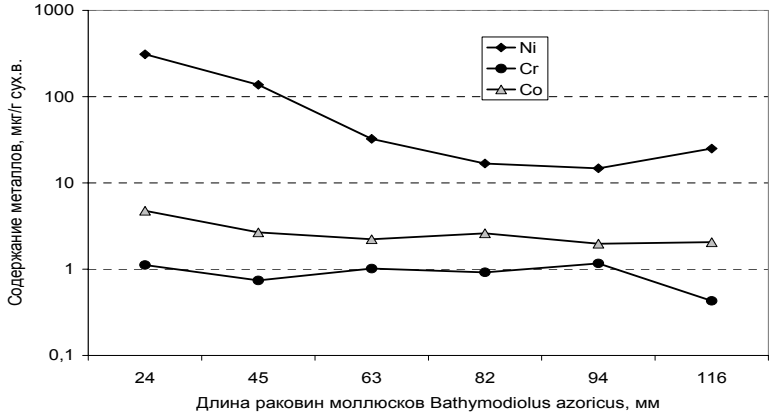


б)

Рис. 1. Сравнение распределения металлов в раковинах двустворчатых моллюсков *Bathymodiolus sp.* с разных гидротермальных полей.



а)



б)

Рис. 2. Распределение металлов в раковинах двустворчатых моллюсков *Bathymodiolus azoricus* с поля Рейнбоу в зависимости от их возраста.

Помимо активного накопления металлов при метаболизме, в раковинах моллюсков происходит и пассивная аккумуляция при адсорбционных процессах на их поверхности, которая не превышает 50% от общего содержания металлов, варьируя от 14 (Fe) до 46 % (Mn).

1. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации: литология и геохимия. М.: Наука, 1978. 358 С.
2. Desbruyères D., Almeida A., Biscoito M. et al. A review of the distribution of hydrothermal vent communities along the northern Mid-Atlantic Ridge: dispersal vs. environmental controls // Hydrobiologia. 2000. V.440. P. 201-216.

3. Крылова Е.М. Гидротермальная фауна: состав, биология, адаптации. Двустворчатые моллюски// Биология гидротермальных систем. М., КМК Press. 2002. С. 208-223.
4. German C.R., Von Damm K.L. In: Treatise on Geochemistry. Vol.6. Oceans and Marine Geochemistry. Eds. H.D.Holland and K.K.Turekian. Elsevier Pergamon, 2004., P. 182-216.
5. Douville E., Charlou J.L., Oelkers E.H. et al. The Rainbow vent fluids ($36^o14'$N, MAR): the influence of ultramaphic rocks and phase separation on trace metals content in Mid-Atlantic Ridge hydrothermal fluids // Chemical Geology. 2002. V.184. № 1. P. 37-48.
6. Kádár E., Costa V. First report on the micro-essential concentrations in bivalve shells from deep-sea hydrothermal vents.// Journ. Sea Res. 2006. V.56. P. 37-44.
7. Roux M., Rio M., Fatton E. Clam growth and thermal spring activity recorded by shell at 21° N.// Biol. Soc. Wash. Bull. 1985. N06. P. 211-221.
8. Gebruk A. V., Chevaldonné P., Shank T., Lutz R.A., Vrijenhoek R.C. Deep-sea hydrothermal vent communities of the Logachev area ($14^o45'$ N, Mid-Atlantic Ridge): diverse biotopes and high biomass. // Journal of Marine Biological association of the UK. 2000. V.80. P. 383-394.

Bioaccumulation of Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb, Ag, Ni, Cr, Co, As, Se, Sb and Hg in carbonate shells of mussels and clams inhabiting seven geochemically different hydrothermal vent fields at the Middle-Atlantic Ridge (Menez Gwen, Snake Pit, Rainbow, Broken Spur) and Eastern Pacific ($9^o50'$ N., 21° N and Gyaymas Basin) were studied along with in water samples collected over fauna settlement. High concentration coefficients ($n\cdot10^2$ - $n\cdot10^4$) of majority of trace metals in carbonate shells proof a powerful accumulation function of the hydrothermal bivalve mollusks shells.

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

Современное состояние Аральского моря и процессы соленакопления в нем

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

Present State of the Aral Sea and Salt Formation Processes Therein

1. Введение. Начиная с 1961 г. водный баланс Аральского моря, прежде близкий к равновесию, стал дефицитным. Это принято связывать в первую очередь с приобретшим к тому времени крупные масштабы антропогенным воздействием в форме безвозвратных изъятий речного стока на нужды

сельского хозяйства. Вместе с этим многие исследователи полагают, что наряду с антропогенными имели место и естественные причины, сопряженные с климатической изменчивостью водности рек и норм испарения, и падение уровня Арала (правда, значительно меньшее наблюдаемого ныне) произошло бы и без увеличения антропогенных отборов стока. Общее снижение уровня моря составило на сегодня около 25 м. В 1988-1989 гг от моря отделилась его относительно небольшая северная часть, известная как Малое море. Для предотвращения потерь воды оттуда в основную, южную часть Арала ("Большое море") властями Казахстана южнее Малого моря была построена сперва временная, а затем (в 2005 г) постоянная плотина. Вследствие довольно значительного остаточного стока Сырдарьи в Малое море падение уровня и возрастание солености там прекратились, и сегодня экологическая ситуация в Малом море может считаться достаточно благоприятной. Поэтому в предлагаемом докладе мы не касаемся этого района и обсуждаем Большое море, затронутое экологическим кризисом в наибольшей степени.

В процессе высыхания Арала произошли коренные изменения экосистем в водоеме и на прилегающей к нему территории. Соленость к настоящему времени (сентябрь 2009 г) приблизилась к 150 г/кг в западном бассейне моря, а в восточном она значительно выше (летом 2009 г площадь восточного бассейна сократилась многократно и он практически перестал существовать). Осолонение сопровождалось массивным осаждением карбонатов кальция и магния, а затем гипса и мирабилита, что повлекло за собой значительные изменения ионно-солевого состава оставшейся водной массы. Лишь немногие биологические виды в бентосе и планктоне сумели приспособиться к экстремальной солености.

Изменение состояния Арала привело к значительному ухудшению экологических и социально-экономических условий в регионе. По некоторым данным, негативные экологические последствия катастрофы Аральского моря могут прослеживаться и до территории России. Так, известно, что соль и пыль с обсохшего дна Арала переносятся ветром на 500-800 км [1], то есть при событиях ветра южных румбов способны достигать Оренбургской и Челябинской областей. Всего таким образом переносится до 40 миллионов тонн солей в год [2].

Необходимость мониторинга экологического состояния Аральского моря определяется не только прикладными вопросами, очерченными выше, но и "методическим" значением Арала, как своего рода экстремальной природной модели отклика физических, химических и биологических систем крупного внутреннего водоема аридной зоны на антропогенные вмешательства в режим речного стока. Подобные воздействия, хотя и выраженные обычно в менее крайних формах, характерны для многих других внутренних морей, озер и водоемов мира. Именно с этим связан постоянный интерес к проблеме Арала со стороны международного

научного сообщества. Вместе с этим, с начала 1990-х гг. научные (особенно натурные) исследования Аральского моря, некогда очень хорошо обеспеченного данными, многократно сократились. Отчасти это объясняется прекращением судоходства и относительной труднодоступностью моря в его современных границах и связанными с этим техническими трудностями при организации полевых работ, отчасти – экономическими и политическими последствиями распада СССР. В результате многие базовые характеристики быстро меняющегося Аральского моря оказались в начале нового тысячелетия практически неизвестными. Особенно это относится к гидрологии и гидрохимии его водной массы.

На этом фоне в 2002 г Институтом океанологии РАН при участии Гидрометцентра РФ и ряда научных организаций республик Узбекистан и Казахстан была начата многолетняя программа экспедиционного мониторинга Аральского моря. К настоящему времени в рамках этой программы выполнены 10 экспедиций. В предлагаемом докладе представлен в сжатой форме обзор некоторых гидрофизических и гидрохимических результатов этой программы, причем основное внимание уделено изменениям ионно-солевого состава в связи с садкой солей в процессе повышения минерализации водоема.

2. Общая характеристика современного гидрофизического состояния моря. На рис. 1 показаны типичные вертикальные распределения температуры и солености в западной глубокой части моря, полученные в период с ноября 2002 г. по июнь 2008 г. Обращает на себя внимание продолжающееся осолонение западного бассейна, где поверхностная соленость увеличилась от 82 г/кг осенью 2002 г. до почти 120 г/кг летом 2008 г. (и свыше 140 г/кг в августе 2009 г. – эти данные в настоящее время еще обрабатываются). Интересно отметить, что уровень поверхности Арала в период с 2002 г. по март 2006 г. упал лишь очень незначительно (менее чем на 30 см), что объясняется поступлением в море в эти годы довольно большого объема остаточных речных стоков. Поэтому рост минерализации вод западного бассейна, продолжавшийся в этот период, должен связываться не столько с дальнейшим уменьшением объема моря, сколько с обменами с восточным бассейном, откуда через соединяющий бассейны пролив поступали более соленые воды. С весны 2006 г ускоренное падение уровня Большого Арала, к сожалению, возобновилось – вероятно, вследствие сооружения казахской стороной постоянной дамбы между Малым и Большим Аралом и полной изоляции последнего от стоков Сырдарьи.

До последнего времени, попадая в западную часть моря, более плотные воды восточного бассейна опускались по северному склону (преимущественно вдоль западного свала глубин) на свой изопикнический уровень в придонном слое западной впадины. Это создавало исключительно

мощную халинную и, в конечном счете, плотностную стратификацию западного бассейна. Перепады солености между нижней границей верхнего квазиоднородного слоя и дном составляли до 12 г/кг (что соответствует разнице плотностей в 9-10 кг/м^3) при толщине галоклина около 20 м. Такие экстремальные с точки зрения классической океанологии градиенты плотности приводили к подавлению вертикального перемешивания. Типичными следствиями этого являлись осенне-зимние инверсии температуры, видимые во многих профилях (рис. 1). Но наиболее ярким проявлением недостаточности вертикальных обменов в толще вод Арала является впервые обнаруженная нами в 2002 г аноксия и сероводородное заражение в придонном слое. Следует отметить, однако, что имеющиеся данные указывают на не перманентный, а переменный характер стратификации и аноксии, приуроченный, вероятно, к изменчивости водо- и солеобменов через пролив. Как показывают результаты измерений течений на заякоренных станциях, а также данные численного моделирования, эти последние определяются главным образом ветровым форсингом.

В соответствии с изложенным, перетоки вод из одного бассейна в другой играли в последние годы исключительно важную роль в формировании современного «кризисного» гидрофизического режима Аральского моря. В этой связи необходимо заметить, что максимальная глубина и профиль поперечного сечения пролива были до последнего времени неизвестными, поскольку согласно имеющимся «старым» батиметрическим картам при современном уровне моря пролив должен был уже полностью пересохнуть. Поэтому при отсутствии прямых измерений глубины в литературе последних лет преобладало представление, что глубина пролива должна быть менее 1 м и пересыхание его – вопрос ближайшего будущего. Однако в экспедициях 2004 и 2005 гг. нам удалось осуществить прямую батиметрическую съемку пролива эхолотом, и оказалось, что глубина пролива достигает 6-7 м, что было совершенно неожиданным. Единственным разумным объяснением этого факта представляется эрозия донных илов интенсивными межбассейновыми течениями. Данное явление заставляет пересмотреть прогнозы о скором пересыхании пролива. Действительно, даже сейчас, когда уровень Большого Арала упал более чем на 2.5 метра по сравнению с 2005 г., пролив остается открытым – однако в настоящее время сам восточный бассейн превратился в небольшой остаточный водоем у восточного «устья» пролива.

Измерения вертикальной термохалинной структуры труднодоступного восточного бассейна, впервые выполненные в 2005 г. на разрезе между бывшими островами Возрождения и Барсакельмес, показали, что, несмотря на свою мелководность и подверженность сильным ветровым воздействиям, восточный бассейн также является не перемешанным, а стратифицированным – на момент измерения соленость в нем менялась от 129 г/кг на поверхности до 134 г/кг у дна при глубине всего 2.5 м.

Последние измерения в восточном бассейне перед его фактическим исчезновением удалось выполнить в июне 2008 г., когда соленость там составляла 211 г/кг.

3. Изменения ионно-солевого состава и процессы соленакопления. Как уже отмечалось выше, в ходе экологического кризиса значительные изменения претерпел ионно-солевой состав водной массы Аральского моря (который и до начала высыхания моря был достаточно специфическим и существенно отличался от солевого состава вод Мирового океана, [3, 4]). Эти изменения связаны с последовательным выпадением из водной массы при повышении минерализации сперва карбонатов кальция $CaCO_3$ и магния $MgCO_3$, а затем гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. При дальнейшем повышении солености осаждается мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$. В лабораторных условиях осаждение последнего при комнатных температурах начинается при минерализации около 150 г/кг [5]. В результате выпадения этих соединений солевой состав (а вместе с ним и базовые физические свойства) оставшейся водной массы изменились и продолжают меняться в настоящее время. Количественное описание этих изменений является важной задачей экспедиционного мониторинга моря.

В результате последовательного осаждения карбонатов кальция и магния, гипса, мирабилита и, возможно, галита, сульфатно-хлоридное соотношение уменьшилось примерно на 40%, а относительное содержание кальция уменьшилось в 9 раз для западного бассейна и в 40 раз для восточного. По-видимому, недостаток кальция является в настоящее время фактором, ограничивающим дальнейшую садку гипса. Снижение сульфатно-хлоридного соотношения является менее выраженным в гипергалинном восточном бассейне, который должен быть в большей степени подвержен химической метаморфизации. Причины этого не вполне понятны. Гипотетически это может быть связано с начавшейся уже в восточном бассейне садкой галита, потребляющей хлор.

Сравнивая ионно-солевые составы вод моря до начала высыхания и в настоящее время и зная изменения общего объема вод за этот период, нетрудно подсчитать полные массы солеобразующих ионов, осевших на подводном и обсохшем дне. Далее, зная состав осаждающихся минералов, можно оценить полные массы последних. Эти выкладки приводят к следующим результатам (в миллиардах тонн):

Карбонат кальция CaCO3 – 0.07

Карбонат магния MgCO3 – 0.1

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – 2.3

Мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ – 1.9

Галит NaCl – 0.4

Общая масса выпавших минералов – около 4.8 миллиардов тонн. Учитывая, что период высыхания моря составил к настоящему времени 49 лет, скорость соленакопления оценивается в 0.1 миллиарда тонн в год.

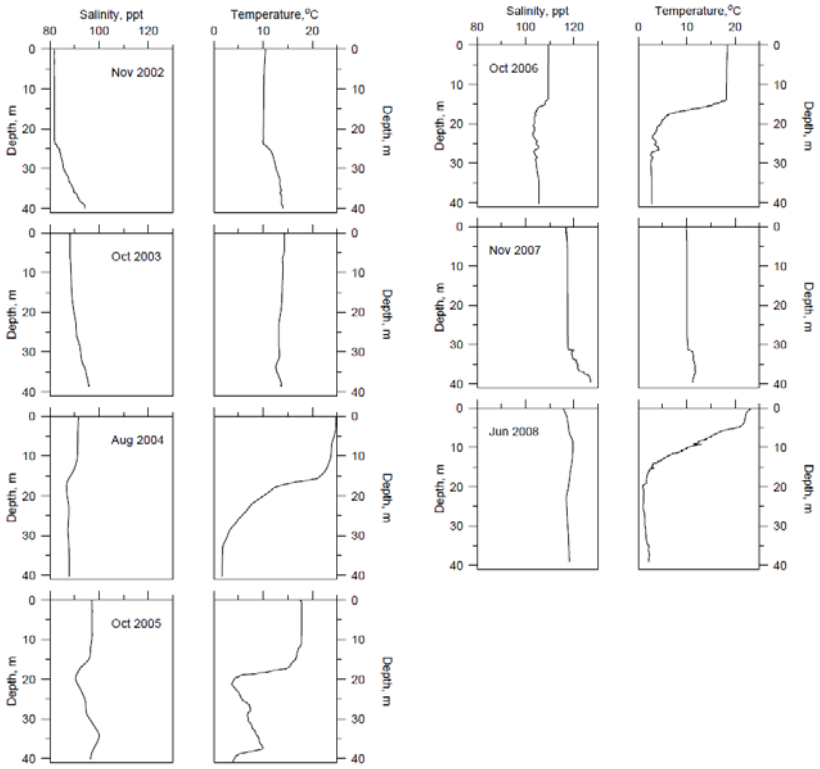


Рис. 1. Вертикальные профили температуры и солености в западном бассейне Аральского моря в период с 2002 г по 2008 г.

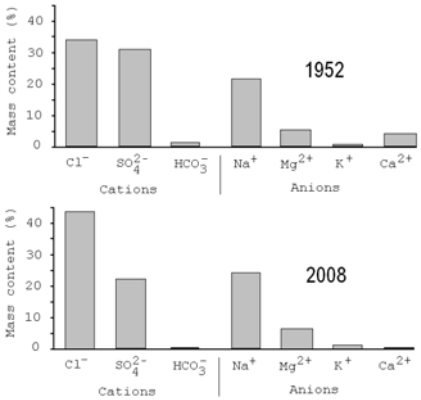


Рис. 2. Относительное содержание основных солеобразующих ионов в воде Аральского моря до начала высыхания моря и в настоящее время

Работа выполняется при поддержке грантов Президиума РАН, а также РФФИ. Численные расчеты по оценке массы осажденных минералов выполнены на основе данных, полученных в экспедициях ИО РАН, студентом геологического факультета МГУ С.П. Завьяловым.

1. Micklin P.P. The Aral Sea crisis. IN: J.C.J. Nihoul, P.O. Zavialov, and P.P Micklin (eds) Dying and Dead Seas, Kluwer, 2004, 99-123.
2. Рубанов И.В., Богданова Н.М. Количественная оценка выноса солей с обсохшего дна Аральского моря. Проблемы освоения пустынь, 1987, 3, 9-16.
3. Бортник В.Н., Чистяева С.П. (Ред.) Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.7: Аральское море. Л.: Гидрометеоиздат, 196 с.
4. Блинов Л.К. Гидрохимия Аральского моря. М.: Гидрометиздат, 1956, 152 с.
5. Рубанов И.В., Ишниязов Д.П., Баскакова М.А., Чистяков П.А. Геология Аральского моря. ФАН, Ташкент, 1987, 247 с.

Д.Ю. Здобин, Э.В. Табунс, К.А. Кукса
(СПбГУ, Санкт-Петербург, e-mai: zdobin_soil@mail.ru)

Галогены как геохимические индикаторы ранних стадий седиментогенеза глинистых осадков в присутствии органического вещества

D.Yu. Zdobin, E. Tabuns, K.A. Kuksa
(St. Petersburg State University, St. Petersburg)

Halogens as a tool for indication of organic-bearing sediments diagenesis

Проблеме стадийности образования глинистых пород посвящено большое количество работ: от фундаментальных, рассматривающих весь процесс в целом, до частных, разрабатывающих его отдельные положения. Качественный прорыв в исследовании процесса седиментогенеза и диагенеза произошел с момента разработки и применения физико-химической механики дисперсных сред, с помощью которой удалось построить двухфазную (твердая и жидкая компоненты) модель формирования глинистого осадка [1]. Весь процесс (до текучих глин) разбит на четыре стадии: коагуляции, агрегации, структурообразования и физико-химического уплотнения [2]. Однако в природных условиях данная модель не полностью соответствует естественным реалиям, так как не учитывает такой важнейший компонент осадка, как органическое вещество. В настоящее время характеристика общей последовательность событий не вызывает особых возражений. И, тем не менее, до сих пор некоторые

моменты в данном вопросе требуют отдельной проработки. Речь идет о влиянии органического вещества, так или иначе, на ранних стадиях осадочного процесса участвующих в транспортировке, осаждении и формировании первичных коагуляционных связей в системе «частица – суспензия – осадок (протогрунт) – ил».

Ранее, опираясь на положения физико-химической механики дисперсных сред, одним из авторов [3] настоящего сообщения была предложена новая модель формирования глинистых осадков в присутствии органического вещества. При этом на основе анализа вариаций физических показателей свойств среды, широко используемых в грунтоведении, детально рассматривалась стадийность процесса формирования глинистых осадков (седиментогенез). Было показано, что при более детальной характеристике стадий процесса формирования глинистого осадка целесообразно использовать три основных параметра – естественную влажность (We), влажность на границе текучести (Wl) и содержание органического вещества ($C_{орг}$).

В настоящем сообщении приводятся первые результаты дополнительных геохимических исследований рассматриваемых объектов для более полной и всесторонней характеристики ранних стадий осадкообразования и нахождения дополнительных критериев стадийности седиментогенеза. Особое внимание при этом было обращено на поведение галогенов, в первую очередь это касалось геохимии йода и брома. Хорошо известно, что органическое вещество морских осадков обогащено йодом и в меньшей степени бромом [4], и считалось, что поведение именно этих элементов в первую очередь будет отражать изменения в системе поровые растворы – осадочный материал на разных этапах его формирования. Это предположение подтверждается литературными данными, свидетельствующими о том, что в процессе диагенеза йод перераспределяется из органического материала в поровые растворы [5] и таким образом может играть существенную роль при характеристике степени диагенеза. Кроме того, дальнейшая история йода и брома в ходе формирования осадка может приобретать различные черты при изменении окислительно-восстановительного потенциала системы, поскольку на фоне широкой области устойчивости бромида иона в природных условиях, йод может проявлять различные формы нахождения в различных степенях окисления.

Объектом изучения служили прибрежно-морские бухтовые отложения Кандалакшского залива Белого моря и бухты Моржовой моря Лаптевых. Пробы современных донных осадков отбирались специальной прямоточной трубкой с глубины по воде от 0,5 до 30 м и по осадку до 1,0 м. Определения We, Wl, $C_{орг}$ производились в соответствии с общероссийскими федеральными стандартами – ГОСТ.

В литологическом отношении исследованные осадки – непрерывная секвенция голоценовых пелитовых и алевро-пелитовых илов. В

грунтоведческом – текучие глинистые илы.

После определения физико-химических параметров собранного материала была проведена оценка в воднорастворимой фазе осадков активностей ионов галогенов (F^-, Cl^-, Br^- и J^-,) а также ряда сопутствующих анионов (NH_4^-, NO_3^-, SO_4^{--}, CO_3^{--}) и катионов (Fe^{3+}, Cu^{2+}). Анализы проводились прямым потенциометрическим методом с использованием ион-селективных электродов и стандартных методик.

Проведенные исследования показали, что в зависимости от стадии седиментогенеза происходит закономерное уменьшение доли органического вещества в осадке (рис. 1). При этом происходит снижение общего количества органического вещества в осадочном материале, зависящего от плотности частиц грунта ρ_s (плотность минеральной части осадка). Наблюдаемая зависимость имеет линейный характер и может быть интерпретирована в рамках модели двухкомпонентного смещения с постоянным составом компонентов, участвующих в процессе.

Согласно численным параметрам линейной модели (рис. 1) при $C_{орг}$=0 плотность неорганической матрицы (ρ_s) составляет 2,716 (+/- 0,003) г/см^3,

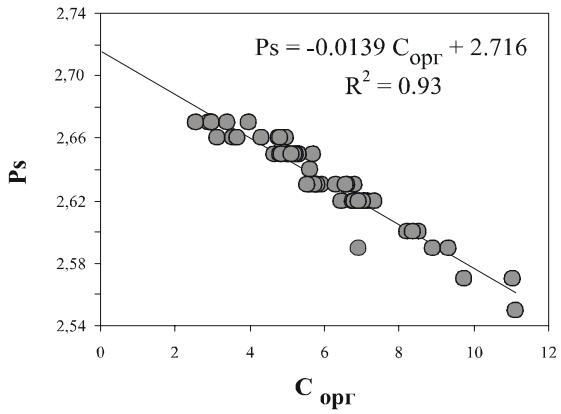


Рис. 1. Зависимость плотности частиц грунта (ρ_s, г/см^3) современных глинистых осадков прибрежной зоны Белого моря от содержания в них органического вещества ($C_{орг}$, масс.%).

что соответствует средней плотности минералов глин. Это предположение было подтверждено последующим рентгенофазвым анализом собранного материала. С другой стороны, экстраполяция зависимости в область 100% $C_{орг}$ позволяет в первом приближении оценить плотность органического материала, который по этим оценкам составляет 1,32 (+/- 0,05) г/см^3. Подобный параметр по данным [6] контролируется соотношением углерода к азоту в органическом веществе имея ρ_s в интервале 1,0 – 1,8 при вариации

C:N от 17 до 22. По-видимому, в нашем случае количество органоминеральных комплексов еще незначительно, поскольку для них параметр ρ_s по данным [6] должен быть > 1,8.

Рассмотрение геохимических данных показывает, что наблюдается отчетливое изменение состава воднорастворимой части порового пространства глинистых осадков в процессе их раннего диагенеза. Как и ожидалось, наиболее четкая взаимосвязь (коэффициент корреляции – 0,90) наблюдается между потенциалом йодид иона ($J^-_{EDS,}$ mV) и общим количеством органики в осадках ($C_{орг.,}$ мас. %) :

$$J^-_{EDS} = 0{,}125\ C_{орг} + 3{,}49 \qquad R = 0{,}90$$

Неожиданно высоки и статистически значимы оказались корреляции между потенциалом фтора и основными индикаторными параметрами диагенеза – содержанием органического вещества в осадках и их естественной влажностью (рис. 2).

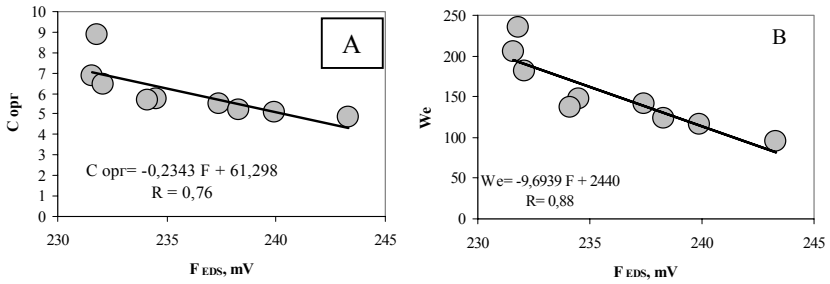


Рис. 2. Зависимость потенциала иона фторида в поровом пространстве от (A) содержания органического вещества ($C_{орг}$, масс. %) и (B) влажности (We) современных глинистых осадков прибрежной зоны Белого моря.

Факторный анализ всей совокупности геохимических данных методом главных компонент показал, что основную часть (68%) изменчивости рассматриваемой системы можно объяснить вариациями трех ассоциаций геохимических параметров (рис. 3): 1 - (J^-, NH^-_4), 2 - (F^-, SO_4^{--},CO_3^{--}, NO_3^-, pH, Eh), 3 – (Br^-, Cl^-, Cu^{++}, Fe^{+++}).

Ассоциация йода с аммонием – хорошо известный факт, отражающий процесс освобождения этих компонент при деструкции азотсодержащего органического вещества. Доминирующая роль ионов фтора в ассоциации 2 (F^-, SO_4^{--}, CO_3^{--}, NO_3^-, pH, Eh), отражает, по-видимому, процессы перераспределения элементов в системе поровые растворы – фторсодержащие слоистые минералы глинистой фракции на общем фоне изменения окислительно-восстановительных условий в поровом пространства осадков в ходе их диагенетических преобразований.

Ассоциация 3 (Br^-, Cl^-, Cu^{++}, Fe^{+++}) отражает, в первую очередь, общую минерализацию поровых вод, роль которой, возможно, лимитируется процессами выделение воды (наряду с йодом и аммонием) при деструкции органического вещества.

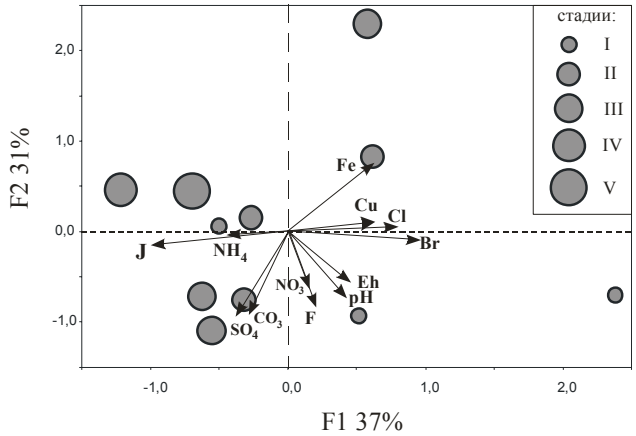


Рис. 3. Факторная диаграмма соотношения стадийности процесса седиментогенеза и вариаций состава поровых растворов прибрежных осадков моря Лаптевых (бухта Моржовая). Стадии по [3].

Следует особо отметить, что рассматриваемые выделенные геохимические ассоциации на факторной диаграмме достаточно четко коррелируют со степенью диагенеза, определенной на основе $C_{орг}$ и физико-химических свойств осадков.

Таким образом, оценивая результаты проведенного комплекса исследований, можно отметить, что во всех выявленных ассоциациях геохимических параметров ведущую роль играют галогены: йод, фтор, бром и, в меньшей степени хлор. Именно эти компоненты наряду со стандартными показателями pH и Eh могут быть использованы на практике при экспресс-индикации степени диагенеза глинистых осадков.

1. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М.: МГУ, 1979. 232 с.
2. Осипов В.И., Соколов В.Н., Еремеев В.В. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений. М.: Наука, 2001. 237 с.
3. Здобин Д.Ю. Процесс образования глинистых осадков в присутствии органического вещества: «Типы седиментогенеза и литогенеза их эволюция в истории Земли». Труды V Всероссийского литологического совещания. Екатеринбург, 2008, с. 241-242.
4. Gieskes J.M., Mahn C. Halide systematics in interstitial waters of ocean drilling sediment cores. 2007. Applied Geochemistry. v. 22. p. 515–533.

5. Kennedy H.A., Elderfield H. Iodine diagenesis in nonpelagic deep-sea sediments. 1987. Geochim. Cosmochim. Acta. v. 51. p. 2505–2514.
6. Carter M.R., Gregorich E.G. Soil sampling and methods of analysis. NY: CRC Press, 2008. 1205 p.

Ionic activities of halogens (Cl-, Br-, I- , F-), indicator anions (NH_4^-, NO_3^-, SO_4^{--}, CO_3^{--}), iron and copper (Fe^{3+}, Cu^{2+}) were evaluated in water soluble fraction of modern near shore sediments from North Russia. It was shown that physical and rheological properties of sediments as well geochemical peculiarities of pore waters can be used to estimate the stages of diagenesis.

В.В. Зернова, М.М. Доманов
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail domanov@ocean.ru)

Сезонная изменчивость фитопланктонного сообщества в проливе Дрейка

V.V. Zernova, M.M. Domanov
(P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Seasonal variability of the phytoplankton community in the Drake Passage

На основе работ, выполненных на разрезе в проливе Дрейка в разные сезоны, получен полугодовой цикл развития фитопланктонного сообщества в этом районе. Таким образом наблюдениями был охвачен весь период активной вегетации (октябрь - март). Удалось проследить изменение как общей численности и биомассы фитопланктона, так и основных отделов сообщества (таблицы 1 и 2).

Таблица 1. Изменение численности клеток (кл/л) основных отделов фитопланктона в проливе Дрейка по сезонам

	Диатомеи	Динофлагеллаты	Прочие	Кокколитины
Весна	923962	24244	1517	82945
Лето	222887	26701	567	136982
Осень	46574	8650	449	66899

Таблица 2. Изменение биомассы (мг/м^3) клеток основных отделов фитопланктона в проливе Дрейка по сезонам

	Диатомеи	Динофлагеллаты	Прочие	Кокколитины
Весна	1699.7	228.1	8.8	20.9
Лето	614.2	106	1.4	14
Осень	393.5	21.8	0.9	17.8

Наиболее массовое развитие наблюдалось весной у диатомей - 923962 кл/л. Наибольшее их количество отмечено в антарктической зоне (22531 кл/л), а наименьшее в субантарктической (4496 кл/л). Однако, именно в субантарктических водах развивались крупные диатомеи, определившие наибольшую общую биомассу водорослей. Во второй половине весны (декабрь) наблюдалось максимальное развитие фитопланктона. Суммарная численность и биомасса выросли на порядок. Изменились и зоны массового развития отдельных видов и групп водорослей. Максимальная численность диатомей была отмечена во фронтальной зоне (827900 кл/л, 575 мг/м^3), а максимальная биомасса в антарктической зоне (37600 кл/л, 954 мг/м^3).

Наиболее многочисленными в весенний период были виды рода Nitzschia и Fragilariopsis. Максимум численности Nitzschia (88500 кл/л) был достигнут в ноябре в антарктических водах, а у Fragilariopsis (69500 кл/л) в декабре.

Для рода Eucampia характерен более короткий вегетационный период (с декабря по феврвль). Развитие этого рода началось в субантарктических водах и во фронтальной зоне, где и был отмечен максимум численности (4300 кл/л). В антарктической зоне он в декабре не встречался. В январе род Eucampia встречался во всех исследованных зонах.

Летом общее количество клеток диатомей в проливе понизилось до 222887 кл/л. Биомасса также снизилась с 1699 мг/м3 до 614 мг/м^3 . Численность динофлагеллат весной и летом измерялась величинами одного порядка 24244 - 26701 кл/л. Однако весной развивались более крупные формы динофлагеллат вследствие чего их биомасса весной была в 2 раза выше чем летом.

Что касается кокколитин, наиболее теплолюбивой группы водорослей, то они достигают максимального развития именно в летний период (136982 кл/л). При этом, однако, развиваются более мелкие клетки по сравнению с весенним периодом. Несмотря на более высокую численность биомасса кокколитин летом снизилась в 1,4 раза по сравнению с весной.

Осенью у большинства видов прослеживается спад в развитии. В феврале резко, почти на порядок, сократилась численность Coretron, Nitzschia, Fragilariopsis, Chaetoceros.

В результате полугодового периода наблюдений за развитием фитопланктона мы можем выделить наиболее массовые группы, встречавшиеся в проливе Дрейка с весны до осени - Fragilariopsis (405180 кл/л), Thalassiosira (264426 кл/л) и Nitzschia (204603 кл/л). При этом максимум численности весной и летом имеет Fragilariopsis (156200 и 226380 кл/л, соответственно), а в осенний период Thalassiosira (117900 кл/л)

В течение вегетационного периода происходит изменение объема клеток фитопланктона. У диатомей размер клеток от весны к осени увеличивается от 1839 мкм^3 весной до 8448 мкм^3 осенью. Наиболее крупные клетки весной и летом отмечены у динофлагеллат (9408 мкм^3). Весной на втором месте по

размеру следуют прочие (5800 мкм^3), затем диатомеи (1839 мкм^3) и кокколитофориды (250 мкм^3). У кокколитофорид самые крупные клетки были весной и осенью, летом преобладали мелкие развивающиеся клетки с объемом 102 мкм^3.

The seasonal variability of the quantity of cells and biomass in phytoplankton community in the Drake Passage during the period of active vegetation were studied. On the example of the diatoms the seasonal changes of the main groups and species were shown.

Е.А. Кудрявцева[1], С.А. Мошаров[2], С.В. Александров[3]
([1]Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Калининград, e-mail: kudryavtzeva@rambler.ru; [2]Институт океанологии П.П. Ширшова РАН, г.Москва, e-mail: mosharov@ocean.ru; [3]Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Калининград, e-mail: hydrobio@mail.ru)

Оценка потоков взвешенного органического вещества и их связь с содержаниес хлорофилла и первичной продукцией в Балтийском море в 2006-2007 гг.

E.A. Kudryavtzeva[1], S.A. Mosharov[2], S.V. Aleksandrov[3]
([1]P.P.Shirshov Institute of Oceanology, Atlantic Branch, RAS, Kaliningrad; [2]P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; [3]Atlantic Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography, Kaliningrad)

Assessment of particle organic carbon fluxes in the Baltic Sea and connection with chlorophyll “a” and primary production in the Baltic Sea in 2006-2007

В 2006-2007 гг. в четырех районах Балтийского моря выполнены измерения потоков взвешенного органического углерода (ВОВ) с использованием радиохимического (ториевого) метода [1,2]. В Гданьском бассейне исследования проводились в марте, июле и октябре в двух точках: на станции глубиной 110 м в центре впадины и мелководном прибрежном участке глубиной 30 м. В Борнхольмском, Готландском бассейнах и Финском заливе определения проведены в июле (в Финском заливе только в июле 2007 г). В Гданьском бассейне одновременно с измерением скорости биогенной седиментации определялись интенсивность первичной продукции и бактериальной деструкции, а также содержание хлорофилла «а».

Скорость удаления ВОВ в течение всего периода работ изменялась в пределах: от 0 до 11 мгС·м$^{-3}$·сут$^{-1}$. В начале марта на станциях в Гданьском

бассейне скорость биоседиментации несколько возрастала с увеличением глубины. Более высокая скорость удаления ВОВ в марте 2007 г. по сравнению с 2006 г., очевидно, связана с более высокой скоростью первичной продукции и бо́льшим содержанием хлорофилла «а». По сравнению с другими исследованными сезонами в этот период скорость биоседиментации наиболее тесно связана с такими показателями как биомасса фитопланктона, его первичная продукция и деструкция органического вещества микроорганизмами. Коэффициент корреляции между скоростью новообразования органического вещества и скоростью его удаления составил *0,38 (n=12)*. С концентрацией консервативного показателя хлорофилла степень взаимосвязи была выше – *-0,62 (n=16)*. Со скоростью бактериальной деструкции органического вещества, оцененной радиоуглеродным методом [3], коэффициент корреляции в конце зимы составил *-0,44 (n=16)*.

В июле в каждый год исследований в Борнхольмском, Гданьском и Готландском бассейнах вертикальное распределение интенсивности биогенной седиментации имела сходные черты. Можно предположить типичное распределение скорости биоседиментации на достаточно большой акватории в продолжении одного биологического сезона. В 2006 г. минимальные скорости удаления ВОВ (близкие к минимальному пределу измерений метода) были определены в поверхносном слое, в 2007 г. – над термоклином. На данных горизонтах происходило замедление оседания частиц органической взвеси, либо метод не позволял получать адекватные оценки вертикального потока частиц в условиях значительного горизонтального переноса течениями. При сопоставлении биогенной седиментации с биологическими показателями статистически значимая взаимосвязь летом сохранилась с хлорофиллом *r=–0.39 (n=18)* и интенсивностью гетеротрофной деструкции *r=–0.33 (n=24)*.

В октябре 2006 г. скорости удаления ВОВ имели значения, близкие к полученным в 2007 г., что может свидетельствовать о повторяющихся сезонных условиях формирования потоков. При завершении вегетационного периода наблюдается слабая степень взаимосвязи с минерализацией органики микроорганизмами *r=0.34 (n=16)*.

Исследования биоседиментации в 2006-2007 гг. показали значительные межгодовые и сезонные колебания потоков ВОВ (табл.1). По сравнению с исследованиями потоков ВОВ уран-ториевым методом, проведенными в Балтийском море ранее [4, 5], нами получены значения на порядок ниже. Связь биоседиментации с основными биологическими параметрами (первичная продукция, бактериальная деструкция, содержание хлорофилла) планктонных сообществ наиболее выраженной была в ранневесенний период. Летом вариабельность величин потоков ВОВ была связана с содержанием хлорофилла и гетеротрофной деструкцией, а осенью – только с активностью гетеротрофных бактерий.

Табл. 1. Потоки ВОВ из 0-30 м слоя водной толщи в Балтийском море, мгС·м$^{-2}$·сут$^{-1}$

Район моря	станция	2006			2007		
		март	июль	октябрь	март	июль	октябрь
Борнхольмский бассейн	ВУ5		95			27	
Гданьский бассейн	22	25	22	66	50	134	51
	18	10	93	87	44	17	110
Готландский бассейн	ВУ15		57			16	
Финский залив	F17					11	

1. Buesseler K.O., Bacon M.P., Cochran J.K., Livingston H.D., Carbon and nitrogen export during the JGOFS North Atlantic Bloom Experiment estimated from ^{234}Th:^{238}U disequilibria // Deep-Sea Research, 1992. – V. II. – № 39. – P. 1115-1137.
2. Cochran J. K., Feng H., Amiel D., Beck A. Natural radionuclides as tracers of coastal biogeochemical processes // Journal of Geochemical Exploration, 2006. – № 88. – P. 376– 379.
3. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресноводных водоемов. Лабораторное руководство. М.: Наука, 1974. 259с.
4. Исследование экосистемы Балтийского моря. СПб: Гидрометеоиздат, 2005. – С. 143-154.
5. Цыбань А.В., Глебов Б.В., Мединец В.И. Роль биогенной седиментации в удалении загрязняющих веществ из эвфотического слоя Балтийского моря // Исследование экосистемы Балтийского моря. Л: Гидрометеоиздат, 1990. – С. 152-167

Assessment of particle organic carbon fluxes in the Baltic Sea was carried out in the south-eastern part of Baltic Sea in 2006-2007. These fluxes are compared with primary production and chlorophyll “a”.

С.Е. Кукина
(Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, e-mail: skoukina@gmail.com)

Особенности распределения форм металлов в донных отложениях малых губ Кандалакшского залива Белого моря

S.E. Koukina
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Metal form distribution in sediments from small coastal environments of Kandalaksha bay (White Sea, Russian Arctic)

Кандалакшский залив Белого моря представляет собой уникальную арктическую эстуарную систему. Расчлененный Карельский берег Кандалакшского залива формирует широкое разнообразие прибрежных экосистем с различной степенью опреснения вод. Эстуарии активно работают как фильтры для поступающих с суши потоков вещества [3]. При комплексном исследовании таких активных барьерных зон микроэлементы служат маркерами природных биогеохимических процессов.

Известно, что в природных экосистемах подвижность, биологическая доступность и, следовательно, токсичность элементов существенно зависит от форм их нахождения и типа связи с матрицей образца. Целью настоящей работы явилась сравнительная оценка содержания форм металлов Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Li в донных отложениях малых губ Карельского берега Кандалакшского залива.

Поверхностные пробы донных отложений (0-50 мм) отбирали на 22 станциях в июле 2003 года на литорали Карельского берега в кутовой части Ругозерской губы (Пояконда), в Черноречeнской губе (в эстуариях Черной реки и Лапшагина ручья), в Белой губе Бабьего моря на литорали острова Великий, а также на литорали двух островов в шхерном районе Подволочье (рис.1). Методика отбора, хранения и подготовки проб описана в [2]. Подвижные формы металлов в пробах определяли методом экстракции 25% CH_3COOH. Минеральные прочносвязанные формы металлов определяли путем полного кислотного разложения осадка (в смеси HNO_3:HCl:HF). Определение элементов в растворах проводили методом AAS. Общее содержание элемента в пробах донных отложений рассчитывали как сумму кислоторастворимой и минеральной прочно-связанной форм элемента.

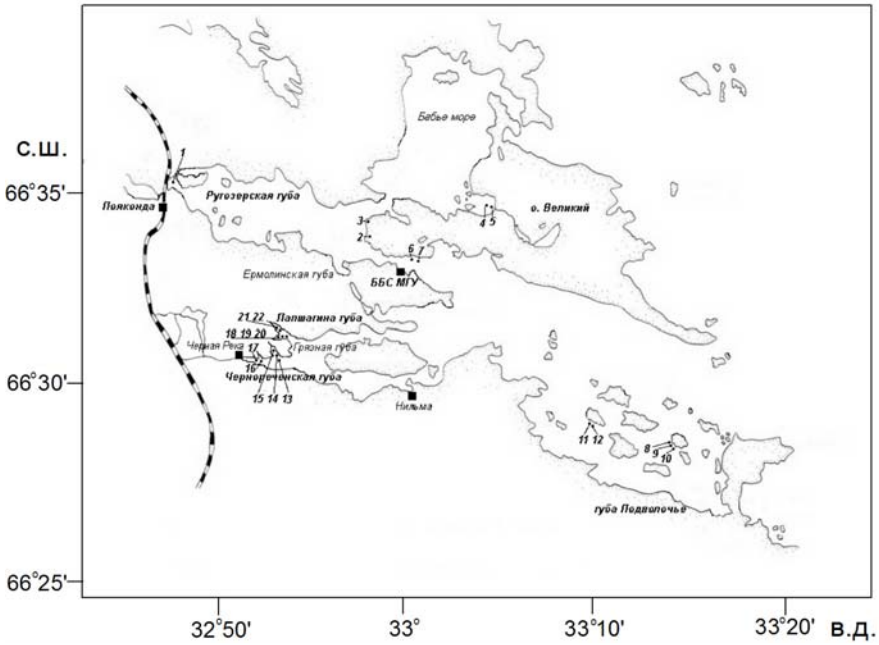


Рис. 1. Карта района исследований.

Значения содержания подвижной кислоторастворимой и минеральной прочносвязанной форм металлов в верхнем слое литоральных донных осадков показаны в таблице 1.

В изученных пробах ДО содержание кислоторастворимой формы Li было ниже предела обнаружения метода. Определяемые количества кислоторастворимой формы Cu и Pb обнаружены менее чем в 50% изученных проб. Значительные количества кислоторастворимой формы были найдены для элементов Fe, Mn, Zn и Cr. Доля подвижной кислоторастворимой формы от общего содержания составила в среднем 3,2% для Fe, 2,0% для Mn, 1,7% для Cr, 5,6% для Pb, 5,8% для Zn, 6,5% для Cu и была незначительной для Li. Считая содержание подвижной кислоторастворимой формы в балансе элемента характеристикой его геохимической подвижности и, как следствие, потенциальной биодоступности, изученные элементы располагаются в следующий ряд (в порядке возрастания подвижности): Li<<Cr≤Mn<Fe<Pb≤Zn<Cu.

Минеральные прочносвязанные соединения металлов являются в изученных донных отложениях преобладающими. К этой фракции относятся металлы, интегрированные в кристаллическую решетку глинистых минералов, входящие в состав детрита, связанные с устойчивыми органическими и Fe/Mn соединениями, а также собственные

гидроксиды, карбонаты и сульфиды металлов. Доля минеральной формы для всех изученных элементов составила 77-99%, что согласуется с ранее опубликованными данными по формам металлов в донных отложениях эстуариев Белого и Баренцева морей [1].

Таблица 1. Содержание подвижной (кислоторастворимой) формы (числитель) и минеральной (детритной) формы (знаменатель) металлов в донных отложениях (мкг/г).

Район	Ст	Fe (%)	Mn	Cu	Zn	Pb	Cr	Li
Пояконда	1	0,13/3,33	7/470	5/21	11/62	6/18	2/300	-/9
о. Великий	2	0,11/3,03	11/230	109/806	22/89	2/57	3/86	-/6
	3	0,003/1,87	1/336	*-/14	2/100	-/5	1/84	-/3
	4	0,12/3,49	42/566	-/10	4/81	-/6	3/140	-/8
	5	0,14/2,92	18/455	-/7	6/77	2/8	3/111	-/9
Подволочье	6	0,007/1,65	1/343	-/-	1/72	-/4,4	-/62	-/2
	7	0,007/1,69	1/348	-/1	1/51	1/3,3	-/66	-/4
	8	0,008/1,68	1/325	-/1	1/41	-/4,5	-/72	-/4
	9	0,003/1,28	2/264	-/1	1/30	-/6	-/67	-/2
	10	1,0/2,71	11/390	-/4	3/39	-/4	3/112	-/5
	11	0,17/3,26	30/480	1/9	4/65	-/7	3/153	-/10
	12	0,02/2,62	6/450	-/7	1/50	-/5	1/138	-/3
Черная губа	13	0,11/3,22	6/480	1/9	2/51	1/7	2/132	-/10
	14	0,06/2,78	4/530	-/5	2/89	7/7	1/122	-/9
	15	0,25/4,45	8/640	-/10	8/64	-/8	4/190	-/13
	16	0,05/3,63	4/610	-/8	1/52	-/7	2/136	-/8
	17	1,30/16	18/280	-/16	4/57	-/9	13/180	-/9
Лапшагина губа	18	0,13/3,51	5/445	-/6	4/65	-/9	2/160	-/10
	19	0,24/3,63	6/400	-/11	8/63	-/8	4/150	-/17
	20	0,23/3,60	5/440	-/9	4/77	-/11	3/168	-/12
	21	0,14/2,98	9/470	-/4	2/42	-/9	3/126	-/8
	22	0,12/3,37	5/430	-/6	2/53	-/9	3/164	-/11

*- не обнаружено

В ходе предыдущих исследований в отложениях Карельского берега было установлено повышенное содержание цинка и хрома по сравнению с прибрежными районами Белого и других морей западной Арктики [5]. Предварительно, обогащение отложений Карельского берега Zn и Cr обуславливалось региональными различиями в вещественном составе материнских пород. Полученное соотношение форм металлов в изученных донных отложениях с резким преобладанием минеральной прочносвязанной формы над подвижной подтверждает ранее сделанный вывод о естественном происхождении повышенного содержания цинка и хрома в отложениях Карельского берега.

Уровни общего содержания тяжелых металлов в изученных пробах донных отложениях в основном согласуются с полученными ранее данными по Кандалакшскому и Двинскому заливам Белого моря [2, 5]. Среднее общее содержание Cu, Zn, Pb и Cr в изученных пробах были ниже содержания этих элементов в ДО из таких малых губ района как Ермолинская и Ругозерская. В соответствии с рекомендациями по оценке качества донных отложений, установленные уровни содержания тяжелых металлов для большинства проб были ниже опасных концентраций, вызывающих вредное воздействие на биоту [6]. Повышенное содержание тяжелых металлов и, в особенности, их подвижных форм в ДО на отдельных станциях пробоотбора (ст.1 и 2) может свидетельствовать о точечном антропогенном загрязнении.

Интенсивное эндогенное поднятие береговой зоны Кадалакшского залива приводит к отделению в литоральной зоне многочисленных небольших водоемов, характеризующихся уникальными гидролого-гидрохимическими режимами с контрастной сменой окислительно-восстановительных условий. В ходе данного исследования были отобраны пробы в двух отделяющихся лагунах Чернореченской губы (ст. 15 и 17). Эти пробы характеризуются высоким содержанием глинистой фракции и значительным содержанием подвижных форм Fe, Mn, Zn и Cr (табл.1). В буром тонкозернистом осадке из центральной части отшнуровывающейся лагуны (ст.17) был выявлен резкий максимум в содержании суммарного (160000 мкг/г) и подвижного Fe (13000 мкг/г) среди изученных проб. К этой станции относится и максимальная доля подвижных Fe, Mn и Cr от их суммарного содержания в пробах, которая составила 6%, 6,5% и 7,5%, соответственно. Установлено, что концентрации Fe в водах отшнуровывающихся водоемов региона более чем на два порядка превышают фоновые [4]. В изученных отшнуровывающихся лагунах при постоянном опреснении в условиях типичного эстуария, с одной стороны, и ограниченного водообмена с морем, с другой стороны, в аэробном слое со сверхвысокими концентрациями O_2 может происходить интенсивное выпадение растворенных форм железа в виде взвеси и его накопление в поверхностных ДО. Высокое содержание подвижных форм редокс-элементов в поверхностных ДО связано, вероятно, с развитием придонного анаэробного слоя в центральных впадинах отшнуровывающихся водоемов. Сезонное смещение границы анаэробной зоны может приводить к переходу значительных количеств железа и сопутствующих микроэлементов в растворенное состояние. Зимой, во время ледостава, восстановительная обстановка в таких водоемах может распространяться на всю толщу воды. Таким образом, повышенное содержание железа в водах и осадках отшнуровывающихся водоемов может быть обусловлено локальными особенностями водообмена и уникальной окислительно-восстановительной обстановкой.

1. Кукина С.Е., Садовникова Л.К., Калафат-Фрау А., Палеруд Р., Хуммель Х. Формы металлов в донных отложениях некоторых эстуариев бассейна Белого и Баренцева морей // Геохимия. 1999. №12. с. 1324-1329.
2. Кукина С.Е., Садовникова Л.К., Калафат-Фрау А., Хуммель Х., Реголи Ф. // Распределение металлов во взвешенном веществе и донных отложениях эстуария реки Северная Двина // Океанология. 2002. Т.42.
3. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т.34. №5. С.735-747.
4. Шапоренко С.И., Корнеева Г.А., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы, 2005, том 32, №5, с. 517-532.
5. Koukina S., Korneeva G., Ametistova L. Bek T. // A comparative biogeochemical study of sediments from Kandalaksha bay, White sea, Russian Arctic // Polar Record. 2003. 39 (211). P. 357-367.
6. 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.

A speciation study of Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr and Li in sediments from small coastal environments of Kandalaksha bay showed that metals studied occur mainly in mineral-incorporated form, which comprises 77-99% of total metal content. The contents of labile form extracted by weak acid were high (up to 7.5%) for metals Fe, Mn and Cr in sediments from separating basins due to the specific oxidizing conditions.

А.Ю. Леин

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

Биогеохимический цикл метана в океане

A.Yu. Lein
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

The Biogeochemical methane cycle in the ocean

На дне океана имеются три основные экосистемы с активными процессами метаногенеза и метанокисления: осадки океана, находящиеся на стадии диагенеза (*биогенный метан*); области разгрузки метана из древних осадочных толщ континентальных окраин (*термогенный метан*) и области разгрузки метана в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов (*абиогенный метан*).

В докладе рассматриваются геохимические особенности этих трех экосистем на конкретных примерах. Всего изучено 24 района океана.

Особенности выполненных нами исследований в тесном контакте с микробиологами (ИНМИ РАН) заключается в экспериментальном изучении с помощью радиоизотопов вклада метаногенных организмов (архей) в процессы образования метана – одного из основных продуктов анаэробных процессов минерализации органического вещества (ОВ). Процессы микробного метаногенеза обнаружены в верхнем метре всех проанализированных осадков шельфа, континентального склона и подножья склона до глубины ~4000 м с продукцией 0,003–0,141 мкмоль CH_4 $м^{-2}$ $сут^{-1}$ (при чувствительности метода 0,00n нмоль CH_4 $дм^{-3}$ $сут^{-1}$).

Важным фактором, влияющим на скорость метаногенеза, является глубина дна, что опосредовано связано с количеством и составом ОВ и литологией отложений. В пределах отдельных акваторий заметное увеличение продукции CH_4 наблюдается в осадках у впадения крупных рек за счет повышенной биопродуктивности и поступления дополнительного количества терригенного ОВ с речным стоком. В целом скорость процессов биогенного метанообразования при диагенезе осадков определяется циркумконтинентальной зональностью в океане: максимальная интенсивность наблюдается в богатых ОВ осадках у континентов, а в осадках ложа океана, с содержанием $C_{орг}$<0,3–0,5%, скорость процесса падает до нулевых значений.

Наряду с метаногенезом в осадках происходят биогенные процессы аэробного и анаэробного (АОМ) окисления метана. Потребление метана при диагенезе осадков «нормального океана» меньше его продукции, что определяет, во-первых, вектор потока CH_4 из осадков в водную толщу и, во-вторых, захоронение части диагенетического метана в отложениях дна на геологическое время.

Установлено, что в «нормальном» океане поток метана в атмосферу определяется величиной продукции биогенного метана в подповерхностных горизонтах аэробной водной толщи. Это так называемый «океанический метановый парадокс»: метаногенез протекает в анаэробных условиях во взвеси и пищеварительном тракте планктонных животных.

В «возмущенном» океане с разгрузкой метана на дне процессы аэробного и анаэробного метанокисления сокращают поток CH_4 в атмосферу, но не полностью утилизируют весь метан, поступающий в составе сипов с небольших глубин.

Процессы окисления метана происходят при разложении метансодержащих газгидратов на дне океана.

Большая часть выходов метана на дне связана с грязевым вулканизмом. При окислении метана микробными матами и симбиотрофными животными потребляется от 10 до 50% от его потока.

Вместе с тем, акватория Мирового океана – один из источников атмосферного метана.

Глубоководные гидротермальные поля срединно-океанических хребтов (СОХ) и задуговых бассейнов – еще один источник поступления метана в

океан. Полученные оценки потока метана показывают, что абиогенный метан является важным компонентом собственно экосистемы гидротермальных полей и придонных вод в районе, но вклад абиогенного метана в общий баланс CH_4 в океане с учетом его потребления микроорганизмами составляет ~10^9 моль год$^{-1}$. Этот метан не доходит до атмосферы, поскольку в 200–300 м от дна над гидротермальным полем, его концентрация в водной толще соответствует фоновой.

Таким образом, реальный поток метана в атмосферу обеспечивают в основном процессы метаногенеза в анаэробных микронишах в подповерхностных горизонтах водной толщи и в мелководных осадках шельфа, эстуариев и зон литорали.

В целом океан является гигантским реактором, в донных отложениях которого происходит микробный синтез метана, а в водной толще – окисление метана метанотрофными микроорганизмами.

The sources of methane in water column, in modern sediments, in methane seeps, in mud volcanic fluids and sediments and from gashydrate methane were discussed.

А.Ю. Леин[1], И.И. Русанов[2], Г.А. Павлова[1], А.А. Мелузов[1], З.И. Верховская[1], Л.Р. Мерклин[1], М.В. Иванов[2], М.В. Флинт[1]

([1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: lein@ocean.ru, [2]ИНМИ им. С.Н. Виноградского РАН, e-mail: ivanov@inmi.host.ru)

Биогеохимические процессы в осадках внешнего шельфа российского сектора Черного моря

A.Yu. Lein[1], I.I. Rusanov[2], G.A. Pavlova[1], A. Meluzov[1], Z.I. Verkhovskaya[1], L.R. Merklin[1], M.V. Ivanov[2], M.V. Flint[1]

([1]Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, [2]Winogradsky Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Biogeochemical processes in the sediments of outward Russian shelf of the Black Sea

Биогеохимические процессы – важная составная часть процессов осадконакопления и диагенеза. В течение 1980–2005 гг. были получены количественные оценки скоростей ключевых процессов циклов серы и углерода, позволившие создать балансовые модели этих циклов для западных районов Черного моря, заметно отличающихся от его восточных районов.

В 2009 г. в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН (№ 17) было предусмотрено изучение биогеохимических процессов в российском секторе Черного моря. Первая комплексная экспедиция в марте 2009 г. на НИС ИО РАН «Профессор Штокман» (рейс № 100, рук. д.б.н. М.В. Флинт) позволила собрать представительный материал на разрезе шельф–склон–пелагиаль.

В данной работе излагаются результаты исследования осадков только кислородной зоны шельфа на глубине около 100 м в двух районах: (1) – в прикерченском, на разрезе Бугаз–вал Шатского (ст. 43, глубина 102 м) и (2) – в районе бухты Инал (ст. 77, глубина 88) на небольшом (h≈10 м) возвышении над дном. Литологический разрез верхних 60 см осадков на обеих станциях имеет много общего. Это псамо-алеврит-пелитовые «фазеолиновые» илы, карбонатно-глинистые, с большим количеством раковинного материала. Поверхностный слой, толщиной менее 1 см, коричневато-бурого цвета, окисленный (Eh=+250 мВ). Ниже этого слоя (горизонт 1–20 см) цвет осадков меняется на серый и зеленовато-серый, значения Eh сдвигаются в отрицательную сторону, появляется запах сероводорода и черные примазки гидротроилита. Эти мягкие влажные расслаивающиеся илы переходят в более плотные темно-серые преимущественно пелитовые терригенные илы, чередующиеся с прослоями и линзами, обогащенными обломками раковинного (фазеолины) материала, по-видимому, прижизненного захоронения (гор. 20–60 см).

Изученный разрез осадков на ст. 77, в отличие от ст. 43, заканчивается на горизонте 3,25 м (ТБД). В колонке ст. 77, состоящей из современных терригенных отложений, часто перемятых, присутствуют прослои, мощностью до 3–7 см, обогащенные раковинами мидий *Mytilus galloprovincialis* (определение Е.М. Крыловой, ИО РАН) хорошей сохранности. Насчитывается, как минимум, три таких четко выраженных прослоя в колонке ст. 77 и соседней с ней ст. 80 (глубина 97 м).

Двухстворчатые моллюски–фильтраторы *M.galloprovincialis* питаются мелкой взвесью. Известно, что этот вид мидий не живет в толще осадков. Они обитают на поверхности дна, на глубинах от 0 до 50 м. Другими словами, захоронение *M.galloprovincialis* в колонке ст. 77 не является прижизненным. Створки раковин были перемещены на большую глубину из естественного местообитания этого вида мидий. Причем такие перемещения происходили неоднократно, поскольку в разрезе осадков наблюдается несколько прослоев, обогащенных раковинами *M.galloprovincialis*, что связано, в первую очередь, с сейсмической активностью района, вызывающей оползни и перенос прибрежного материала на большие глубины. Это явление, характерное для склоновых участков моря, видимо, происходит на шельфе. «Мидиевые» слои имитируют границы поверхностных осадков.

Представляет интерес исследование биогеохимических процессов в таком аномальном разрезе осадков. Содержание $C_{орг}$ в верхнем слое осадков (0–8 см) составляет 1,13%. Ниже по разрезу осадков в интервале 10–140 см содержание $C_{орг}$ колеблется в близких пределах 0,755–0,837%. Для «мидиевых» прослоев характерно максимальное количество $C_{орг}$, достигающее 2,383–2,558% (гор. 283–294 см). Близкие величины концентрации $C_{орг}$ по разрезу объясняют, в известной степени, однородный изотопный состав $C_{орг}$ в осадках ст. 77 ($\delta^{13}C$= -23,4 – -23,8 ‰).

Однородный изотопный состав $C_{орг}$ характерен также для осадков ст. 43 ($\delta^{13}C$= -22,5 – -23,4 ‰), с отклонением в сторону обеднения изотопом ^{13}C только $C_{орг}$ верхних 5 см, где $\delta^{13}C$-$C_{орг}$ равно -26,3 ‰ за счет повышенной концентрации в осадке терригенного изотопно-легкого $C_{орг}$.

Содержание SO_4^{2-}, Ca^{2+} и Mg^{2+} в иловой воде «мидиевых» слоев падает соответственно до 0,2–0,5 г $л^{-1}$; 0,13 и 0,17 г $л^{-1}$.

В современных молодых осадках (гор. 0–20 см, ст. 43 и 77) содержание хлороформенного битумоида (ХБА) и углеводородов (УВ) в составе ХБА примерно одинаковые, что подчеркивает сходные условия их образования. Для них характерно также близкое к бимодальному распределение н-алканов с максимальной концентрацией C_{16}, C_{17} и C_{25}, C_{26}, обычное для современных осадков. В «мидиевых» слоях содержание ХБА выше, чем в других горизонтах осадков. В них наблюдается также увеличение концентрации н-алканов C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}, возможно, за счет алканов, мигрирующих в составе глубинных флюидов.

Концентрация метана в верхних 30 см осадков обеих станций составляет 13–36 мкл $дм^{-3}$, слабо увеличиваясь к слою 130–140 см (до 59 мкл $дм^{-3}$). В карбонатно-глинистых отложениях, содержащих прослои мидий, концентрация метана резко возрастает до 30730 мкл $дм^{-3}$. При этом скорости микробного метаногенеза также возрастают, но все равно остаются низкими (509–148 нлCH_4 $дм^{-3}сут^{-1}$), в то время как скорость окисления метана в «мидиевых» прослоях больше скорости метаногенеза и достигает 68556–82208 нлCH_4 $л^{-1}сут^{-1}$, что, скорее всего, свидетельствует о поступлении миграционного CH_4 в нижние горизонты изученной колонки осадков. Высокая скорость микробного окисления CH_4 сопровождается образованием микробной биомассы и экзометаболитов, при этом активизируются другие восстановительные биогеохимические процессы в «мидиевых» прослоях, а именно – гетерогенной темновой CO_2-ассимиляции (до 260 мкгС $дм^{-3}сут^{-3}$) и сульфатредукции (до 155 мкгS $дм^{-3}$ $сут^{-1}$).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

– для разреза изученных карбонатно-глинистых современных осадков внешнего шельфа характерно равномерное распределение концентрации $C_{орг}$ (<1%) с однородным изотопным составом ($\delta^{13}C$= -23 ‰) и равномерное распределение концентрации CH_4 (16–60 мкл $дм^{-3}$) до горизонта 140 см;

– в карбонатно-глинистых отложениях с «мидиевыми» прослоями

содержание CH_4 увеличивается на три порядка величин; скорости микробного метаногенеза в этих прослоях значительно ниже скорости метанокисления, что свидетельствует в пользу миграционной природы CH_4; повышенные концентрации н-алканов C_{25}, C_{27}, C_{29} и C_{31} не характерны для ОВ современных осадков, что также заставляет предполагать миграцию высокомолекулярных н-алканов из более древних отложений;

– небольшая возвышенность в рельефе дна шельфа, на которой расположены ст. 77 и ст. 80, образовалась после формирования слагающей их толщи; образование возвышенности, скорее всего, связано с подъемом всей этой толщи за счет газонасыщенности нижележащих отложений; толща современных карбонатно-глинистых отложений служит «покрышкой», сдерживающей миграцию метана к границе осадок–водная толща. Прорыв газонасыщенного флюида к поверхности привел бы к образованию небольшого кратера или покмарка, которые широко распространены на шельфе и континентальном склоне в морях и океанах.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 09-05-00164 а) и программы № П17 (проект 9.2) Президиума РАН.

Biogeochemical processes of the CH_4 and sulfur cycles in the Black Sea shelf have been studied. The reason of increase CH_4 contents and rates of the methaneformation and methaneoxidation processes are discussed.

А.В.Леонов[1], В.М.Пищальник[2], О.В.Чичерина[1]
([1]Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН, e-mail: leonov@ocean.ru,
[2]Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН, e-mail: vpishchalnik@rambler.ru)

Об адекватности CNPSi–модели, используемой в качестве инструмента для изучения состояния водных экосистем

A.V.Leonov[1], V.M.Pishchalnik[2], O.V.Chicherina[1]
([1]Institute of oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, [2]Far-East Geological Institute (Sakhalin Branch), Far East Division, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk)

To adequance of the CNPSi–model used as instrument in the studies of ecological state of water ecosystems

Процессы биотрансформации биогенных веществ (БВ) осуществляются непрерывно в пресноводных и в морских экосистемах. Отличия в скоростях этих процессов в разных экосистемах определяются природными факторами (или комплексом условий окружающей среды) и степенью антропогенного воздействия, которое может существенно изменить водный/температурный режим водоемов, а также биогенную нагрузку на водную экосистему. Математическая CNPSi–модель [3] описывает

взаимосвязанные биогидрохимические циклы соединений N, P и Si, процессы биотрансформации и круговорот указанных БВ, растворенного органического углерода (DOC) и режим O_2 в двуслойной водной экосистеме [7]. Биотрансформация БВ в водной среде осуществляется сообществом водных микроорганизмов, поэтому CNPSi–модель воспроизводит изменение активности бактерио-, фито-, зоопланктона и макрофитов в разложении БВ и в их круговороте.

CNPSi–модель может использоваться для изучения условий функционирования пресноводных и морских экосистем и комплекса прикладных водно-экологических задач, так как учитывает взаимодействие природных и антропогенных факторов, отражает их влияние на водную среду и влияние обмена БВ на границах раздела вода–дно, вода–воздух, река–море. Поэтому модель способна воспроизвести имеющиеся различия в распределении и концентрациях химических и биологических характеристик в разных акваториях изучаемых водных объектов.

Опыт применения CNPSi–модели показывает, что она может служить аналогом водной экосистемы и использоваться в качестве инструмента для изучения характерных задач, возникающих в связи с необходимостью исследования важнейших водно–экологических проблем (загрязнение водоемов, условия окислительной трансформации БВ в водных экосистемах, самоочищение водоемов, режимы изменчивости концентраций БВ и реакций водных экосистем на возрастание биогенной нагрузки и др.).

Направления использования любой модели зависят от того, насколько реалистично, детально и в каких масштабах учитываются в ней формализуемые процессы, а также насколько модель адаптирована к описанию этих процессов в реальных условиях. Полученный опыт использования модели CNPSi показывает, что эта модель способна воспроизводить условия биотрансформации БВ в пресноводных системах (например, в Рыбинском водохранилище [5] и р. Велеса [10]) и в морских экосистемах: в Охотском море [7] и его акваториях [6], а также Каспийском [8] и Белом [4] морях.

Важное условие применения математических моделей – характеристика их адекватности изучаемому объекту или комплексу процессов, которые воспроизводятся моделью. Проверка адекватности модели – один из этапов изучения ее возможностей. Ранее на основе ряда статистических тестов была показана адекватность фосфорного блока CNPSi–модели в воспроизведении комплекса процессов биотрансформации форм P в водной среде [13].

Соответствие модельных расчетов изучаемому объекту (или адекватность модели) может быть установлено на основе трех критериев: 1. при совпадении результатов расчетов экспериментальным данным / натурным наблюдениям; 2. при согласованности результатов расчетов с оценками, не использованными при идентификации модели; 3. при

независимости значений констант скоростей отдельных стадий от начальных концентраций главных реагентов и их соотношений.

В данном исследовании CNPSi-модель была применена для изучения особенностей трансформации БВ в водах Татарского прол. (Японское море).

Весь пролив был подразделен на 3 района (1. северный, 2. юго-западный и 3. юго-восточный), водообмен между ними для каждого месяца был оценен с помощью бергенской океанической модели. Для реализации CNPSi–модели использовались входные данные, характеризующие морфометрические параметры районов 1–3, среднемноголетние параметры состояния морской среды для каждого месяца, показатели переноса и водообмена между районами 1–3 и смежными морскими акваториями, а также содержание БВ в водах Амура(поступают в район 1), в атмосферной влаге и концентрации компонентов (на начало года) в водах верхнего и нижнего слоев в районах 1–3.

Расчеты показывают изменения в течение года концентраций БВ и биомасс микроорганизмов (гетеротрофные бактерии, трех групп фито- и двух групп зоопланктона) в районах 1–3. Изменения в течение года расчетных концентраций БВ и биомасс микроорганизмов свидетельствуют о том, что районы 1–3 существенно отличаются (по условиям обеспечения морской среды БВ и соответственно развитию процессов их биотрансформации). Расчеты подтверждают отмеченный ранее факт, что концентрации БВ в поверхностном слое быстро истощаются в период цветения фитопланктона: в районах 1–3 истощение NH_4 происходит со скоростью $(1.772–9.470)\times10^{-4}$, NO_2 – $(1.286–3.917)\times10^{-4}$, NO_3 – $(0.905–5.179)\times10^{-3}$ мг N/(л×сут), DOP – $(1.000–4.0367)\times10^{-3}$ мг P/(л×сут). Выявленные при моделировании условия трансформации БВ и развития биомасс микроорганизмов в течение года в районах 1–3 дополняются расчетными показателями активности микроорганизмов (удельные скорости роста), значениями внутренних потоков биогенных веществ и расчетными значениями биопродуктивности микроорганизмов.

При анализе полученных результатов моделирования процессов биотрансформации БВ в экосистеме Татарского прол. (Японское море) была оценена адекватность расчетов изучаемым процессам на основе сравнения с имеющимися данными о морской экосистеме (измеренными концентрациями БВ и оцененными значениями первичной продукции), которые не принимались во внимание при идентификации параметров CNPSi–модели. В целом получено хорошее соответствие расчетных значений концентраций биогенных веществ и значений биопродукции фитопланктона с имеющимися в литературе оценками для Татарского прол.

Так полученные расчетные данные об изменении в течение года концентраций БВ практически совпадают с имеющимися немногочисленными измерениям. В частности, в январе–феврале содержание суммарного и растворенного органического P в поверхностном

75-метровом слое воды Японского моря составляло соответственно 49 и 31 мкг Р/л [9], и эти оценки близки расчетным: в северной части пролива (район 1) данные формы Р менялись в этот период соответственно в пределах 39–49 и 37–42, в районе 2 – 41–50 и 37–43 и в районе 3 – 29–42 и 15–37 мкг/л.

Характерные сезонные максимумы в развитии биомасс микроорганизмов (в единицах C, Si, N и P) формируются в районах 1–3 в разные сроки. Их значения отличаются и могут смещаться во времени (в зависимости от района и от элемента, в котором выражена биомасса). Первый максимум биомассы фитопланктона формируется к началу весны (определяется в основном условиями прогрева водной среды), второй – в конце лета–начале осени (образуется вследствие рецикла БВ). Наблюдения показывают в развитии фитопланктона в течение года два максимума продукции – весной (март–май) и осенью (октябрь–ноябрь). В южной части пролива они фиксируются раньше, а в северной позже. Модельные расчеты подтверждают эти факты – наибольшие в течение года значения продукции фитопланктона приходятся также на указанные месяцы.

Измеренные аналитическими методами значения первичной продукции совпадают с расчетными (таблица), оцененными на основе учета внутренних потоков БВ. Пересчитанные в единицы С значения продукции фитопланктона для районов 1–3 составляют 2.074, 0.547 и 0.211 г С/(м^2×сут), а для всего Татарского прол. – 2.833 г С/(м^2×сут), в июне 0.743, 0.431 и 0.244 г С/(м^2×сут), в октябре–ноябре – 0.385, 0.106 и 1.800 г С/(м^2×сут), что в целом соответствует экспериментальным оценкам. Соответствие вычисленных по внутренним потокам БВ значений продукции фитопланктона экспериментальным оценкам – свидетельство надежного количественного воспроизведения моделью биогидрохимических взаимодействий компонентов, определяющих характерные свойства морской среды в данном районе Японского моря.

Таким образом, адекватность CNPSi–модели соответствует трем указанным выше критериям. Она подтверждается тем, что модель воспроизводит в соответствии с имеющимися наблюдениями динамику концентраций биогенных веществ, в развитии биомасс фитопланктона показывает наличие двух пиков (весной и осенью), и также рассчитывает по внутренним потокам биогенных веществ интегральные показатели состояния морской среды - скорости первичной продукции (для каждого месяца и за год), значения которых находятся в хорошем согласии с измеренными аналитически оценками.

1. Звалинский В.И. и др. Океанология. 2006. Т. 46. № 1. С. 27–37.
2. Звалинский В.И., Лобанов В.Б., Тищенко П.Я. Сб. «Дальневосточные моря России. Книга 2». М.: Наука, 2007. С. 443–467.
3. Леонов А.В. Моделирование природных процессов на основе

имитационной гидроэкологической модели трансформации соединений C, N, P, Si: учебное пособие. Южно-Сахалинск, 2008 168 с.
4. Леонов А.В. и др. Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 5. С. 589–614.
5. Леонов А.В., Литвинов А.В., Разгулин С.М. Водные ресурсы. 1996. Т. 23. № 6. С. 739–753.
6. Леонов А.В., Пищальник В.М. Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 5. С. 558–574.
7. Леонов А.В., Сапожников В.В. Сб. «Комплексные исследования Охотского моря». М.: Изд-во ВНИРО. 1997. С. 143–166.
8. Леонов А.В., Чичерина О.В. Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 2. С. 189–210.
9. Мокиевская В.В. Сб. “Основные черты геологии и гидрологии Японского моря». М.: ИНСССР, 1961. С. 122–131.
10. Назаров Н.А., Леонов А.В. Водные ресурсы. 1996. Т. 26. № 1. С. 35–47.
11. Сорокин Ю.И. Океанология. 1974. Т. 14. № 2. С. 327–332.
12. Тихомирова Е.А. Океанологические основы формирования первичной продукции в заливе Петра Великого Японского моря. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. геогр. наук. Владивосток: ТОИ, 2008. 23 с.
13. Leonov A.V. Modeling and Explaining the Phosphorus Dynamics of Lake Balaton, 1976–1979. Research Report RR–85–3. International Institute for Applied System Analysis. Austria: Laxenburg, 1985. 59 p.

Таблица. Сравнение значений первичной продукции, рассчитанных с помощью CNPSi–модели для Татарского прол. и измеренных аналитически в разных акваторий Японского моря (данные из литературы)

Ме-сяц	Районы Татарского прол.	Модели-рование, г С/(м^2×сут)	Районы Японского моря	Измерения, г С/(м^2×сут)	Ссыл-ка
V	Северная часть	2.074	Все море	>3.5	[2]
	Юго-западная часть	0.547	Амурский зал.	0.227–0.604	[12]
	Юго-восточная часть	0.211	Уссурийский зал.	0.140–1.387	[12]
	Вся акватория	2.833			
VI	Северная часть	0.743	Центральная часть	0.3–0.4	[11]
	Юго-западная часть	0.431	Восточное и западное побережье	0.5–0.8	
	Юго-восточная часть	0.244	–	–	
X–XI	Северная часть	0.385	Северо-западная часть–	0.120–0.520 –	[1]
	Юго-западная часть	0.106			
–	Татарский прол.	0.354–0.806	Татарский прол.	0.20–0.75	[2]

CNPSi-model describes interrelated cycles of compounds of organogenic elements (C, N, P, Si), their biotransformations and turnover in water ecosystems. This model was used early as instrument for the studing the biogenic substance transformation in marine ecosystems (Caspian Sea, White Sea, and Sea of Okhotsk). In this study CNPSi-model was applied for the biogenic substance transformations in water of the Tater Strait (Sea of Japan). The model adequacy is confirmed by the some facts: it represents in a good agreement with observations the concentration dynamics of biogenic substances and two maximum (spring and autumn) of phytoplankton biomass, and also calculates on internal fluxes of biogenic substances the integral magnitudes of the marine environment states - rates of primary production (for each district, month and whole year). The calculated values of primary productions are conformed to analytical measurements.

Т.В. Литвинова, А.А. Аббясов
(Геологический институт РАН, e-mail: *Litvinova-geo@rambler.ru, fosforia@mail.ru*)

Биогеохимические процессы фосфатонакопления в древних морях

T.V. Litvinova, A.A. Abbyasov
(Geological Institute RAS, Moscow)

Biogeochemical processes of phosphates accumulation in the ancient seas

В пограничных толщах венда-кембрия возникли крупнейшие фосфатоносные бассейны с общими запасами P_2O_5 порядка 14200,4 млн.т. Они относятся к пластовому микрозернистому типу фосфоритов, который повторился в истории Земли только однажды, в пермское время, и только в одном бассейне – в Фосфории, с запасами P_2O_5 3500млн т. [1]. Фосфориты этого типа приурочены к кремнисто-доломитовой формации, характеризуются ассоциацией с ванадиеносными углеродисто-кремнистыми сланцами, а также повышенным содержанием P_2O_5 во всех вмещающих породах, Пластовые фосфориты сложены мельчайшими фосфатными частицами биогенного происхождения [2, 3] – пеллетами (микрозернами), включенными в карбонатный либо в кремневый цемент. Палеобассейны, в которых формировались пластовые фосфориты, характеризуются близкими условиями накопления и однотипной цикличностью разрезов. Они возникали в условиях жаркого, засушливого климата в неглубоких проливообразных бассейнах с островами и отмелями и связаны с трансгрессивно – регрессивными отложениями. В разрезах венда фосфоритам предшествуют вулканогенно-осадочные породы, аркозовые песчаники и тиллитоподобные отложения. Перекрываются они обычно

мощными толщами карбонатных пород кембрия-ордовика. Часто в подошве фосфоритов находятся горизонт так называемых «нижних» доломитов и кремневые породы, и в тех и в других выявлены строматолитовые постройки [4, 5], а венчаются они в основном железо-марганцевыми доломитами. Обычно в разрезах выделяются от двух до четырех фосфатных горизонтов, разделенных глинистыми сланцами.

Сходство условий образования пластовых фосфоритов привело исследователей к предположению, что именно совокупность геологических особенностей осадконакопления явилась одной из определяющих причин их возникновения [6]. В таком случае, данные по химическому и минеральному составу серий осадочных пород, в которых формировались пластовые фосфориты, для всех объектов должны совпадать, или, по-крайней мере, быть достаточно близкими. Конечно, такое сопоставление возможно лишь при расчете по единой методике, что и было осуществлено нами с помощью компьютерной программы MINLITH [7], которая позволяет вычислять минеральный состав осадочных пород по их валовым химическим анализам с высокой степенью приближения к реальному и устанавливать независимые критерии для его сопоставления в фосфоритах разных бассейнов. В работе использовались только те опубликованные данные по крупнейшим фосфатоносным провинциям мира, которые содержат полную химическую расшифровку состава фосфоритов. Они включают более 120 анализов по следующим бассейнам: Хубсугул, Малый Каратау, Янцзы, Удско-Шантарский район, Джорджина, а также по пермским фосфоритам Фосфории. В результате обработки и пересчета данных по фосфоритам был выявлен следующий минеральный состав: SiO_2 (включены все разновидности кремнезема), полевые шпаты, глинистые минералы, карбонатные минералы, апатит (фторкарбонатапатит) и некоторые другие.

Основные минеральные составляющие фосфоритов по каждому из вышеперечисленных бассейнов (рис.1) можно разделить на три условные группы. и Малокаратауского бассейнов характеризуются значительной карбонатностью и магнезиальностью. Ко второй группе, в которой доминируют иные компоненты (кремнезем, полевые шпаты, глины), относятся фосфориты Джорджины и Удско-Шантарского района. Фосфориты Фосфории и Янцзы были включены нами в третью группу, так как в координатах карбонатные – терригенные компоненты они занимают промежуточное положение.

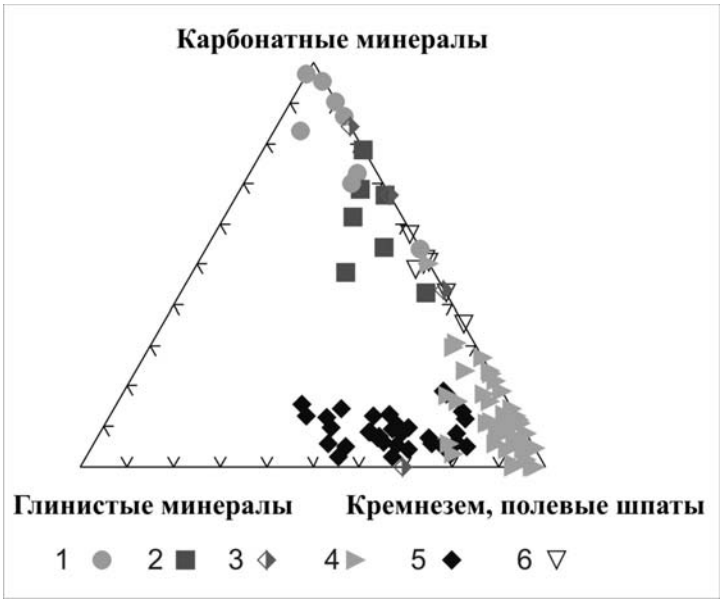


Рис. 1. Диаграмма соотношения минеральных фаз в фосфоритах различных провинций: 1 –Хубсугул; 2 – М. Каратау; 3 – Янцзы; 4 – Удско – Шантарский район; 5 – Джорджина; 6 –Фосфория.

Сопоставление данных по количественному составу доломит–апатит показывает, что и в этих координатах мы имеем те же три группы, каждая из которых хорошо выражена на графике (рис.2). Разброс в процентном содержании данных по количеству фторкарбонатапатита для каждого из бассейнов незначителен, причем точки его максимальных величин находятся в ограниченных пределах, однако по количеству доломита-анкерита наблюдаются значительные расхождения (рис.3). Следует отметить, что и внутри каждой из этих условных групп выделяются существенные различия. Так, отложения Хубсугульской фосфатоносной провинции более всего соответствуют обстановкам полузамкнутого гиперсоленого магнезиально-карбонатного бассейна, тогда как одновозрастные им фосфориты Каратау характеризуются как осадки бассейна открытого типа со значительным привносом терригенного материала. Удско-Шантарские фосфориты отличаются высокой кремневой составляющей, а фосфориты Джорджины характеризуются наибольшим количеством глинистых минералов.

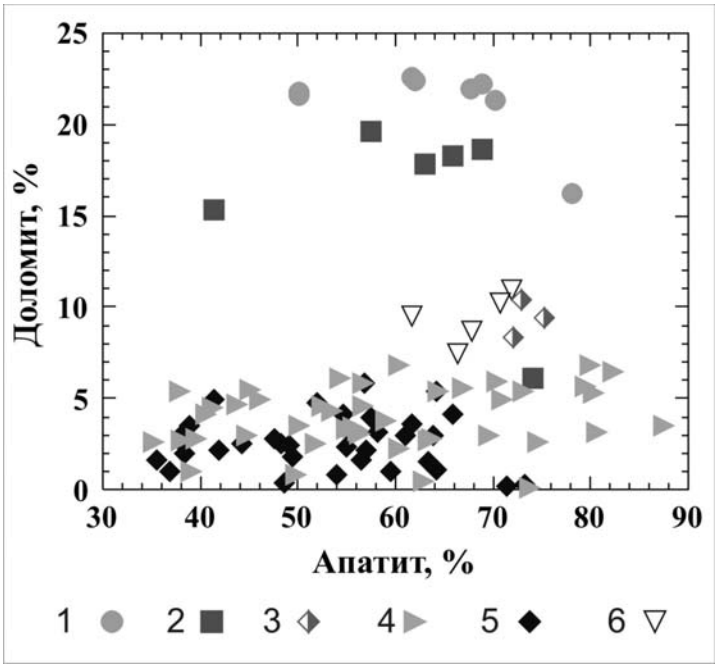


Рис. 2. Диаграмма соотношения доломита-апатита для фосфоритов различных провинций: 1 –Хубсугул; 2 – М. Каратау; 3 – Янцзы; 4 – Удско – Шантарский район; 5 – Джорджина; 6 –Фосфория.

Формирование каждого из фосфатных бассейнов происходило в различных палеогеографических обстановках, определявшихся конфигурацией водоема и его рельефом, а также составом областей питания. Известно, что среднее содержание P_2O_5 в рассмотренных нами палеобассейнах существенно не отличается. Такие принципиальные различия минерального состава в однотипных фосфоритах указывают на то, что условия осадконакопления играли, несомненно, важную, но не основную роль в их возникновении. Схожесть геологического строения фосфатных провинций является результатом общего режима осадконакопления, характерного для этого времени, а не отличительной чертой фосфатогенеза. Очевидно, на рубеже венда-кембрия поступало огромное количество фосфора [8], заполнившего практически все доступные для него водоемы. В такой ситуации для его осаждения не требовались какие-либо особенные, исключительные условия: скорее наоборот, он просто не имел возможности не выпадать в осадок. Это подтверждается и многочисленными фосфатопроявлениями, известными в вендско-кембрийских отложениях, и общей «зараженностью» фосфором осадочных пород этого времени. Дальнейшая реализация процессов

фосфатонакопления осуществлялась с использованием механизма геохимического круговорота вещества.

Полученные результаты соответствует гипотезе кембрийского «взрыва», согласно которой причиной перестройки осадконакопления являлись резкие изменения атмосферы и солевого состава морской воды, которые произошли в результате космических событий. Это привело к распаду Родинии и таянию ледников, а также колебанию содержания свободного кислорода в атмосфере и изменению в осадках изотопных составов углерода, серы и стронция [9]. Как известно, этапы великих вымираний и обновлений биосферы планеты отразились в построении стратиграфической шкалы и приурочены к границам эр и периодов. Наиболее крупное из таких событий и возникло в венде-кембрии, когда практически исчезла эдиакарская биота и появилась первая скелетная фауна. Возникновение вендско-кембрийской эпохи фосфатонакопления с близкими по геологическому строению бассейнами, но индивидуальной геохимическо-минералогической характеристикой указывает на практически одновременное поступления на Землю огромного количества фосфора, заполнившего все водоемы и явившегося одной из причин бурного развития жизни. В этот же отрезок времени произошли резкие изменения атмосферы и солевого состава морской воды, вызванные распадом Родинии, таянием ледникового покрова и другими событиями такого же масштаба. Значительное повышение концентрации фосфора в водоемах и привело к бурному развитию жизни и возникновению многочисленных фосфатных бассейнов. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 07-05-00329.

1. Соколов А.С., Еганов Э.А., Краснов А.А. Школьник Э.Л. // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. С.569-583.
2. Холодов В.Н., Пауль Р.К. // Литология и полезн. ископаемые. 1999. N5. С. 503-517.
3. Литвинова Т.В. //Литология и полезн. ископаемые. 2007. №4 С. 426-443.
4. Еганов Э.А. Фосфоритообразование и строматолиты. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1988. 89с.
5. Литвинова Т.В. // Литология и полезн. ископаемые. 1990. N2. С.88-96.
6. Школьник Э.Г. Факторы морского фосфатогенеза и оценка перспектив фосфатоносности Дальнего Востока СССР. Автореф. дис. д-ра геол.-мин. наук. Новосибирск, 1989. 35 с.
7. Rosen O.M., Abbyasov A.A. //Computers and Geosciences, 2004, Vol 30, No. 6, pp 647-661.
8. Баренбаум А.А., Литвинова Т.В. // Доклады АН. 2002. Т.385. №2. С.220-222.
9. Хаин В.Е.. Основные проблемы геологии. М.: Наука. 2003. 347 с.

By means of the MINLITH computer program, systematization of the geochemical data was carried out on the phosphatic basins, originated in the Vendian-Cambrian. Much difference in the distribution of rock-forming minerals has been revealed, while the P_2O_5 percentage remained the same. Processes of phosphate accumulation in ancient seas are considered.

А.В. Ломакина, Т.И. Земская, О.Н. Павлова, О.В. Шубенкова, А.Г. Горшков
(Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, e-mail: annaL_07@mail.ru)

Исследование углеводородокисляющих микроорганизмов и их способность деградировать нефть и ее производные в районах естественных выходов нефти на озере Байкал

A.V. Lomakina, T.I. Zemskaya, O.N. Pavlova, O.V. Shubenkova, A.G. Gorshkov
(Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia)

Hydrocarbon oxidizing microorganisms and their ability to degrade oil and its derivatives at natural oil seepage sites on Lake Baikal

На оз. Байкал районы естественных выходов нефти известны с XVIII века. В. Д. Рязановым в 1902-1903 гг. были отмечены многочисленные выходы газа и признаки нефти в виде восстановленных пленок на воде, озокерита и битумов вдоль юго-восточного побережья [1]. В ходе геолого-поисковых работ 1931-1962 гг. были изучены природные выходы нефти расположенные у устья р. Большая и Малая Зеленовская. К настоящему времени накоплены достаточно обширные данные о ее составе, возрасте и происхождении [2, 3, 4].

В 2005 г. было обнаружено новое нефтепроявление в Среднем Байкале (м. Горевой Утес), где из донных осадков в водную толщу поступает до 4 т. нефти в год. Исследования в 2005-2008гг. показали, что размер пятна, где фиксируются углеводороды, не увеличивается [4, 5].

Установлено, что нефть из района устья р. Большая Зеленовская представлена смесью углеводородов, подвергшихся глубокой деструкции. Нефть, отобранная в районе у м. Горевой Утес, представляет смесь n-алканов, идентифицированных как гомологи с длиной цепи от C_{11} до C_{33}, что характерно для «сырой» и не биодеградированной нефти [5].

Исследования по распределению численности УВОМ водной толщи и донных осадков проводятся в районе устья р. Большая Зеленовская с 2004 г. и в районе м. Горевой Утес с 2005 г. В этих районах отмечена высокая численность аэробных углеводородокисляющих микроорганизмов (УВОМ)

[6]. Наибольшее количество УВОМ во все годы исследования отмечено в поверхностных пробах воды и поверхностных слоях донных осадков в зоне нефтяных пятен. Их количество в водной толщи района устья р. Большая Зеленовская составило 2600 кл/мл в 2004 г., с заметным снижением на порядок в 2005 – 2006 гг. и незначительным повышением в 2007 г. Наибольшая численность УВОМ в донных осадках этого района равнялась 47 х 10^3 кл/г в 2004 г., 63 х 10^2 кл/г в 2005 г. Количество УВОМ в водной толще в районе м. Горевой Утес достигло 506 кл/мл в 2005 г., 1263 – 4228 кл/мл в 2006 г. и 2007 г., соответственно, численность УВОМ в поверхностных слоях воды варьировалась от 533 до 1671 кл/мл в 2008 г. Аналогичное распределение УВОМ отмечено для донных осадков этого района. Наибольшая численность УВОМ в поверхностных слоях осадка составила 443 х 10^2 кл/г в 2005 г., в 2007 г. – 600 х 10^2 кл/г.

В 2008 г. исследована численность и распределение микроорганизмов, анаэробно окисляющих нефть в донных осадках района м. Горевой Утес. Установлено, что их численность на два порядка ниже численности аэробных УВОМ в донных осадках и составляет 168 кл/г.

В этих же районах было исследовано разнообразие культивируемых аэробных микроорганизмов и суммарного микробного сообщества. Филогенетическая структура суммарного микробного сообщества по данным анализа гена 16S рРНК включает представителей α-, β-, γ-, δ-протеобактерий, *Actinobacteria, Bacteroidetes (Porphyromonadaceae), Verrucomicrobia*, *Chloroflexus*, *Gemmatimonadete*, *Planctomycetes*, *Acidobacteria*, *Nitrospirales*, *Firmicutes (Bacillales).* Культивируемая его часть, способная использовать нефть и ее производные в качестве единственного источника углерода представлена меньшим разнообразием, чем суммарное микробное сообщество и имеет наибольший процент гомологии с представителями α-, β-, γ-протеобактерий, *Actinobacteria, Firmicutes* [7].

У культивируемых аэробных микроорганизмов, выделенных из двух районов нефтепроявлений на оз. Байкал было установлено наличие функциональных генов (*alk*), ответственных за синтез ферментов алкангидроксилаз, обеспечивающих окисление n-алканов сырой нефти. Для обнаружения *alk*-генов использовано 3 группы праймеров. У 76% культур УВОМ, выделенных из двух районов нефтепроявлений обнаружены *alk* гены III группы, ответственные за утилизацию широкого спектра n-алканов. Это представители родов *Acidovorax*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Brevibacillus*, *Curtobacterium*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Micromonospora*, *Methylobacterium*, *Mycobacterium*, *Novosphingobium*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Sphingomonas*. *Alk*-гены I группы, которые согласно Sei с соавторами (2003) имеются у микроорганизмов, деградирующих короткоцепочечные алканы (C_6–C_{12}) были детектированы у 12% культур УВОМ. В эту группу входят представители родов *Bosea*,

Paenibacillus, *Micrococcus*. *Alk*-гены II группы, разрушающие алканы с длиной цепи C_{12}–C_{20} были обнаружены у 14% бактерии. Гены II группы были выявлены у представителей рода *Acinetobacter*. Двенадцать исследуемых штаммов одновременно имели положительную ПЦР-реакцию с праймерами на две группы *alk* генов.

12% исследованных штаммов показали отрицательную ПЦР-реакцию с праймерами на все три группы *alkB* генов. Это представители родов *Micromonospora, Mycobacterium, Pseudomonas, Brevibacillus.*

Были проведены лабораторные эксперименты с природным микробным сообществом, в которых установлено, что нефть через 35-60 суток деградируется на 70-90%. На фоновой станции конверсия n-алканов не превышала 35%, и зависели от количества добавленной нефти. В эксперименте с чистыми культурами родов *Pseudomonas, Mycobacterium, Bosea* отмечена разная динамика потребления n-алканов. Установлено, что штамм *Pseudomonas* sp. (№5) уже на 5 сутки деградировал n-алканы на 26%. За 36 суток эксперимента в присутствии данного штамма было разрушено 35% n-алканов нефти. В присутствии других штаммов содержание в n-алканов в среде уменьшилось от 10 до 20%.

Таким образом, как показали наши исследования районов естественных нефтепроявлений, в водной толщи и донных осадках обитает динамическое микробное сообщество, которое обеспечивает самоочищение вод оз. Байкал от нефтяного загрязнения. В лабораторных экспериментах показано, что природное микробное сообщество более активно разрушает нефть, по сравнению с чистыми культурами УВОМ.

Работа поддержана интеграционным проектом СО РАН 27, Программой Президиума РАН 17.9 и грантом РФФИ 08-05-00709-а.

1. Рязанов В.Д. Месторождения озокерита и нефти в Прибайкалье // Матер. по геол. и полезным ископаемым Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та. 1928. №19. С24-32.
2. Каширцев В.А., Конторович А.Э., Филп Р.П. и др. Биомаркеры в нефтях восточных районов Сибирской платформы как индикаторы условий формирования нефтепроизводивших отложений // Геология и геофизика. 1999. Т.40. №11. С. 1700-1710.
3. Исаев В.П., Примина С.П., Ширибон А.А. Проблема нефтегазоносности озера Байкал и Усть-Селенгинской впадины // Матер. науч.-практ. совещ. Улан-Уде: Изд-во БНЦ СО РАН, 2003. С. 43-48.
4. Конторович А.Э., Каширцев В.А., Москвин В.И. и др. Нефтегазоносность отложений озера Байкал // Геология и геофизика. 2007. Т.48. №12. С.1346-1356.
5. Хлыстов О.М., Горшков А.Г., Егоров А.В. и др. Нефть в озере мирового наследия //Докл. академии наук. 2007. Т.414. №5. С656-659.
6. Павлова О.Н., Земская Т.И., Горшков А.Г. и др. Сравнительная

характеристика микробных сообществ двух районов естественных нефтепроявлений озера Байкал // Изв. РАН. Сер. биол. 2008. №3. С1-8.
7. Ломакина А.В., Павлова О.Н., Шубенкова О.В., Земская Т.И. Разнообразие культивируемых аэробных микроорганизмов в районах естественных выходов нефти на озере Байкал // Изв. РАН. Сер. биол. 2009. №5. С515-523.

Natural oil seepage sites in Lake Baikal have been known since the 18th century. At present, a lot of data on its composition, age and origin have been collected. In 2005, a new oil seepage was observed in Central Baikal. Annually about 4 tons of oil is discharged to the water column from bottom sediments. Studies carried out in 2005-2008 showed that the size of oil patch where hydrocarbons are fixed has not been enlarged.

А.И. Малов, А.П. Титенко
(Институт экологических проблем Севера РАН, Архангельск, e-mail: malovai@yandex.ru)

Йодные воды морских отложений Северо-Двинской впадины

A.I.Malov, A.P.Titenko
(Institute of Ecological Problems in the North, Russian Academy of Sciences, Arkhangel'sk, e-mail: malovai@yandex.ru)

Iodic waters of marine sediments of the Northern Dvina Basin

Подземные воды с промышленными содержаниями йода на территории Северо-Двинской впадины известны с конца XIX века, однако Северодвинское месторождение промышленных йодных вод было разведано только в конце XX. Оно располагается на правобережье р. Северная Двина, тяготея к юго-восточному окончанию Северо-Двинской впадины. Контур месторождения проведён по изогипсе с содержанием йода более 25 мг/дм^3 (Рис. 1).

Рассмотрим особенности формирования йодных вод, характерные для Северо-Двинской впадины.

Мощная толща микулинских глин в Северо-Двинской впадине накапливалась в бореальном морском бассейне по различным оценкам в интервале 120 - 50 тысяч лет назад. Первоначально это были илы с пористостью порядка 60 - 80%, содержащие большое количество (в настоящее время до 10%) органических остатков йодсодержащих водорослей и планктона. Концентрация йода в последних достигает очень высоких для этого элемента величин: 10^{-2} % - 10^{-3} % и даже до 10^{-1} %, хотя в исходном источнике йода - морской воде – его содержания составляют всего лишь 0.06 мг/л ($6 \cdot 10^{-6}$ %).

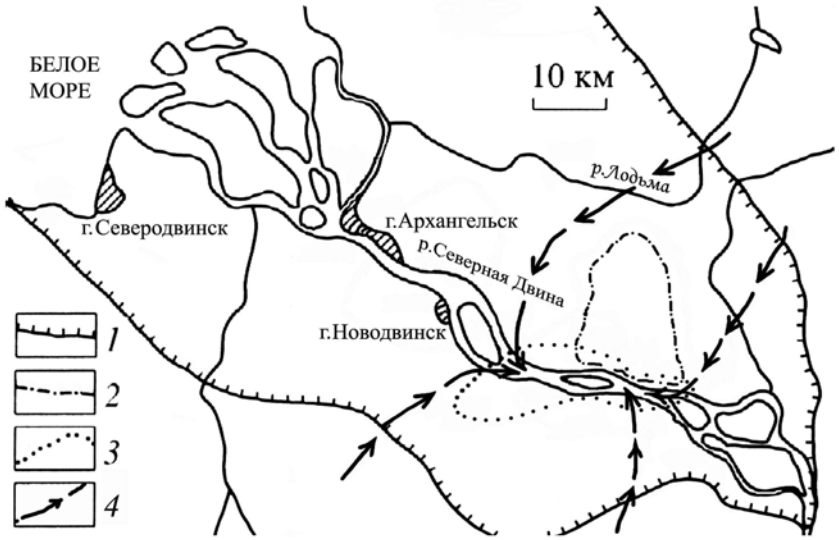


Рис. 1. Карта-схема условий формирования йодных и альфа-активных подземных вод. 1 – граница развития толщи микулинских глин Северо-Двинской впадины; 2 – граница Северодвинского месторождения промышленных йодных вод; 3 - контур области повышенных активностей урана > 0.7 Бк/дм^3; 4 – направление движения подземных вод в песчаниках падунской свиты венда к зоне разгрузки (см. рис. 2).

Среднее содержание органики в глинах микулинского межледниковья составляет 8.9%; пористость глин – 39%; плотность – 2.04 г/см^3. То есть при полном переходе йода в поровый раствор его расчетная концентрация составит $8.9 \cdot 2.04 : 39 \cdot (10^{-5} \div 10^{-4}) \cdot 10^6 = 4.7 \div 47$ (мг/л), что соответствует наблюдаемой в настоящее время.

Учитывая, что в минеральном составе микулинских глин преобладают гидрослюды и кварц с небольшой примесью монтмориллонита, можно полагать основную роль органики в концентрировании йода из морской воды.

Расположение месторождения промышленных йодных вод в краевой части Северо-Двинской впадины связано видимо с более интенсивным развитием здесь морских водорослей. Так в настоящее время Laminaria saccharina образует обширные заросли в сублиторальной зоне до глубины 8 - 10 м на Белом море и до 15 - 25 м на Баренцевом море, в прибойных местах поднимается в нижний горизонт литорали.

Об этом свидетельствует и изменение гранулометрического состава микулинских глин по площади Северодвинского месторождения йодных

вод: наблюдается увеличение содержания песчаной фракции с запада на восток, то есть в направлении к береговой зоне микулинского моря.

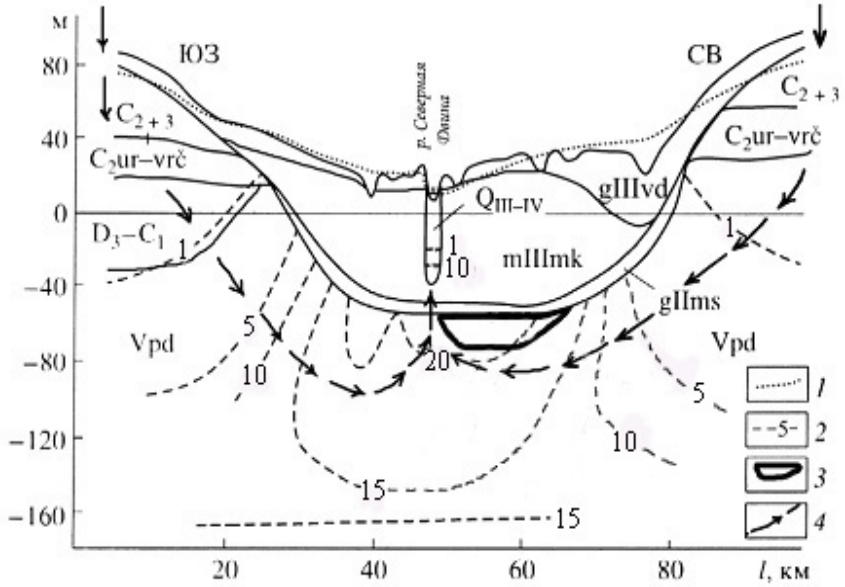


Рис. 2. Схематический гидрогеологический разрез через Северо-Двинскую впадину. 1 - пьезометрический уровень в водоносном комплексе песчаников падунской свиты венда; 2 - изолинии минерализации подземных вод; 3 - граница Северодвинского месторождения промышленных йодных вод с содержанием йода > 25 мг/дм^3; 4 – направление движения подземных вод к зоне разгрузки, приуроченной к гидрогеологическому «окну» в микулинских глинах под долиной р. Северной Двины. Обозначения гидрогеологических подразделений: Q_{III-IV} – водоносный комплекс современных-верхнечетвертичных песчано-глинистых отложений долины р. Северной Двины; gIIIvd – водоупорные суглинки валдайской морены; mIIImk – водоупорные глины микулинского моря; gIIms – водоупорные суглинки московской морены; C_{2+3} – водоносный комплекс карбонатных отложений верхнего-среднего карбона; C_2ur-vrč – водоносный комплекс песчаников урзугской и воереченской свит среднего карбона; Vpd – водоносный комплекс песчаников падунской свиты венда.

Последующий переход йода в растворенное состояние и накопление его в поровых растворах осуществлялся в результате процессов деструкции йодсодержащего органического вещества и десорбции йода с поверхности твердой фазы.

Эти процессы изучались в основном на платформенных месторождениях, залегающих на больших глубинах (Азово-Кубанский артезианский

бассейн, Западная Туркмения). Для них ведущим фактором в высвобождении йода из пород признан высокотемпературный (100 – 150°C), способствующий растворению в присутствии органических веществ йода с последующим образованием йодоорганических и комплексных соединений в поровых растворах и выжиманию последних из горных пород под влиянием значительных (до 25 МПа) геостатических давлений.

В условиях Северо-Двинской впадины, где толща йодсодержащих пород залегает выше абсолютной отметки –60 м (рис. 2), такой механизм явно не имел места.

Для данного района ведущим фактором высвобождения йода являются процессы сульфатредукции, протекавшие в «холодных» условиях. Эти процессы изучались нами в подземных водах водоносного комплекса долины устьевой части р. Северной Двины. Водовмещающими породами здесь являются песчано-глинистые отложения современных-верхнечетвертичных морских трансгрессий (рис.2).

Установлено, что на участке от Двинского залива до 38 км от него вверх по долине реки подземные воды имеют минерализацию в нижней части долины 20 - 21 г/л, что соответствует минерализации воды в Двинском заливе. Обычное для морской воды соотношение катионов при этом сохраняется: Na77Mg18Ca3K2, а анионный состав отличается от состава морской воды: Cl93$HCO_3$7$SO_4$0, в то время, как у морской воды он: Cl91$SO_4$9 $HCO_3$0.

Такое изменение анионного состава морской воды характерно при восстановлении сульфатов по реакциям:

$SO_4^{2-} + 2C_{орг} + 2H_2O \rightarrow 2HCO_3^- + H_2S$,

$SO_4^{2-} + 2H^+ + 2C_{орг} \rightarrow H_2S + 2CO_2$,

которые могут реализовываться в результате химического взаимодействия воды с органическим веществом отложений речной долины. Восстановительной обстановке способствует относительная застойность грунтовых вод на 38-километровом участке речной долины вблизи Двинского залива. Она вызвана повышенной глинистостью отложений на этом участке: преимущественно морского поздневалдайского и современного происхождения - по сравнению с более песчаными прадельтовыми поздневалдайскими отложениями, развитыми выше по речной долине, - и очень малым уклоном грунтового потока в сторону моря: $6 \cdot 10^{-6}$ (практическое отсутствие движения грунтовых вод в сторону моря).

В результате концентрация сульфат-иона падает от 2.1 г/л в морской воде до аналитического нуля, концентрация гидрокарбонат-иона возрастает от 0.1 г/л до 1.1 - 1.3 г/л; в воде появляется до 6.8 мг/л йода.

Микулинское море существовало значительно дольше (порядка 70 тысяч лет), чем моря поздневалдайского и современного возрастов (порядка 10 тысяч лет). Его отложения являются намного более глинистыми. Это способствовало более существенному накоплению и сохранению

йодсодержащей органики. Ее разложение с высвобождением йода шло в основном в анаэробных условиях. Помимо сульфатредукции имели место также процессы восстановления железа из его оксидов:

$4Fe(OH)_3 + 7CO_2 + Copг \rightarrow 4Fe^{2+} + 8HCO_3^- + 2H_2O$.

Кроме того, за 50 тысяч лет с момента отступления бореального моря его отложения существенно уплотнились. Уплотнение произошло как под воздействием собственного веса отложений, так и под воздействием веса перекрывавшего их 50 - 10 тысяч лет назад валдайского ледника. Данные по физико-механическим свойствам микулинских глин характеризуют их как очень плотные по сложению и обладающие высокой прочностью и свидетельствуют о значительном и равномерном обжатии всей толщи межледниковых глинистых отложений в ледниковый период. В это время соленые морские воды, существенно обогащенные йодом и несколько изменившие свой ионный состав, отжимались из глин в нижележащие терригенные отложения вендского возраста и смешивались с содержащимися там подземными водами, образовав Северодвинское месторождение йодных вод (рис. 1, 2). В обычных условиях, характерных для осадков морей поздневалдайского и современного возрастов, отжим поровых растворов в процессе уплотнения, как правило направлен вверх, в результате чего они теряются.

После образования глубоко врезанной эрозионной долины р. Северной Двины (10000 лет назад) соленые воды перетекают из водоносного комплекса терригенных отложений падунской свиты венда в водоносный комплекс песчано-глинистых четвертичных отложений долины р. Северной Двины, что приводит к медленному разрушению Северодвинского месторождения йодных вод. Переток осуществляется в основном в узкой зоне, приуроченной к тальвегу речной долины. Он хорошо картируется контуром области повышенных активностей урана > 0.7 Бк/дм^3 (рис.1).

The Severodvinsk deposit of industrial iodic waters was formed at the expense of accumulation in sea deposits of the seaweed containing the big concentration of iodine, their decomposition in the conditions of absence of oxygen and the subsequent expression of water solutions in underlaying sandy adjournment.

И.П. Моргунова, В.И. Петрова, Т.В. Степанова, Г.А. Черкашёв
(ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: petrovavi@mail.ru)

Особенности формирования фона рассеянного органического вещества донных отложений гидротермального поля «Ашадзе» (САХ, 13°с.ш.)

I.P. Morgunova, V.I. Petrova, T.V. Stepanova, G.A. Cherkashev
(VNIIOkeangeologiya, St.Petersburg)

Features of OM background formation in bottom sediments of the hydrothermal field "Ashadze" (MAR, 13°N)

Изучение состава и особенностей распределения рассеянного органического вещества (РОВ) донных осадков глубоководных океанических бассейнов, сопряжённых с зонами гидротермального рудообразования, не только вносит существенный вклад в понимание геолого-геохимических процессов характерных для абиссальных циркуляционных систем, но позволяет также выявить основные источники поступления и механизмы трансформации органического вещества в аномальных условиях гидротермальной активности. Общепризнано, что глубоководные океанические гидротермальные системы обладают достаточно высоким питательным и энергетическим потенциалом для формирования и долговременной поддержки существования большого числа биологических сообществ. В связи с этим формирование органо-геохимического фона таких акваторий является многофакторным процессом, включающим в себя как абиогенною (термокаталитический синтез простых низкомолекулярных соединений), так и биогенную (биогенное органическое вещество (ОВ) и продукты его диагенетической трансформации) составляющие [1,2].

Гидротермальное поле Ашадзе было открыто в 2003 году в результате работ ПМГРЭ совместно с ВНИИОкеангеология в 22 рейсе НИС «Профессор Логачев» [3]. Поле расположено на западном борту рифтовой долины в районе 13°с.ш. САХ и состоит из двух крупных участков – Ашадзе-1 и Ашадзе-2.

На участке Ашадзе-1 подтверждена активная гидротермальная деятельность и найдено несколько (не менее пяти) скоплений активных гидротермальных построек. На участке Ашадзе-2 зафиксирована активная гидротермальная деятельность в пределах обнаруженной кратерообразной структуры [4].

В данной работе были проанализированы осадки, отобранные на 6 станциях (29 образцов) в рейсе № 22 НИС «Проф. Логачёв» непосредственно с гидротермального поля «Ашадзе-1» и его фоновых участков, и три образца, отобранных в ходе 30 рейса того же судна с

гидротермального поля «Ашадзе-2». С момента пробоотбора до лабораторных исследований осадки хранились в стерильной таре при температуре -18°С.

Аналитическая процедура включала в себя определение элементного состава (Сорг, Скарб, Nорг) отложений, а также группового и молекулярного состава растворимой части РОВ методами препаративной жидкостной хроматографии и ГХ-МС на установке Hewlett Packard 6850/5973.

Отложения, отобранные вне зон гидротермальной активности, относятся к карбонатным (Скарб = 6÷10%) и характеризуются параметрами, типичными для биогенных осадков пелагических областей: при максимальной вскрытой мощности осадочного чехла 3,2 м содержание органического углерода во всех пробах неравномерно убывает с глубиной и принимает значения от 0,3 до 1,0 % в осадке, при этом соотношение Сорг/N, напротив, растёт, что может свидетельствовать о увеличении влияния аноксии окружающей среды на селективную деградацию ОВ [5]; в целом, ОВ фоновых станций характеризуется низкой битуминозностью (β=0,2÷0,7), отсутствием гуминовых кислот и высокой полимеризованностью (содержание остаточного органического вещества (ООВ) в среднем 99,5%).

В групповом составе ОВ преобладает алифатическая составляющая, но для удалённых друг от друга станций распределение н-алканов разнится в зависимости от источников поступления ОВ в разные периоды геологического времени и степени его преобразованности. Так, для верхних горизонтов фоновых отложений восточного региона характерен смешанный тип распределения н-алканов с максимальным содержанием высокомолекулярных компонентов н-С > 23 и высоким индексом нечётности (OEP_{27-31} = 2÷4), что характеризует гумусовый состав ОВ. Данное наблюдение согласуется с диспропорционированием в ходе седиментогенеза исходного состава ОВ взвеси в результате избирательной утраты им гидробионтной составляющей.

Распределение терпеноидов, среди которых преобладают тритерпаны (C_{21} ÷ C_{28}) и αβ-геогопаны, указывает на поставку в осадок аквагенного ОВ ((C_{23})хейлантан/(C_{30})αβ-гопан > 1), а отсутствие гопенов и ββ-биогопанов подтверждается показателями высокой степени зрелости вещества (22S/22S+22R ~ 0,6). Распределение стерановых биомаркеров имеет аналогичную тенденцию к преобладанию геологических форм (αββ) над незрелыми биогенными (ααα), при равных содержаниях гидробионтной и терригенной составляющих. Отмечается наличие диагенетических продуктов - диастеранов, а также устойчивых эпимеров прегнана и гомопрегнана (m/z 218).

Содержание полиароматических углеводородов (ПАУ), в целом, превышает фон для абиссальных районов (ΣПАУ < 60 нг/г) [6] и в некоторых горизонтах достигает 100 нг/г, при этом основная масса

приходится на фенантрен и его метилгомологи, индекс преобразованности которых соответствует высокой степени зрелости ОВ (MPI1 = 0,6 ÷ 0,9).

Для поверхностных осадков одной из фоновых станций западного региона при явном преобладании в составе алифатической фракции гумусовой составляющей отмечается повышенная степень преобразованности ОВ (OEP_{27-31} ~ 1, CPI = 1,1 и минимальное значение отношения (C_{23})хейлантан/(C_{30})αβ-гопан = 0,19), а в составе ПАУ - высокие содержания перилена. Это позволяет предположить наличие в верхних слоях осадков процессов термокаталитического созревания ОВ. Предположение может быть подтверждено также результатами гидрофизического опробования воды к северо-востоку и к югу от анализируемой точки, в ходе которых по разрезу наблюдались типичные гидротермальные аномалии.

Донные отложения гидротермальных зон представлены, в основном, низко-карбонатными илами (в т.ч. металлоносными осадками) с содержанием Скарб = 0,01÷5,0 % и по своим характеристикам кардинально отличаются от фоновых: при достаточно низких содержаниях органического углерода (Сорг=0,1÷0,6%) количество углеводородов на порядок превышает фоновые величины. Следует отметить некоторые различия, как в групповом составе ОВ полей, так и в степени его полимеризации: содержание ООВ варьирует от 80 % (Ашадзе-1) до 99 % (Ашадзе-2). Сравнительно низкие величины отношения Сорг/N позволяют говорить о существенном влиянии азотсодержащего ОВ морской биомассы на органо-геохимический фон.

Распределения н-алканов гидротермально-активных областей более специфичны и, по сравнению с фоновыми образцами, представляют собой гораздо более несогласованную картину. Алифатическая фракция поверхностных осадков представлена преимущественно низкомолекулярными соединениями (C_n < 25) изопреноидного ряда (Ашадзе-1) и короткоцепочечными н-алканами планктоно-водорослевого типа (Ашадзе-2). Доминирующим соединением для обоих полей является фитан, содержание которого составляет более 20 % от суммы н-алканов, что может быть обусловлено интенсивным поступлением в осадки нативного, по-видимому, бактериального ОВ. Общей особенностью масс-спектров фракций алифатических УВ двух полей является наличие трёх интенсивных пиков (m/z 71) в высокомолекулярной области (н-C_{37} ÷ н-C_{41}), что позволяет сделать вывод об их генетическом сходстве, так или иначе связанным со спецификой гидротермальных условий среды. Происхождение и структура этих соединений требует дальнейшего анализа.

Характер распределения циклановых УВ в поверхностных осадках поля Ашадзе-1 подтверждает существование источника свежего биогенного материала и низкую степень преобразованности вещества: Ts/Tm=0,23, наличие гопенов и ββ-биогопанов, низкие соотношения стереоизомеров

гомогопанов C_{31} и C_{32} (22S/22S+22R ~ 0,3), содержание стеранов на порядок превышает фоновое (67,4 мкг/г).

Осадки поля Ашадзе-2 обладают нетривиальными стерано- и гопанограммами, что связано, скорее всего, с высокой степенью преобразованности биогенного вещества и наличием его специфических источников. Суммарные содержания стеранов на 2 порядка выше фоновых (130 ÷ 180 мкг/г), при этом генетически они представлены ααα-стеранами или гидробионтного (C_{27}), или терригенного (водорослевого) происхождения (C_{29}).

В пределах гидротермального поля Ашадзе-1 в составе ПАУ доминируют фенантреновые стуктуры и представлена пирогенная составляющая (Σ(Фл+Пир) ~ 10 нг/г). Содержание полиаренов в гидротермальных отложениях поля Ашадзе-2 достигают максимальных значений для изучаемого региона (ΣПАУ = 262 нг/г) в основном за счёт фенантрена и его метилгомологов, и существенно превышают фоновые величины для абиссальных океанских равнин [6]. Аномально-высокие содержания голоядерного фенантрена одновременно с повышенными содержаниями стеранов могут указывать на интенсивные процессы термокаталитического созревания ОВ [1].

Таким образом, в ходе работы были выявлены существенные различия в механизмах формирования органо-геохимического фона донных отложений активных и фоновых зон гидротермального поля «Ашадзе». РОВ фоновых отложений в большинстве случаев смешанного гидробионтно-гумусового типа характеризуется типичными диагенетическими процессами трансформации. При этом в поверхностных осадках, близких к районам гидрофизических аномалий, наблюдаются изменения в сторону ускоренного созревания ОВ. Сопоставление результатов анализа РОВ осадков гидротермальных участков «Ашадзе»-1 и «Ашадзе»-2 позволяют предположить существование сходных источников и механизмов формирования ОВ, обусловленных повышенной биопродуктивностью в этих районах. Локализованные, как правило, непосредственно в местах активности, процессы трансформации биогенного вещества происходят под влиянием целого комплекса физико-химических факторов, основным из которых является температурный.

Авторы выражают благодарность Полярной морской геолого-разведочной экспедиции за предоставление для данной работы материалов, отобранных в 22-м и 30-м рейсах НИС «Профессор Логачёв», финансировавшихся Федеральным агентством по недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

1. Симонейт Б.Р.Т. Сборник научных трудов. Основные направления геохимии. К 100-летию со дня рождения академика А.П. Виноградова. Отв. ред. Э.М. Галимов. М.: Наука. 1995. С. 236-259.

2. Simoneit B.R.T., Lein A.Y., Peresypkin V.I., Osipov G.A. Composition and origin of hydrothermal petroleum and associated lipids in the sulfide deposits of the Rainbow Field (Mid-Atlantic Ridge at 36ºN) // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2004. V. 68. № 10. P. 2275-2294.
3. Bel'tenev V., A. Nescheretov, V. Shilov et. al. New discoveries at 12° 58′N, 44º 52′W, MAR: Professor Logatchev-22 cruise, initial results // InterRidge News. 2003. V. 12. № 1. P. 13-14.
4. Fouquet Y., G. Cherkashov, J.L. Charlou et. al. Serpentine cruise - ultramafic hosted hydrothermal deposits on the Mid-Atlantic Ridge: First submersible studies on Ashadze 1 and 2, Logatchev 2 and Krasnov vent fields // InterRidge News. 2008. V. 17. P. 15-19.
5. Rullkötter J., Rinna J., Bouloubassi I. et al. Biological marker significance of organic matter origin and transformation in sapropels from the Pisano Plateau, site 964 // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results. 1998. V.160. P. 271-283.
6. Петрова В.И. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в донных осадках Мирового океана. Автореферат дисс. … докт. геолого-минералогических наук: 04.00.10., 04.00.02. СПб., 1999. 30 с.

Features of organic-geochemical background formation in bottom sediments from the hydrothermal field "Ashadze" were investigated. The distribution of organic matter (OM) in sediments outside the hydrothermal influence is mostly of mixed hydrobiotic and humic genesis and can be characterized by typical diagenetic transformation processes. The results of sediments analysis from active hydrothermal zones "Ashadze"-1 and "Ashadze"- 2 allow to propose the existence of similar sources and mechanisms of organic matter formation. This fact can be connected with high bioproductivity and specificity of transformation processes of biogenic OM under the influence of variable chemical and physical hydrothermal conditions.

А.С. Нерода, В.Ф. Мишуков, В.В. Калинчук
(Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, e-mail: andrey_neroda@bk.ru)

Атмосферные аэрозоли региона Японского моря

A.S. Neroda, V.F. Mishukov, V.V. Kalinchuk
(V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institut FEB RAS, Vladivostok)

Atmospheric aerosols at Pan-Japan sea region

В связи с интенсивным развитием промышленности в Китае, Японии, Кореи и России, увеличивается влияние антропогенных загрязнений на атмосферу региона Японского моря.

Климат Японского моря умеренный, муссонный. Летний муссон приносит с собой теплый и влажный воздух Тихого океана, а зимний муссон приносит сухой континентальный воздух, который содержит в себе примеси природных и антропогенных аэрозолей.

Химический состав атмосферных аэрозолей в регионе Японского моря главным образом зависит от атмосферной циркуляции и направления ветров[1].

Атмосферные аэрозоли содержат в себе химические элементы природного происхождения, например: Fe, Mg, Ca; и элементы антропогенного происхождения: Cd, Pb, Ni и другие тяжелые металлы.

Помимо тяжелых металлов (Cd, Pb, Ni и др.) атмосферный аэрозоль может содержать в себе другие опасные соединения, например полициклические ароматические углеводороды (рис.1), которые образуется при низкотемпературном сжигании ископаемых топлив.

Отбор атмосферного аэрозоля проводился на японской установке (фирма Kimoto, модель 121) по методике, апробированной в международной программе SEAREX [2]. Определение элементного состава макроэлементов (Na, Ca, Mg, и др.), микроэлементов (Fe, Cu, Ni, Pb, Cd, Co и др.) на фильтрах аэрозольных проб было проведено методом атомно-абсорбционной спектрофотомерии, а некоторых полициклических углеводородов (рис.1) – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

На рис. 1 представлены концентрации 8 полициклических ароматических углеводородов в городе Владивостоке в летний и зимний периоды. В зимний период средние суммарные концентрации полициклических ароматических углеводородов в среднем в 21 раз превышают концентрации летнего периода. Проведенный корреляционный анализ между концентрациями полициклических ароматических углеводородов и концентрациями атмосферных аэрозолей показал наиболее высокую положительную корреляцию между парой соединений: Fluoranthene (Flu), Pyrene (Pyr) и аэрозолями в летний и зимний периоды.

Среднесуточные концентрации химических элементов во Владивостоке, селе Горнотаежном, городе Каназаве, пригороде Каназавы и пригороде Саппоро в летний период представлены в таблице 1.

В результате факторного анализа суточных проб в летний период было выделено 2 основных фактора. Первый фактор объединил аэрозоль, железо, никель, кобальт, медь, марганец, кадмий и 4 полициклических ароматических углеводорода (Flu, Pyr, BaA, и Chr). Второй фактор объединил в себе кальций, свинец и другую часть полициклических ароматических углеводородов(BbF, BkF, BaP, BgPe, IDP).

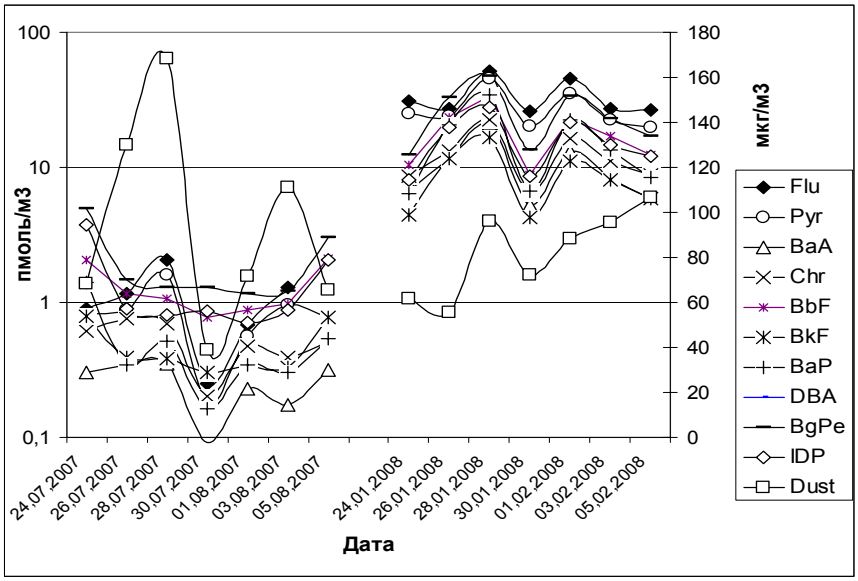


Рис. 1. Концентрации ПАУ в атмосферных аэрозолях (левая ось) и концентрация атмосферных аэрозолей (Dust-правая ось) в городе Владивостоке в летний(2007 г.) и зимний (2008 г.) периоды.

Таблица 1

Элементы, нг/м3						
Пункт отбора проб	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Cd
Город Владивосток	176,4	55,3	48,5	20,8	251,3	4
пригород Саппоро	43,7	5,5	1,3	153,7	65,8	0,1
Город Каназава	54,3	7,1	0,9	29,9	107,6	0,4
пригород Каназава	65	5,9	1,1	63,2	77,2	0,4
село Горнотаежное	46,3	44,4	21,3	7,7	275	1,4

Продолжение Таблица 1

Элементы, нг/м3				
Пункт отбора проб	Fe	Ca	Mg	Mn
Город Владивосток	2719,2	947,9	597,3	67,2
пригород Саппоро	565,6	1023,1	379,4	17,8
Город Каназава	429,6	751,9	299,2	17,4
пригород Каназава	218,2	678,9	232,1	9,9
село Горнотаежное	502,4	490,8	210,1	13,8

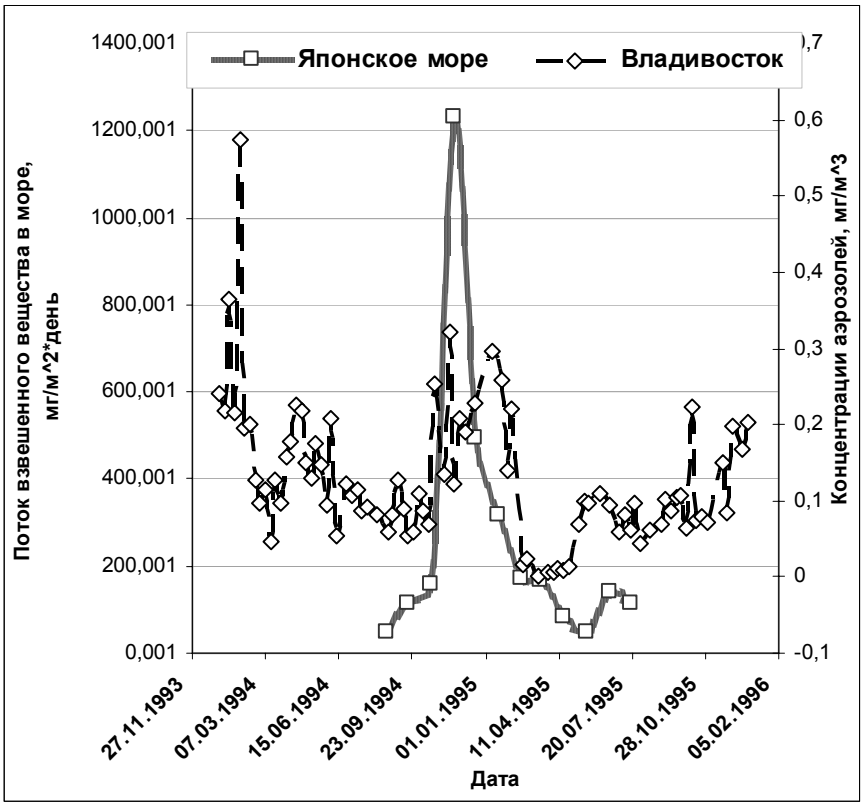


Рис. 2. Концентрации аэрозолей (мг/м^3) в прибрежной зоне города Владивостока и поток взвешенного вещества в Японском море мг/м^2*сутки на глубине 2,8 м.

Связь морских биогеохимических и атмосферных процессов для данных Японского моря, приведена на рис. 2.

Резкое увеличение концентрации аэрозолей в атмосфере города Владивостока в ноябре сопровождается и увеличением оседающего взвешенного вещества в ловушке на глубине 2.8 км, что, на наш взгляд, свидетельствует о каталитическом влиянии атмосферных выпадений на протекание морских биогеохимических процессов и на поступление вещества в глубинные воды. Последующее развитие зимней конвекции, по-видимому, способствует выведению атмосферных частиц из биологически продуктивной зоны поверхностных вод и не сопровождается развитием гидробионтов и, как следствие, образованием биогенных взвешенных частиц.

Выводы

1. Получены концентрации химических элементов и полициклических ароматических углеводородов в атмосферных аэрозолях в летний и зимний периоды.
2. В зимний период средние суммарные концентрации полициклических ароматических углеводородов в 21 раз превышают концентрации летнего периода.
3. В результате факторного анализа, для летнего периода было выделено 2 фактора – природный фактор и антропогенный фактор.
4. Обнаружена взаимосвязь между концентраций атмосферных аэрозолей в городе Владивостоке и потоком взвешенного вещества в Японском море на глубине 2,8 км.

1. Mishukov V.F., Medvedev A.N., Neroda A.S. Sources of chimical elements in the air over Vladivostok. // Pacific oceanography, 2004, vol.2, No2, p.109-116.
2. Uematsu M., Duce R.A., Prospero J.M., Chen L., Merrill J.T., McDonald R.L. Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean. - Journal of Geophysical Research, 1983, vol.88, p.5343-5352.

Some results of study of elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosols in the Japan sea region are given and some correlations between polycyclic aromatic hydrocarbons and chemical elements concentrations are considered. Some interrelations between chemical elements concentrations in the cites of the Pan-Japan sea region were received by using of factor analysis for PAH data.

С. Пахомова[1], Е. Виноградова[1], Г. Штерева[2], А. Костылева[3]
([1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия, s-pakhomova@yandex.ru; vinogradova@ocean.ru; [2]Институт океанологии БАН, Варна, Болгария; g.shtereva@www.io-bas.bg; [3]Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Геленджик, Россия, ventis-ire@yandex.ru)

Изменчивость гидрохимической структуры редокс-слоя Черного моря

S. Pakhomova[1], E. Vinogradova[1], G. Shtereva[2], A. Kostyleva[3]
([1]P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia; [2]Institute of Oceanology, BAN, Varna, Bulgaria; [3]Southern Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia)

Variability of hydrochemical structure of redox layer of the Black Sea

Был проведен сравнительный анализ особенностей гидрохимической структуры редокс-слоя и его пространственно-временной изменчивости в

северо-восточной и юго-западной частях Черного моря. Для этой цели использовались результаты нескольких разрезов в северо-восточной части Черного моря от г. Геленджика, г. Сочи и в восточной части от г. Варна за период с 2003 по 2008 гг. Для сравнения строения редокс-слоя в разных частях Черного моря были выбраны следующие параметры: растворенный кислород, сероводород, аммоний, нитриты, нитраты, силикаты, фосфаты, марганец.

Наличие бескислородного слоя, с концентрацией кислорода и сероводорода ниже пределов обнаружения стандартных методов (≤ 3 μM) является характерной чертой северо-восточной части Черного моря. Основные параметры строения редокс-зоны (горизонты исчезновения кислорода, выклинивания сероводорода, аммония, марганца, положения промежуточного минимума и максимума фосфатов) являются постоянными в поле плотности при удалении от берега в центральную часть моря, хотя изменяются по глубине – к центру происходит поднятие слоя исчезновения кислорода и других параметров. Толщина бескислородного слоя также различается на шельфе и в глубоководной части моря. Наибольшая толщина этого слоя наблюдается в центре моря, уменьшаясь к берегу, временами до полного его исчезновения в прибрежной части, возможно, из-за большего вертикального перемешивания и из-за влияния береговых стоков (Рис.).

Структура редокс-слоя в юго-восточной части Черного моря отличается большей изменчивостью и по положению горизонтов появления/ исчезновения различных параметров, и по их максимальным концентрациям (Табл.). Плотности выклинивания элементов варьируются достаточно широко, как для глубоководной части моря, так и для шельфа и выходят за рамки значений для северо-восточной части Черного моря. Это приводит к большей пространственно-временной изменчивости положения и толщины бескислородной зоны, вплоть до ее исчезновения не только в прибрежной части моря, но и в глубинной.

Табл. Некоторые характеристики гидрохимической структуры редокс-слоя Черного моря.

	Северо-восточная часть Черного моря		Юго-западная часть Черного моря	
	центр	шельф	центр	шельф
толщина бескислородного слоя, м	15-50	0-10	0-30	0-15
σ исчезновения O_2	15.88-15.93	15.88-15.97	15.60-15.75	15.75-16.00
σ появления H_2S	16.12-16.15	16.10-16.16	16.10-16.21	16.10-16.22
σ появления NH_4, Mn	15.95-15.99	15.94-16.00	15.84-15.89	15.87-16.00
PO_4min, σ/cmin	15.88-15.90 / 0.01-0.5	15.88-15.92 / 0.5	15.82-15.87 / 0.02 – 0.4	15.86-15.89 / 0.1 – 1.1
PO_4max, σ/cmax	16.12-16.15 / 6.4-6.9	16.08-16.14 / 5.9-6.4	16.10-16.19 / 5.0 – 7.3	16.16-16.20 / 5.7 – 6.9

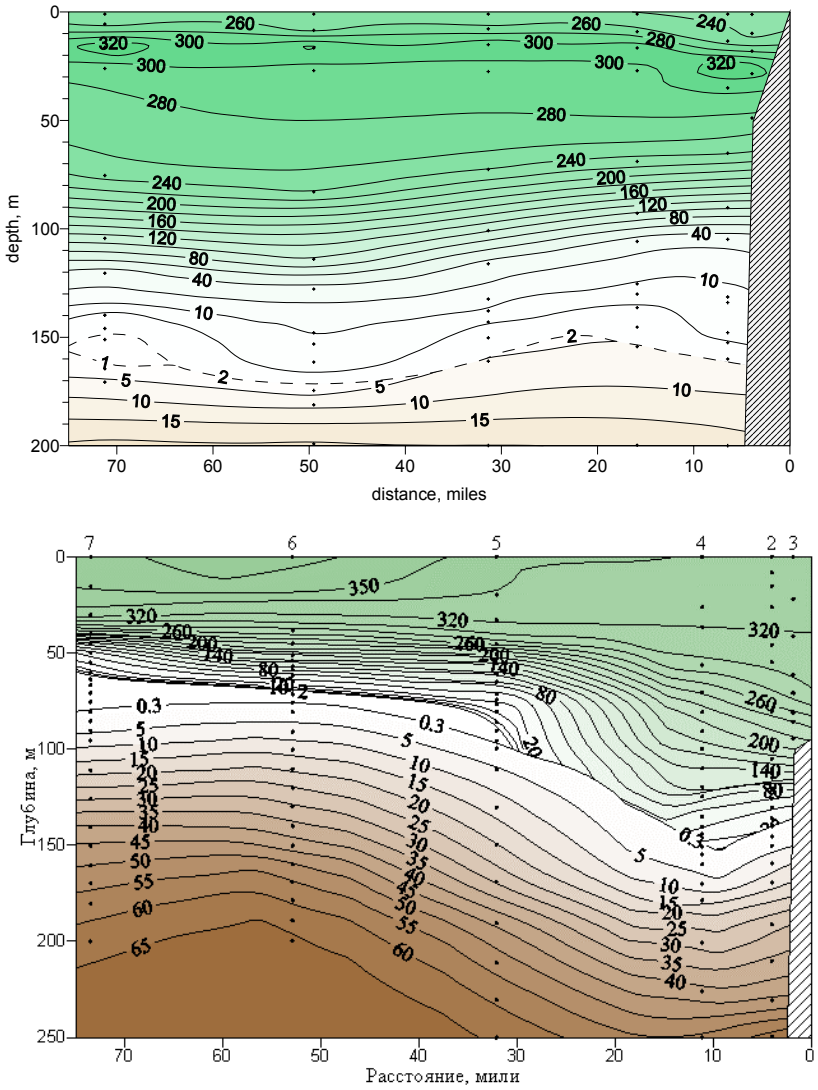


Рис. Распределение растворенного кислорода и сероводорода в верхнем слое Черного моря, μM: а) северо-восточная часть моря 04.2008, б) юго-западная часть моря 04.2003

Comparable analyze of features of hydrochemical structure of Black Sea redox layer and its special-temporary variability in the northeastern and southwestern parts of the sea have been accomplished. Thereto the results of

several transects in the northeastern part of Black Sea from Gelendzhik, Sochi and in the eastern part from Varna have been used.

Пересыпкин В.И., Беляев Н.А.
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: peresypkin@ocean.ru)

Состав *н*-алканов в донных осадках и бактериальных матах отшнурованных озер Кандалакшского залива Белого моря

Peresypkin V.I., Belyaev N.A.
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

The composition of *n*-alkanes in the sediments and bacterial matte separated lakes of Kandalaksha bay of the White Sea

В настоящее время на Карельском берегу Белого моря идет поднятие большей части суши. В связи с этим геологическим явлением небольшая часть губ, заливов и проливов превратилась в отшнурованные озера, практически потерявшие связь с морем. За годы наших исследований с 1989 по 2008 гг. в районе ББС МГУ суша поднялась ~ на 8-10 см. В связи с этим особую актуальность приобретают органо– геохимические исследования отшнуровывающихся водоемов, направленные на изучение органического вещества (ОВ), его трансформации в процессах седиментации при изменении гидрохимических и гидробиологических параметров среды. Такие водоемы также являются эталонами развития и прогноза возникновения аноксии в полярных экосистемах. Аноксия характеризуется повышенным поступлением органического углерода ($C_{орг}$) (ключевого элемента в возникновении аноксии) на дно с различными источниками природного и антропогенного характера. В связи с этим особую актуальность приобретают измерения, позволяющие оценить количество и состав органического вещества, поступающего на дно водоема.

Наиболее отчетливые представления о генезисе исходного ОВ донных осадков таких водоемов дает изучение молекулярного и группового состава *н*-алканов. Алкано-нафтеновые углеводороды (УВ) в донных осадках этих озер практически не исследовались.

Целью нашей работы является изучение распределения и состава *н*-алканов в донных осадках и бактериальных матах в условиях постепенной трансформации морских водоемов в пресноводные (описание осадков и распределение в них $C_{орг}$ см. тезисы Ветров, Пересыпкин в настоящем сборнике). Анализ углеводородов проводился на высокоэффективном газовом хроматографе GC-2010 «Shimadzu».

В изученных донных осадках концентрации *н*-алканов колеблются в довольно больших пределах – 0.12 ÷ 126.5 мкг/г воздушно-сухого осадка.

Такой разброс значений, в общем, характерен для различных районов Кандалакшского залива и это связано в основном с различиями в гранулометрическом составе осадков (от грубозернистых песков до тонких пелитовых илов с примесью почвы и торфа). Максимальные значения углеводородов > 20 мкг/г приурочены как раз для заливов, губ и озер, где при ограниченной гидродинамике (обмене вод) происходит интенсивное накопление органических остатков различного происхождения и их захоронение в донных отложениях. Содержание алканов в пробах бактериальных матов низкие < 2 мкг/г, и это, по всей видимости, связано с малой продуктивностью микробиоты в арктических условиях. Распределение *н*-алканов с достаточной точностью отражает поступление в донные осадки ОВ различного генезиса. Так в большинстве проб преобладает терригенное ОВ – остатки восков высших растений с максимумами в области C_{23} – C_{35} > 80% (рис. 1).

Рис. 1. Типичное распределение *н*-алканов, характерное для терригенного ОВ.

Для осадков насыщенных H_2S и покрытых бактериальными матами с колониями пурпурных серных бактерий Thiocapsa roseopersicina и Amoebobacter sp., а также зеленых цианобактерий Microcystis sp. и Oscillatotia sp., распределение несколько иное. Отмечено появление повышенных концентраций низкомолекулярных гомологов C_{14} – C_{17} с ярко выраженным максимумом C_{17}. По всей видимости, бактерии в примерно равных частях синтезируют эту группу н-алканов (рис. 2). Доля терригенных УВ несколько ниже, но остается довольно высокой (> 60%).

В осадках отобранных в лагуне на литорали, с активным поступлением пресных вод, характерны крупные поселения бесцветных серобактерий – Beggiatoa alba (B. Gigantea). Вода и осадки насыщены сероводородом. Распределение *н*-алканов аналогично, как и на рис. 2, но с максимумом C_{16} (рис. 3). Вероятно, разные виды бактерий имеют свой характерный маркер в классе липидов, но это требует дополнительных исследований.

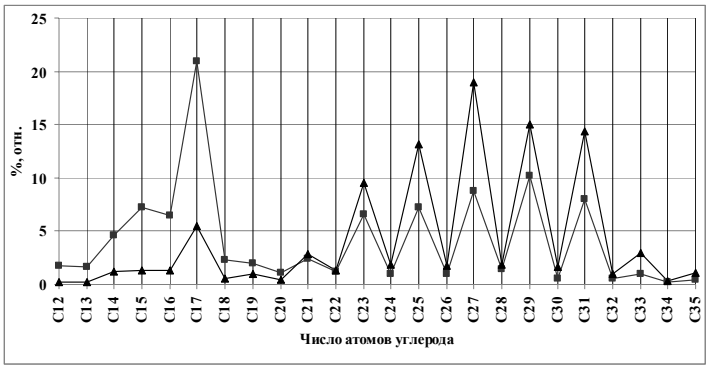


Рис. 2. Распределение *н*-алканов, типичное для определенного вида бактерий.

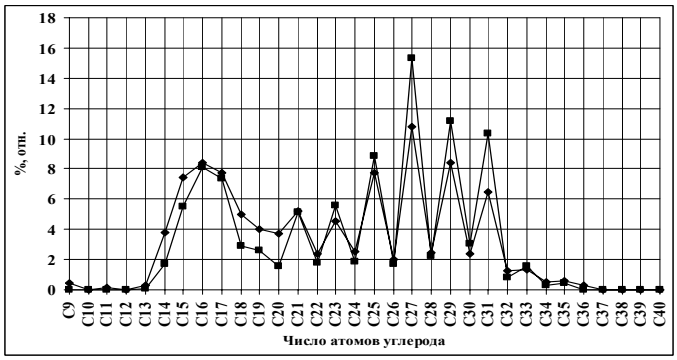


Рис. 3. Распределение н-алканов, характерных для осадков с бесцветными серобактериями – Beggiatoa alba (B. Gigantea).

Во всех хроматографических спектрах наблюдается большой «горб» нафтеновых соединений, т.е. в донных осадках активно идут процессы биодеградации исходного ОВ и УВ в частности. Отношения CPI – 5.97 и i-C_{19}/i-C_{20} – 0.81 (приведены средние значения для всех отобранных проб) также свидетельствуют о глубоком уровне диагенетических преобразованиях ОВ в восстановительных условиях. Среднее значение отношения суммы низкомолекулярных соединений к высокомолекулярным – ΣC_{12}-C_{22}/ΣC_{23}-C_{35} – 0.48 низкое и предполагает постоянное поступление терригенного ОВ в донные осадки озер и заливов. В таких водоемах с постоянной сменой гидрохимических условий, заиленностью осадков, плохим водообменном с морем происходит постепенное вымирание морской биоты, а поток органики с суши остается постоянным.

Планктоногенные организмы в таких условиях существовать не могут, а бентос и водоросли, забрасываемые во время штормов в отшнуровывающийся залив, гибнут, тем самым создавая благоприятную обстановку для развития микробиальных сообществ и возникновения аноксии.

Таким образом, можно утверждать, что ОВ исследованных водоемов в основном сложено терригенными остатками высших растений с примесью продуктов микробиального происхождения.

Пока трудно что-либо сказать об экологических последствиях этих природных процессов и изменении экологии Кандалакшского залива в целом. Это требует более детальных многолетних органо-геохимических исследований с привлечением специалистов в области биологии и микробиологии.

It was concluded that the composition of organic matter consist of terrestrial remains with microbial products admixture predominantly.

В.И. Петрова
(ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: petrovavi@mail.ru)

Углеводородные молекулярные маркеры в позднекайнозойских донных отложениях арктического мегабассейна

V.I. Petrova
(VNIIOkeangeologiya, St.Petersburg)

Hydrocarbon molecular markers in the upper cenozoic sediments of the Arctic Ocean

По результатам многолетнего изучения рассеянного органического вещества (РОВ) показана высокая информативность углеводородных молекулярных маркеров (хемофоссилий) при выявлении природы позднекайнозойских осадочных отложений арктических акваторий.

Полученные результаты наглядно свидетельствуют, что исследование состава РОВ на уровне молекулярных структур значительно расширяет информационное поле, позволяя оценить дифференциальный вклад различных источников осадочного материала - терригенных и аквагенных, современных и древних, а также путей его поступления, условий седиментации и трансформации в процессе осадконакопления. Наряду с этим, вариации состава молекулярных маркеров по стратиграфическому разрезу способствует пониманию долгопериодных изменений в глобальном цикле углерода, что весьма актуально при проведении палеореконструкций,

особенно в районах, где возможность микропалеонтологической стратификации осадочных отложений ограничена.

В качестве специфических молекулярных биомаркеров, 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 ОВ 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, что вводит данное направление исследований в область нанотехнологий.

В качестве хемотаксонов могут выступать дитерпеноиды абиетанового ряда (симонелит, ретен), генетически связанные с представителями голосеменной флоры и кадален - маркер преимущественно покрытосеменных наземных растений. Пентациклические тритерпеноиды ряда амирина (олеанан, лупан) также являются производными исключительно покрытосеменных растений. Раннедиагенетическим продуктом трансформации β-амиринов и тараксолов (компонентов растительных восков) являются олеанены. В результате их дальнейшей трансформации образуется серия цикланов хризенового ряда, отчетливо трассирующих в донных осадках акваторий потоки гумусового ОВ. Распределение этих таксонов в стратиграфическом разрезе осадочных отложений и их соотношение могут не только характеризовать палеосреду, но и свидетельствовать о гумидных и аридных этапах ее развития. Таким образом, индикаторные функции хемофоссилий наглядно иллюстрируют их значимость для палеофациальных реконструкций и изучения современных процессов осадкообразования.

Материалом исследования послужили коллекции осадочных отложений, отобранные в ряде научно-исследовательских рейсов ВНИИО на арктическом шельфе, континентальном склоне и в глубоководной зоне СЛО в 2000-2007гг («Академик Федоров», «Шуя», АЛ «Россия»). Аналитическая процедура включала определение элементного (Сорг, Скарб, Nорг) состава осадков, группового и молекулярного состава растворимых компонентов РОВ методами препаративной жидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии.

Примером подобных исследований на арктическом шельфе может служить реконструкция позднекайнозойского осадконакопления, проводившаяся в ходе комплексного изучения керна неглубоких (12м) скважин на акватории Чукотского моря и включавшая сейсмоакустические,

палеомагнитные, литолого-минералогические, биостратиграфические, радиоуглеродные и органо-геохимические исследования. В результате были выделены два стратиграфических комплекса - верхнеплейстоцен-голоценовый и эоплейстоцен-плиоценовый, разделенные резким несогласием. Геохимическая характеристика РОВ осадочных отложений верхней части разреза соответствовала фоновым показателям для терригенно-морских голоценовых отложений арктического шельфа. Нижняя часть разреза характеризовалась резким увеличением содержания РОВ (Сорг>3%), 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. В изученных отложениях 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.

Применение методов молекулярной геохимии при изучении истории осадконакопления в глубоководных областях СЛО, где возможности классической биостратиграфии ограничены, представляется наиболее актуальным.

Объектом послужили осадочные колонки (до 10 м), отобранные на меридиональных профилях от шельфа и континентального склона вдоль хребта Ломоносова до 89^0 58’ с.ш. и вдоль осевой части поднятия Менделеева до 82^0 с.ш.

В осадочных отложениях западного склона хребта Ломоносова пелитовые разности, обогащенные органическим веществом и сформированные в восстановительных условиях, прослеживались в северном направлении до срединной части хребта Ломоносова, отражая значительный масштаб поступления в этот район терригенного осадочного материала. На это указывал состав алкановых углеводородов, в котором во всем стратиграфическом разрезе преобладали маркеры гумусового слабо преобразованного РОВ (C_{17-19}/ C_{27-31} =0,1 - 0,3; OEP_{29-31}>4). Низкое значение

гопановых коэффициентов зрелости (T_s/T_m=0,33, 22S/22R+22S=0,43) и доминирование биогенных гопенов, ββ–гопанов, присутствие олеаненов соответствовали стадии раннего диагенеза. В составе полиаренов значительную роль играли перилен и алкилхризены, маркирующие терригенное ОВ.

В формировании позднекайнозойских рыхлых отложений осевой части хребта Ломоносова существенную роль играют два основных источника - продукты абразии древних пород, содержащих глубоко преобразованное РОВ, и осадочный материал речного стока, обогащенный РОВ раннедиагенетической стадии зрелости. Последний приурочен к нижним частям разреза и отлагался, по-видимому, в условиях, близких к лавинному осадконакоплению, особенно в южной части меридионального профиля.

Осадочные отложения восточного склона хребта Ломоносова могут быть охарактеризованы как типичные глубоководные, содержащие преобразованное РОВ смешанного генезиса (гумусово-сапропелевого). Вариации геохимических параметров по осадочному разрезу могут быть обусловлены изменением соотношения различных источников осадочного материала, содержащего РОВ постдиагенетической стадии зрелости, как привнесенного (ледовый разнос), так и местного переотложенного.

В осадках центральной части котловины Амундсена, в географической точке Северного полюса, в осадочном разрезе чередуются бескарбонатные и слабокарбонатные разности с фоновым для глубоководной части СЛО содержанием Сорг (< 0,40 %). Бимодальное распределение н-алканов (C_{17-19}/ C_{27-31} до 0,5) указывает на смешанный гумусово-сапропелевый генезис ОВ с преобладанием слабо преобразованной терригенной составляющей (OEP_{29-31}=3,6-6,8). Это свидетельствует об устойчивой и интенсивной поставке в позднем кайнозое в глубоководную часть арктического бассейна шельфового осадочного материала. Гопановые показатели зрелости ОВ достигают значений, характерных для постдиагенетической стадии преобразования (T_s/T_m=0,48, 22S/22R+22S=0,55), в составе ПАУ резко снижается доля перилена, что соответствует окислительным условиям осадконакопления.

Во всем стратиграфическом разрезе отложений северной части поднятия Менделеева РОВ композиционно однотипно. Для него характерно низкое содержание растворимых компонентов (<5%), аномально высокие битуминозность (β =5-10%) и содержание углеводородов (до 30мг/гСорг). В составе алифатических углеводородов доминировали четные (OEP<1), короткоцепочные (н-$C_{14,16}$) соединения линейного строения (Кизо=0,4). Гопановые и стерановые коэффициенты свидетельствуют о катагенетическом уровне зрелости РОВ (для гопанов: T_s/T_m=0,73, 22S/22R+22S=0,60; для стеранов: 20S/20R+20S=0,48). В составе полиароматических углеводородов (ПАУ) доминировали фенантрен и C_1-алкилфенантрены. Маркеры терригенного ОВ не зафиксированы. Комплекс

полученных данных позволяет заключить, что в формировании плейстоцен-голоценовых отложений осевой части поднятия Менделеева значительную роль играют древние осадочные породы, содержащие генетически однородное и глубоко преобразованное ОВ, достигшее уровня мезокатагенеза.

Таким образом, сравнительное изучение РОВ кайнозойских отложений евразийского и амеразийского секторов СЛО позволило оценить вклад различных источников (речной сток, турбидитные потоки, океанские вдольсклоновые течения, субаквальный размыв и переотложение коренных пород) в формирование рыхлого осадочного чехла. В результате проведенных исследований показана ведущая роль терригенного материала для позднекайнозойских осадков шельфа и глубоководной части арктического бассейна, включая зону Северного полюса и отсутствие таковой для донных отложений поднятия Менделеева, особенно северной его части. Наряду с этим, комплексный анализ органо-геохимических, гранулометрических, минералогических характеристик осадочных отложений и кластического материала в стратиграфическом разрезе дал возможность надежно выделить и охарактеризовать гляциально-дегляциальные этапы осадконакопления в позднем кайнозое.

Studies of the bottom sediments' organic matter of Euro-Asian and American-Asian sectors of the Arctic Ocean were carried out by methods of molecular geochemistry that allowed evaluation of different sources' contribution (river drain, turbidite streams, ocean along-the-slope flows, sub-aqual erosion and re-sedimentation of basement rocks) into formation of friable sedimentary cover. Along with this, the complex analyses of the organic-geochemical, granulometric, mineralogical characteristics of the sedimentary deposits in the stratigraphic cut provided an opportunity to detect and characterize glacial-deglacial stages of sedimentation in the Late Cenozoic.

Н.В. Пименов
(Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, Москва, e-mail: npimenov@mail.ru)

Археи в океане: разнообразие и геохимическая деятельность

N.V. Pimenov
(Winogradsky Institute of Microbiology RAS, Moscow)

Archaea in the ocean: diversity and geochemical activity

В середине 70-х годов прошлого столетия группой молекулярных биологов во главе с Карлом Вёзе (Carl Woese) был предложен новый метод

для анализа молекулярной филогении, основанный на секвенировании нуклеиновых кислот. На основании сравнительного анализа рРНК известных эу- и прокариот было установлено, что глобальное филогенетическое древо включает три домена: археи, бактерии и эукариоты [1]. Заметные геномные отличия архей и бактерий отражаются и на особенностях их физиологии и биохимии. Многие археи являются экстемофилами и способны занимать эконишы, недоступные для других живых организмов.

В последние десятилетия в связи с глобальным потепления климата большое внимание уделяется исследованию цикла метана в биосфере. Показано, что донные осадки океана являются важнейшим резервуаром метана, причем большая часть метана образована исключительно археями: гидрогенотрофными и ацетокластическими метаногеннами. По разным оценкам ежегодная продукция метана в восстановленных осадках океана составляет 20-25% от органического углерода, поступающего из зоны фотосинтеза на океаническое дно. Долгое время считалось, что биогенное окисление метана возможно только в аэробных условиях при участии метанотрофных бактерий. Однако к середине 1990-х годов усилиями геохимиков были собраны доказательства масштабного окисления метана в анаэробной водной толще и донных осадках морских водоемов. Потребовалось еще около 5-ти лет, чтобы в анаэробной зоне морских осадков с использованием специфических молекулярных зондов выявить присутствие специфических конгломератов, образованных консорциумом метанотрофных архей и сульфатредуцирующих бактерий [2]. Метанотрофные археи в таком консорциуме филогенетически близки к метаногенам и осуществляют реакцию, обратную образованию метана. Роль сульфатредуцирующих бактерий сводится к удалению избытка водорода или к потреблению ацетата, образующегося на первой стадии процесса анаэробного окисления метана. На сегодняшний день в осадках богатых органическим веществом, в зонах разгрузки холодных метановых сипов и подводных гидротерм с использованием молекулярным методов обнаружено несколько некультивируемых типов метанотрофных архей (Группы ANME I, II, III). Микробные сообщества метановых сипов Охотского, Черного и Норвежского морей стали классическими объектами исследования процессов анаэробного окисления метана с участием метанотрофных архей. Масштабы анаэробного окисления метана оцениваются величиной 70-300 Тг в год (до 80% CH_4, продуцируемого метаногенами в морских водоемах), что существенно превышает суммарную интенсивность этого процесса сообществом аэробных метанотрофных бактерий [3]. Таким образом, глобальный цикл метана в морских водоемах, в значительной степени определяется геохимической активностью архей.

До недавнего времени считалось, что в морских экосистемах археи встречаются, преимущественно, в анаэробной зоне. Использование

молекулярных зондов и липидных биомаркеров показало присутствие заметного количества архей в составе планктонного микробного сообщества. Археи, причем в большинстве своем, относящиеся к кренархеотам (Crenarchaeota) распространены в широком диапазоне глубин как в фотической, так и глубинной зонах водной толщи, составляя около 20% всего пикопланктона океана. Остается не ясным вопрос о геохимической роли этих прокариот в океане. Было показано, что некоторые гетеротрофные планктонные археи могут потреблять растворенные в морской воде аминокислоты в наномолекулярных концентрациях [4]. Появились также данные о том, что морские кренархеоты способны к светонезависимой фиксации углекислоты, являясь автотрофными микроорганизмами [5]. В 2005 г. американским исследователям удалось выделить планктонную кренархеоту, способную расти хемолитотрофно за счет окисления аммония до нитрита. С учетом широкого распространения кренархей, это открытие позволило авторам сделать предположение о том, что нитрифицирующие кренархеоты могут играть существенную роль в глобальном цикле углерода и азота в океане [6].

Еще одно открытие последних лет связано с исследованием образцов донных отложений, отобранных в ходе реализации международным программам глубокого бурения океанического дна. Использование липидных биомаркеров дало основание группе ученых представить доказательства, что в толще осадков по мере удаления от поверхности грунта и вплоть до глубины 367 м биомасса клеток жизнеспособных форм микроорганизмов снижалась примерно в 1000раз. Однако, доля липидов, характерных для архей с углублением в толщу осадка резко возрастала [7]. Результаты глубоководного бурения у берегов Ньюфаундленда показали, что богатая микробная жизнь присутствует вплоть до глубины 1626 м под уровнем морского дна, где при температуре 60–100°С доминируют разнообразные термофильные археи [8]. Присутствие живых микроорганизмов было подтверждено несколькими независимыми методами, включая прямые наблюдения делящихся клеток микроорганизмов, эпифлуоресцентную микроскопию, выделение и анализ тотальной ДНК. В пробе из самого нижнего горизонта опробованной осадочной толщи преобладали гетеротрофные гипертермофильные археи, относящиеся к хорошо изученным родам *Pyrococcus* и *Thermococcus* и способные развиваться при температуре до 100–103°С. В остальных пробах выявлены метанотрофные археи, филогенетически близкие к группе ANME I и ANME II. Предварительные расчеты численности и биомассы прокариот «глубинной биосферы» (где доминируют археи) дают основание предполагать, что в полостях и трещинах осадочных и вулканических пород под дном океанов может находиться до 2/3 всех микробов, обитающих на планете, а их суммарная биомасса оказывается значительно большей, чем масса всех живых организмов, населяющих водную толщу океана.

Микробиологические исследования глубоководных гидротермальных полей и метановых сипов значительно расширили представления о биоразнообразии прокариот и, в том числе архей, в океане. Высокая температура гидротермальных построек и флюидов обеспечивает доминирование здесь архей различных физиологических групп, включая литоавтотрофных и гетеротрофных микроорганизмов, способных вовлекать в метаболизм многие компоненты гидротермального раствора [9].

Таким образом, исследования последних лет дают неоспоримые доказательства того, что наряду с бактериями, археи играют важнейшую роль в глобальных биогеохимических круговоротах основных биогенных элементов в океане.

1. Woese C., Fox G. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms // Proc Natl Acad Sci USA. 1977. V.74 (11). P. 5088–90.
2. Boetius A., Ravenschlag K., Schubert G.J. et al. A marine microbial consortium apparently mediating anaerobic oxidation of methane // Nature. 2000. V. 407. P. 623-626.
3. Valentine D.,L. Biogeochemistry and microbial ecology of methane oxidation in anoxic environments: a review // Antonie van Leeuwenhoek. 2002. V.81. P.271-282.
4. Ouverney C.C., Fuhrman J.A. Marine planktonic Archaea take up amino acids // Appl. Environ. Microbiol. 2000. Nov. P.4829-4833.
5. Wuchter C., Schouten S., Boschker H.T.S. et al. Bicarbonate uptake by marine Crenarchaeota // FEMS Microbiol. Letters. 2003. V.219. P.203-207.
6. Konneke M., Bernhard A.E., de la Torre J.R. Isolation of an autotrophic ammonia-oxidizing marine archaeon // Nature. 2005. V.437(7058). P.543-546.
7. Lipp J.S., Morono Y., Inagak F., Hinrichs K.-U. Significant contribution of Archaea to extant biomass in marine subsurface sediments // *Nature*. 2008. V. 454. P. 991–994.
8. Roussel E.G., Cambon Bonavita M.-A., Querellou J. et al. Extending the Sub-Sea-Floor Biosphere // Science. 2008. Vol. 320(5879). P. 1046.
9. Miroshnichenko M.L., Bonch-Osmolovskaya E.A. Recent developments in the thermophilic microbiology of deep-sea hydrothermal vents // Extremophiles. 2006. V.10. P. 85-96.

The review of recent data on the diversity and geochemical activity of marine Archaea indicate that, along with bacteria, Archaea play the major role in the global biogeochemical cycling of the key biogenic elements in the ocean.

Т.В. Погодаева, Т.И. Земская, И.Н. Доля, О.М. Хлыстов
(Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, tatyana@lin.irk.ru)

Поровые воды донных отложений озера Байкал в районах погружения ГОА “МИР”

T.V. Pogodaeva, T.I. Zemskaya, I.N. Dolya, O.M. Khlystov
(Limnological Institute SB RAS, Irkutsk)

Pore water of Lake Baikal bottom sediments at diving sites of deepwater submersible “MIR”

Озеро Байкал – самое глубокое пресноводное озеро в мире, содержит 20% мировых запасов питьевой воды. Воды Байкала обладают исключительным постоянством содержания главных ионов, как по разным котловинам, так и по глубине. Кроме того, байкальские воды от поверхности до дна насыщены кислородом, проникающим и в донные отложения. Поверхностные осадки окислены почти по всей площади дна. Важной особенностью Байкала является то, что благодаря гомогенизации тонких фракций поступающего терригенного материала при переносе системой постоянных течений, в глубоководных котловинах Южного, Среднего и Северного Байкала формируются осадки, близкие по своему химическому составу. Таким образом, создаются предпосылки формирования единого химического состава поровых вод донных отложений озера Байкал. Проведенные нами исследования 8 центральных станций пелагиали трех котловин (рис. 1) выявили близость их химического состава и общие закономерности его изменения (рис. 2) [1]. Программа исследования «МИРы на Байкале-2009» позволила изучить поверхностные осадки 22 станций, охватывающих самые разнообразные районы озера.

По полученным результатам выделились две группы:

1. Идентичные глубоководным фоновым станциям;
2. Аномальные.

Осадки станций первой группы представлены серыми однородными диатомовыми алевритопелитовыми илами, имели рыжий окисленный слой 5–10 см; отличались горизонтальной слоистостью, имели черные прослои гидротроиллита. Химический состав поровых вод таких осадков и его изменение с глубиной полностью соответствовали результатам, полученным для центральных глубоководных станций (рис.2). Это позволило подтвердить выводы о единстве солевого состава поровых вод озера Байкал. Вероятно, за исключением аномальных районов [2-5], полученные фоновые данные действительны для всей площади Байкала.

Таким образом, поровые воды озера Байкал маломинерализованные гидрокарбонатно-кальциевые, отражающие химический состав водной толщи озера. В процессе диагенетических преобразований с глубиной увеличивается общая минерализация поровых вод без изменения класса и группы вод.

Рис. 1. Карта-схема отбора проб

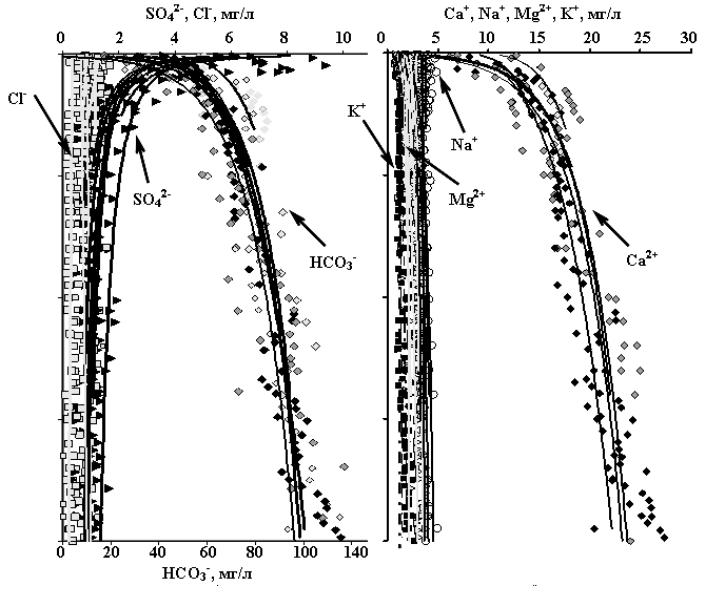


Рис. 2. Тренды концентрационных профилей главных ионов поровых вод глубоководных донных отложений озера Байкал

Осадки станций второй группы отобраны в районах нефте- и газопроявлений, а также во вновь открытом районе присутствия газовых гидратов. Осадки восстановлены с поверхности, перемешаны, представлены смесью песка, плотной глины, нефтяными линзами и прослоями (в районах нефтепроявления). Химический состав поровых вод таких осадков очень неоднороден по концентрациям и разнообразен по составу ионов. Концентрации гидрокарбонат-ионов варьируют от 10 до 400 мг/л в первых сантиметрах осадка. В поровой воде присутствуют ионы ацетата, нитраты, фосфаты, ионы хлора и брома. Такой состав, скорее всего, отражает сопутствующую углеводородам разгрузку глубинных вод и активно протекающие в поверхностных осадках микробиальные процессы.

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН №27 и проекта 17.9 по программе Президиума РАН.

1. 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 оз. Байкал // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48. – № 11. –С. 1144-1160.
2. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск: Наука, 1974. – 166 с.
3. 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.
4. Гранина Л.З., Клеркс Ж., Каллендер Е., Леермакерс М., Голобокова Л.П. Особенности донных осадков и поровых вод в районе гидротермального проявления на Байкале (бухта Фролиха) // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 3. – С. 305 - 316.
5. Клеркс Я., Земская Т.И., Матвеева Т.В., Хлыстов О.М., Намсараев Б.Б., Дагурова О.П., Голобокова Л.П., Воробьева С.С., Погодаева Т.В., Гранин Н.Г., Калмычков Г.В., Пономарчук В.А., Шоджи Х., Мазуренко Л.Л., Каулио В.В., Соловьев В.А., академик Грачев М.А. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков озера Байкал // ДАН. – 2003. – Т. 393. – № 6. – С. 822-826.

This work represents data on chemical composition of pore water of Lake Baikal bottom sediments at diving sites of the deepwater submersible “MIR”. Based on the data obtained the background composition of pore waters was established. Anomalies in the pore water composition were recorded in areas of oil and gas discharges.

А.Г. Розанов
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова, e-mail: rozanov@ocean.ru)

Марганец и другие окислители органического вещества донных отложений Белого моря

A.G. Rozanov
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Manganese and other oxidizers of organic matter in the White Sea sediments

Характерным свойством донных отложений Белого моря является наличие на их поверхности тонкого рыжевато-коричневого слоя, обогащенного марганцем и железом. Этот слой, часто представленный полужидким наилком, содержит марганец в виде оксигидроксидов в количествах, многократно превышающих фоновые концентрации этого элемента в осадках. Оксигидроксиды Mn(III,IV) или условно MnO_2 (вследствие преобладания в них четырехвалентного марганца) - при взаимодействии с органическим веществом (ОВ), а также за счет резкого снижения содержания кислорода в поверхностной пленке осадка, освобождают марганец в восстановленной ионной форме в раствор ($MnO_2 + C_{орг} \rightarrow Mn^{2+} + CO_2$). Возникающий поток Mn^{2+} из осадков, попадая в придонную воду, обогащенную кислородом, вновь окисляется, давая осадок оксигидроксидов ($Mn^{2+} + O_2 \rightarrow MnO_2$) и обогащая поверхностный слой. Очевидно участие в этом процессе кислорода, расходующегося на окисление Mn(II), и очевидно также, что, как правило, основная часть кислорода придонной воды расходуется не на окисление марганца или других неорганических форм, а на окисление ОВ, накапливающегося в поверхностном слое осадков. В ряде случаев, в частности в осадках с высоким содержанием марганца (3-4%), отмечен более высокий расход кислорода на окисление неорганических компонентов осадка по сравнению с расходом на окисление ОВ . В этом отношении наибольший интерес вызывает Кандалакшский залив, в котором мы попытались исследовать на количественном уровне окислительно-восстановительные процессы диагенеза в поверхностных осадках, главными компонентами которых являются органическое вещество, кислород, марганец и, отчасти, железо и сульфаты.

Материал для исследований был получен в экспедициях на НИС «Эколог» и «Профессор Штокман» в 2002 и 2003 гг. Пробы донных осадков отбирались с помощью дночерпателей и геологических трубок, в том числе трубок Ниемисто, позволяющих производить одновременный отбор небольшого количества придонной воды над осадком. Анализы «реакционноспособных» форм железа в натуральном осадке, а также определения влажности, и содержания растворенных Mn и Fe в иловой воде

производились на борту судна непосредственно после извлечения проб. Анализ валовых содержаний Mn, Fe, $C_{орг}$ и CO_2 выполнялся из сухих проб в береговой лаборатории. Для получения иловых вод осадки центрифугировались (3000 об./мин), полученные растворы фильтровались через фильтры Millipore (0.45 мкм) на вакуумной воронке. Растворенный Mn определялся с формальдоксимом, Fe с феррозином.

Среди геохимических особенностей осадков, имеющих значение для окислительно-восстановительных процессов диагенеза, следует отметить высокое содержание $C_{орг}$, достигающее в пределах кандалакшской впадины 2% Столь высокие величины содержания органического вещества в современных осадках Белого моря являются отражением не только весьма активных продукционных процессов в водной толще, но и определяются влиянием более спокойной гидродинамики замкнутой глубоководной части Кандалакшского залива, способствующей накоплению глинистого материала и органических остатков. С углублением в толщу осадков Кандалакшского залива содержание $C_{орг}$ снижается, но тем не менее остается высоким (как правило, более 1%). Как мы отмечали ранее, значительная часть органического вещества донных отложений имеет терригенное происхождение и отличается высокой устойчивостью к разложению и окислению в диагенезе.

Содержание железа, как и других литофильных элементов, определяется источниками поступления, гранулометрическим составом осадков и диагенетическими изменениями. Наши данные подтверждают более высокое содержание железа в глубоководных глинистых осадках (до 5.8% в кандалакшской впадине), по сравнению с осадками меньших глубин. Согласно полученным данным, обогащение поверхностного слоя происходит за счет оксигидроксидных форм реакционноспособного железа Fe(III), содержание которого резко снижается вниз по профилю осадка, где реакционноспособное железо представлено двухвалентными формами Fe(II), включая сульфиды железа. Преобладающей формой сульфидов в исследованных отложениях Кандалакшского залива является гидротроилит ($FeS.nH_2O$), проявляющийся в виде черных точек и примазок на зеленовато-сером фоне осадков. Содержание сульфидов железа увеличивается в глубь осадка (максимум до 0.6%) и в глубоководной части залива на горизонте 200-300 см достигает стабилизации. Содержание растворенного железа в иловой воде донных отложений Кандалакшского залива характеризуется величинами (до 20 μM), многократно превышающими концентрации, которые отвечают химическим равновесиям с оксигидроксидами или сульфидами железа.

Поверхностный слой осадков обогащен марганцем, концентрации которого в прибрежных осадках составляют 0.15%, а в глубоководных - доходят до 3-5%. В толще прибрежных осадков содержание марганца снижается до кларковых значений и ниже (0.04%), а в глубоководных

осадках продолжает оставаться высоким (0.5-1%). Характерными свойством поверхностных осадков является наличие железомарганцевых конкреций и весьма высоких концентраций растворенного Mn в иловой воде (500 мкМ).

Мы использовали закон Фика и результаты анализа иловых вод в донных осадках Кандалакшского залива для оценок в сравнительном плане потоков растворенных марганца и железа. Потоки этих элементов из осадков, где концентрации достигают весьма высоких величин (более 500 и 20 мкМ соответственно), в придонную воду, где их концентрации обычно не превышает 0,01 мкМ, могут иметь заметное влияние на биогеохимию поверхностного слоя. При этом распределение марганца и железа в иловой воде характеризуется подповерхностными максимумами, величина и взаимное расположение которых, а также концентрационные градиенты, обусловливают направление и величины их потоков к поверхности и вглубь осадка. В соответствии с повышенным содержанием в иловой воде, величины потоков растворенного марганца из поверхностного слоя осадков (горизонт 0 - 5 см) являются максимальными в районе впадины (171 – 281 мкМ/м^{2}сут), в то время как на меньших глубинах они заметно ниже (5 – 9 мкМ/м^{2}сут). Потоки железа имеют существенно более низкие величины, причем в отличие от марганца, они ниже в осадках впадины (0.22 – 0.52 мкМ/м^{2}сут), чем в осадках меньших глубин (1.2 – 13.0 мкМ/м^{2}сут) .

Если принять, что потоки растворенного марганца и железа являются следствием восстановления оксигидроксидов органическим веществом, то можно оценить расход $C_{орг}$ исходя, например, из формулы Редфилда. Подобный расчет в случае окисления ОВ марганцем дает от 2.4 мкМ $C_{орг}$/м^{2}сут для меньших глубин до 126.5 мкМ $C_{орг}$/м^{2}сут для котловины. В случае железа, напротив, соответствующие расходы $C_{орг}$ варьируют от 3.3 мкМ/м^{2}сут до 0.60 мкМ/м^{2}сут, имея в виду меньший расход оксигидроксидов железа на окисление ОВ в осадках котловины. С другой стороны, очевидно, что основная часть ОВ поверхностного слоя донных отложений окисляется кислородом придонной воды. По величине потока кислорода, проникновение которого из придонной воды в осадок обычно ограничивается верхними миллиметрами поверхностного слоя, можно оценить возможное количество окисляемого ОВ и неорганических компонентов осадка. Исходя из наших предшествующих и литературных данных, можно принять поток кислорода из придонной воды в осадки котловины равным 1 мМ/м^{2}сут, что соответствует окислению 0.77 мМ $C_{орг}$/м^{2}сут. Сравнение с максимальным потоком марганца свидетельствует, что только 16.4 % ОВ (126/770) поверхностного слоя осадков может быть окислено оксигидроксидами марганца. Роль оксигидроксидов железа составляет менее 1 %, также как и роль неорганических окислителей в осадках меньших глубин. Среди других окислителей ОВ можно упоминуть нитраты, но их роль пока не определённа.

Накопление в толще осадков оксигидроксидов марганца и железа, а также появление сульфидов, связанное с расходом ОВ на эти процессы, позволяет с известной долей условности оценить этот расход на различных этапах (горизонтах) не только поверхностного, но и более древнего анаэробного диагенеза для станций, где получены наиболее длинные колонки кандалакшской котловины. Подробное рассмотрение колонки осадков ст. 4933 ($66^0$28,05' с.ш., $34^0$12,04' в.д., глубина 340 м) свидетельствует о наличии в верхних 350 см по крайней мере двух пачек осадков, пространственно обособленных, но имеющих сходную ритмику редокс процессов (0-120 и 120-300 см). Они разделены слоем накопления марганца (1.04% на 125-135 см), который в нижележащих осадках сменяется слоем с повышенным содержанием железа ($Fe_{вал}$ 5.76%, Fe(II) 2.02% на 170-185 см). Здесь также наблюдаются более высокие концентрации сульфидной серы (0.3-0.4%). Эта ритмика, возможно, продолжающаяся и в более древних осадках (340-350 см и ниже по колонке), очевидно указывает на изменения в осадконакоплении. Возникающие при этом колебания в валовом содержании и содержании растворенных форм (снижение концентраций марганца и железа в иловой воде) могут быть причиной локальных потоков по профилю осадка, но не с толь существенных по сравнению с потоками поверхностного горизонта.

Балансовые оценки роли отдельных анаэробных окислителей, предполагающие стехиометрию реакций с ОВ, использовались неоднократно для осадочных пород и морских осадков. В нашем случае уравнение для суммарного расчета расхода ОВ на анаэробные процессы на отдельных горизонтах верхнего слоя осадков применялось в форме:

расход $C_{орг}$ (%) = 0.109(ΔMn, %) + 0.054[$\Delta Fe(II)_{реакц}$, %] + 0.75(ΔS^{2-}, %).

Разница с предшествующими расчетами редокс-баланса состоит в том, что ранее расход $C_{орг}$ рассчитывался для отдельных горизонтов осадка в отрыве от предшествующего расхода на вышележащих горизонтах. Настоящий расчет выполнен последовательно по слоям путем прибавления расхода $C_{орг}$ следующего по глубине слоя к расходу предыдущего. Это естественно привело к более высоким расчетным оценкам анаэробного окисления $C_{орг}$ по сравнению прямыми определениями.

На 100-сантиметровом горизонте колонки осадков ст. 4933 суммарный расход $C_{орг}$ по прямому определению составляет 0.37%, в то время как по стехиометрическому расчету на образование восстановленных неорганических форм необходимо 0.80%. Столь заметная разница может быть объяснена только предшествующим расходом ОВ в период поверхностной истории этого горизонта, получавшим дополнительное количество ОВ с поверхности за счет перемешивающей деятельности бентосных организмов (биотурбация) и (или) движением воды в обитаемых бентосом нишах и ходах осадка (биоирригация). Если сравнить динамику редокс-процессов в верхней пачке осадков, то суммарно в слое 0 - 100 см

61% анаэробного окисления $C_{орг}$ приходится на долю MnO_2 , на долю FeOOH и сульфатов падает 14 и 25% соответственно. При этом в поверхностном слое (0-5 см) MnO_2 практически является 100-процентным окислителем ОВ, а на 100 см 100-процентным окислителем становятся сульфаты. С другой стороны основной расход ОВ на процессы анаэробного диагенеза происходит в верхних 25-50 см как по прямым определениям $C_{орг}$ так и по стехиометрическому расчету.

Недостающее количество ОВ, по нашему мнению, может компенсироваться внешними источниками поступления, например из поверхностного слоя за счет биотурбации и биоирригации. Отметим, что эти расхождения, довольно большие (в 2 раза) в верхних слоях осадка (0-50 см) в более глубоких горизонтах (нижняя пачка) уменьшаются в ходе практического прекращения окислительно-восстановительных процессов в толще осадков. Ведущую роль в анаэробном окислении ОВ поверхностных горизонтов играет марганец, в более глубоких горизонтах главным окислителем ОВ становятся сульфаты иловой воды.

Обращает на себя внимание накопление марганца в толще осадков на горизонтах, где окислительно-восстановительные условия не отвечают устойчивому существованию оксигидроксидов Mn(IV). Накопившиеся в поверхностном слое в условиях контакта с кислородом оксигидроксиды, включая возможные железомарганцевые конкреции, в восстановительных условиях при наличии Fe(II) и S^{2-} должны растворяться, образуя Mn^{2+}, который может диффундировать из осадка или давать начало новым твердым фазам таким как, например $MnCO_3$ или MnS. Эти фазы, находки которых описаны в некоторых морских отложениях, в осадках Кандалакшского залива не обнаружены, что позволяет рассматривать подобные горизонты накопления марганца как метастабильные реликты оксигидроксидов, находящиеся в стадии медленной трансформации и рассеяния, подтверждаемого снижением общей концентрации марганца в глубь по профилю осадков.

The role of Mn(IV), Fe(III) and SO_4^{2-} as organic matter oxidants is considered.

А.Е. Рыбалко
(ФГУНПП «Севморгео», e-mail rybalko@sevmorgeo.com)

Геохимический мониторинг донных отложений (методика, проблемы, перспективы)

A.E. Rybalko
(State company "Sevmorgeo", e-mail rybalko@sevmorgeo.com)

Geochemical monitoring of bottom sediments (method, problems, prospect)

Геохимические исследования давно стали составной частью морских литологических исследований. Они используются как для характеристики процессов современной и четвертичной морской и океанской седиментации, так и для расшифровки палеокеанологических процессов, а также характеристики вещественного состава осадочных образований. Развитие этих методов шло преимущественно по двум направлениям: повышению точности аналитических методов и увеличению детальности отбора проб. В тоже время, все исследования опирались преимущественно на одномоментные отборы проб, а расширение сферы исследований – на вовлечение в аналитический процесс новых химических элементов и соединений.

Развитие геоэкологических работ на шельфе, начавшееся с составления геоэкологических карт, главным субъектом которых являлись именно геохимические данные, привело к включению в состав комплекса геологоразведочных работ нового вида – мониторинга геологической среды шельфа, который является составной частью глобального мониторинга геологической среды. Составной частью этого мониторинга является геохимический мониторинг донных осадков, одной из главных задач которого является анализ уровня загрязнения их токсическими элементами. Не вдаваясь в дискуссию об определении содержания термина «мониторинг», отметим, что речь идет о повторных наблюдениях, основными аргументами которого являются: одно место – один метод – одни объекты наблюдений – единая методика обработки. Надо сказать, что при распространенности данного термина, применительно к различным работам, многие из них к таковому отношения не имеют. Часто речь идет просто о повторении близких по смыслу работ в одном регионе (акватории) без соблюдения правила повторяемости станций, а также набора проводимых измерений. 10-летний опыт проведения указанного вида работ позволяет по новому взглянуть как на организацию геохимического мониторинга, так и на ограничения используемой методики.

Любой мониторинг, а геохимический для морских осадков не исключение, относится к прецизионным методам работ. Тем не менее, к началу работ он не был обеспечен методическими документами, за

исключением «Концепции…», которая была утверждена в 1999 году и послужила идейной основой для образования двух центров мониторинга при ФГУНПП «Севморгео» и ГНЦ «Южморгеология». Да и сейчас, по истечению 10-летнего срока работ имеются только утвержденные МПР РФ «Временные методические рекомендации по проведению мониторинга геологической среды западноарктического шельфа (2003г.). В тоже время накопленный опыт позволяет по-новому посмотреть на методику проведения работ и интерпретацию полученных результатов. Особенно это касается точности результатов. При одномоментном использовании результатов анализов, в том числе и для составления геохимических карт, точность их обычно определяется по сертификату лаборатории. При повторных анализах в процессе мониторинга выявилось, что точность анализа определяется не только точностью собственно выполненных аналитических работ, но и целым комплексом сопутствующих действий, а именно ошибками в местоопределении выхода на станцию, самого процесса пробоотбора, упаковки, хранения и транспортировки собранных проб. Причем доля этих действий в суммарной ошибке составляет от 60 до 70%. Во-первых, выяснилось, что точность местоопределения, гарантированная GPS, и точность выхода в точку отбора проб – разные вещи. При этом, выход в точку отбора опробования с точностью ± 10м и удерживание на точке на обычных судах вообще не возможен. Более того, даже при одновременном опробовании двумя пробоотборниками аналитический результат получается разным. Это заставило ввести возможные радиусы ошибок для мониторинга различных стадий, а также ввести понятие о геоморфологическом и литологическом контролях (одна станция – один тип осадка – один тип рельефа). Выявилось и влияние самих пробоотборников на результаты последующих анализов. Так результаты определения тяжелых металлов в пробах, полученных с помощью ковша-дночерпателя и грунтовой трубки (верхние слои), будут различными. Наиболее удобными при мониторинге оказались геоэкологические трубки, позволяющие получать разрез донных отложений и отбирать пробы ненарушенных осадков с дискретностью 1 – 5 см. Не менее важным являются особенности хранения и транспортировки проб. За время, прошедшее с момента издания методических пособий по пробоотбору, коренным образом изменился инвентарь, что привело к существенным различиям в упаковке проб. Преобладающим являются пластиковые пакеты и баночки, однако, соблюсти все требования о сохранении проб для сложных органических веществ, предусматривающие в частности, заморозку проб, в большинстве случаев трудно по причине отсутствия на используемых судах (большей частью не специализированных) достаточного количества холодильников. Кроме того, конкурсная система проведения мониторинговых исследований при всех ее достоинствах, вызвала к участию в проектах большого специалистов, не слышавших ранее об особенностях отбора проб морских

осадков. Это часто приводит к тому, что, например, к гранулометрическому анализу отбираются сухие пробы без сохранения естественной влажности, а полученные из этих проб результаты изначально некорректны. Не менее важно учитывать особенности морских донных осадков при производстве самих анализов. Однако, и при выполнении всех требований результаты повторных анализов могут различаться между собой, что не позволяет корректно сравнивать результаты единичных анализов. В результате при обработке проб необходимо проводить временные и площадные интеграции и анализировать не конкретные значения, а тенденции в поведении химических микроэлементов и соединений для получения достоверных результатов.

Не менее важным является и вопрос об экологических критериях загрязнения. Для водной толщи, а также для почв существуют установленные ПДК, которые хотя и не являются экологическими, а санитарно-гигиеническими показателями, тем не менее, выполняют функцию сравнительного эталона. Для донных отложений таких критериев нет, а существующие разного рода классификации основаны на различных принципах и для разных целей. Так используемые в нашем городе «Нормы загрязнения донных осадков», подготовленные ОАО «Ленморниипроект» на основе так называемых голландских листов, предназначены для оценки возможности захоронения осадков на свалках грунта или в специальных хранилищах и рассчитаны на ограниченную номенклатуру измеряемых компонентов. Разработка геоэкологических критериев степени загрязнения донных осадков для целей мониторинга является одной из наиболее насущных задач ближайшего будущего.

Features of a methods of carrying out of geochemical monitoring of bottom sediments on the shelf are considered in the presentation. Components of mistakes of an estimation of geochemical structure of deposits are analyzed. The conclusion about necessity of development of harmonous classification of estimated parameters is made. Prospects of development of geochemical monitoring are considered and the conclusion about necessity of gradual transition from discrete supervision to continuous monitoring with use of bottom stations is made.

А.Е. Рыбалко[1], Н.К. Федорова[1], А.А. Максимов[2]
([1]ФГУНПП «Севморгео», e-mail rybalko@sevmorgeo.com, [2]Зоологический институт РАН, e-mail maximov@zin.ru)

Влияние гидротехнических работ на формирование геохимической структуры донных осадков (на примере восточной части Финского залива в 2006-2008 гг.)

A.E. Rybalko, N.K. Fedorova
(State company "Sevmorgeo", e-mail rybalko@sevmorgeo.com)

Influence of hydraulic engineering works on forming of geochemical structure of bottom sediments (the Eastern Gulf of Finland in 2006-2008)

Подводные гидротехнические работы являются одним из наиболее активных антропогенных факторов воздействия на экосистему морей. Прежде всего, это связано с изменением донного рельефа и возникновением мощных седиментационных потоков, которые оказывают непосредственное воздействие на условия обитания биоты, а также устойчивость берегов. Менее известно влияние этих процессов на формирование геохимической структуры осадков.

В 2006-2008 годах в Невской губе Финского залива проводились активные гидротехнические работы, связанные со строительством нового пассажирского порта на Васильевском острове. Строительство предусматривает строительство глубоководного порта, способный принимать круизные лайнеры с осадкой до 12 м, намыв новых городских территорий для гражданского строительства. Общий объем дноуглубительных работ оценивается в 18 млн.м^3, из них в 2006 году было выполнен подъем грунта объемом около 12 млн.м^3. Работы выполнялись с помощью высокопроизводительной голландской техники. Отдельные землесосы обеспечивали производительность до 70 тыс. м^3/сут. В результате работ в акватории были достигнуты отметки в -11,0м. Одновременно велись работы по реконструкции Морского канала, вормированию походных каналов к Константиновскому дворцу, строительству нового городского стадиона на петровском острове и жилого комплекса «Балтийская жемчужина» на намываемых территориях на южном побережье Невской губы. Результатом столь грандиозных гидротехнических работ было появление огромного количества взвешенного материала различного происхождения. Измерения мутности показали, что весной 2006 года максимальные значения мутности составляли 91 FTU и отмечались вдоль южного берега. В августе и октябре произошло повышение мутности и изменение других физических и химических параметров водной толщи. В летний период практически по всей акватории отмечались аномально высокие показатели мутности (от

100 до 413 единиц FTU), а в октябре они доходили до 1000 ед. FTU. В последующие годы высокий уровень взвешенных веществ сохранялся, хотя поля мутности изменяли свои очертания и со временем сдвинулись в западную часть Невской губы, концентрируясь вдоль южного и, особенно, северного створов Комплекса защитных сооружений между Бронкой (южное побережье) и Горской (северное побережье). Выполненные в 2008 году измерения взвешенных частиц в толще воды показали, что на отдельных станциях она превышала 60 мг/л, что в 6 раз выше уровня загрязнения. Состав взвеси был, главным образом, минеральный. Количество взвешенного органического материала не превышало 10%.

Источником взвеси являлись: поверхностный слой донных осадков и подстилающие их литориновые морские и позднеледниковые ледниково-озерные осадки. На большей части проведения дноуглубительных работ поверхностные отложения представлены песчанистыми разностями с содержанием фракции <0,01 мм 10-15%. Песчанистый состав имеют и литориновые отложения, слагающие цоколь всех островов Невской псевдодельты. Только в западной части Морского канала поверхностный слой осадков представлен алевропелитовыми разностями с содержанием тонкозернистых частиц 30-50%. Мощность поверхностного слоя в среднем составляет 1 м, хотя может достигать и первых метров, а также всего 10-20 см. Значительную часть разреза вскрытого разреза составляют ледниково-озерные глины, содержание фракции <0,01мм в которых превышает 60%. Поверхностные осадки обычно загрязнены, особенно ярко это проявляется для нефтепродуктов, уровень концентраций которых на большинстве станций по данным федерального мониторинга превышает лимит загрязнения. Литориновые осадки и ледниково-озерные глины содержат все токсические вещества в фоновых концентрациях, но последние обладают высокими сорбционными свойствами из-за тонкодисперсности и наличия глинистых минералов. Именно лимногляциальные глины и дали огромное количество взвеси, которое в течение всего периода наблюдений фиксировалось в Невской губе. Ее осаждение привело к существенному изменению полей литотипов донных осадков. С одной стороны расширились поля алевропелитовых осадков, а с другой – в них возросло содержание фракции <0,01мм. При этом большое количество взвеси в мелководном бассейне привело к снижению содержания свободного кислорода в придонных слоях воды, что, в свою очередь, сказалось на деградации зоны окисления и усилении инфильтрации загрязняющих компонентов из донных отложений в придонные слои воды. Именно с этим обстоятельством связан рост концентраций меди в придонных водах, который наблюдался с 2006 года и продолжился в 2007 году. В донных осадках, которые, являясь депозитной средой, накапливают в себе большинство поллютантов, уровень загрязнения оказался существенно выше. В них резко возрос уровень концентраций нефтеуглеводородов,

причем максимум его отмечался осенью 2007 г. Очень велико суммарное содержание тяжелых металлов. Наибольшие концентрации наблюдались в карьерах северной Лахты, у входа в дамбы Морского порта и в 5-ти метровой депрессии в западной части губы. Таким образом, увеличение глинистости донных осадков приводит к возрастанию в них тяжелых металлов, нефтепродуктов, а также стойких органических загрязнителей, в том числе бензопирена, ПАУ и других, которые раньше, по данным мониторинга, либо отсутствовали, либо встречались в существенно меньших количествах. Их появление связано, на наш взгляд, с разработкой под акваторию будущей гавани части береговой зоны Васильевского острова, которая сложена как намытыми песками, так и частично за счет свалки отходов, которым поднимали поверхность острова в 60-х годах прошлого столетия. В итоге изменение геохимической структуры осадков явилось следствием нескольких последовательных процессов: 1 - разработка дна, включая загрязненный слой поверхностных осадков и незагрязненные подстилающие тонкодисперсные осадки, а также берега, сложенного частично загрязненными отложениями; 2 - образование большого количества тонкодисперсной взвеси, сорбирующей на своей поверхности загрязняющие компоненты; 3 - деградация зоны окисления из-за большого количества взвеси, что приводит к инфильтрации токсических веществ из донных осадков в придонные воды; 4 - осаждение взвеси, существенно загрязненной токсическими веществами.

Избыточное число взвеси в небольшой по размеру акватории Невской губы с явно выраженным сточным режимом привело к тому, что в 2007–2008 гг. резко усилился вынос взвешенного материала из Невской губы в прилежащую часть Финского залива. Следствием этого явилось резкое снижение прозрачности вод на Шепелевском плесе, а также высокие концентрации нефтепродуктов у северного берега залива, превышающие 1 мг/кг. В этом же районе были также установлены высокие (около 60 ppm) концентрации свинца и кадмия.

Таким образом, в результате техногенно инъецированного седиментационного процесса существенно изменилась геохимическая структура донных осадков, при этом в качестве субстрата осадков с высоким содержанием поллютантов являлась первично чистая взвесь ископаемых ледниково-озерных глин.

Influence of large-scale hydraulic engineering works in the Neva Bay in 2006-2008 on geochemical structure of bottom sediments is considered. Dredging more than 12 million м^3 bottom deposits have led to forming of huge amount of a suspension which significant part it was formed by mining of limnoglacial clays. This suspension sorbed polluting substances. At its sedimentation the silty-clay deposits polluted by hydrocarbons, heavy metals and proof organic pollutants have formed.

А.С. Саввичев[1], Н.А. Демиденко[2], И.И. Русанов[1], Е.Е. Захарова[1], М.В. Иванов[1]
([1]Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН, e-mail:savvichev@mail.ru, Москва, [2]Государственный Институт Океанографии, Москва)

Биогеохимические процессы в заливе Долгая-Восточная губа до начала строительства Северной приливной электростанции

A. Savvichev[1], N. Demidenko[2], I. Rusanov[1], E. Zakharova[1]. M. Ivanov[1]
([1]Winogradsky Institute of Microbiology RAS, Moscow, [2]Institute of Oceanography, Moscow)

Biogeochemical processes in a gulf Dolgaya-East prior to the beginning of building of tidal power station

Необходимость ограничения использования углеродного топлива заставляет мировое сообщество ускорять поиск альтернативных источников получения электроэнергии. К числу таких источников относятся приливные электростанции (ПЭС). Россия относится к трем лидерам разработки ПЭС, включая Францию и Великобританию. Именно в России и Франции почти одновременно были построены и пущены в эксплуатацию опытные ПЭС. Приливная электростанция в губе Кислой Баренцева моря стала международно признанным полигоном проведения комплексных исследований экологической безопасности приливной энергетики. На ней выполнены десятки разнообразных исследований, в том числе и по изучению экологических последствий строительства и эксплуатации ПЭС, выраженных в нарушении естественного режима приливов и течений, движения наносов, термического и ледового режима, гидрохимических и гидробиологических условий и т.д. [1].

Многолетний опыт наблюдений за ПЭС в губе Кислой Баренцева моря и ПЭС Ранс на атлантическом берегу Франции [1, 2] указывает на то, что строительство и эксплуатация Северной ПЭС может повлечь изменение состояния водного бассейна Долгой-Восточной и прилегающих территорий.

Одним из наиболее вероятных негативных изменений может оказаться сероводородное заражение придонного водного слоя, связанное с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий. Активизация процесса сульфатредукции описана для различных морских бассейнов в разной степени изолированных от открытого моря. Стабильная сероводородная зона водной толщи существует в меромиктическом озере Могильное, отделенном от моря узкой перемычкой из валунов и гравия, через которую фильтруется морская вода [3], в Фрамварен фиорде в южной Норвегии [4], в верхнем бассейне губы Ивановской. Сероводородное заражение характерно также для искусственно отделенных морских акваторий, таких как бассейн

Канда-губа в Кандалакшском заливе Белого моря [5]], а также губу Долгую (Глубокую) на Соловецком острове, в 1856 году отделенную от Онежского залива искусственной дамбой. Наиболее яркий пример быстрого изменения экологической ситуации связан с нарушением технологического режима эксплуатации Кислогубской ПЭС в период с 1974 по 1982 г., а именно снижением водообмена с морем до 2-3% [1]. Ограничение водообмена привело к сильному распреснению поверхностного 15 метрового слоя и появлению сероводорода на глубине ниже 20 м, что привело к массовой гибели бентосных животных.

Сульфатредуцирующие бактерии не ограничивают перечень анаэробных микроорганизмов, участвующих в трансформации органических соединений. В анаэробных условиях образование метана обеспечивают метаногенные археи, участвующие, наряду с сульфатредуцирующими бактериями, в терминальной фазе разложения органического вещества [3].

Целью настоящего исследования было получение объективных количественных характеристик биогеохимических процессов циклов углерода и серы в водной толще и донных осадках губы Долгой Восточной до начала строительства Северной ПЭС. Ранее микробиологические и биогеохимические исследования в губе Долгой не проводились.

Материалы для исследований получены в августе 2008 г. в коротком рейсе МРБ «Ростислав». Исследован продольный водный профиль губы Долгая от кутовой части до морского порога. Отбор проб воды проводили батометром Нискина, донные осадкив отбирали лимнологическим стратометром. Все эксперименты с водой и осадками проводили в первый час после отбора проб. Интенсивности микробных процессов метаногенеза и сульфатредукции определяли радиоизотопным методом. Для детекции сульфатредуцирующих бактерий и метанобразующих архей использовали метод молекулярной диагностики (real-time PCR).

Губа Долгая Восточная расположена в южной части Баренцева моря в Мурманской области. Губа вдается в восточную часть побережья Кольского полуострова на расстояние 5.5 км и представляет собой удлиненный фьордоподобный залив (фиард). Устье залива открытое, шириной около 800 м и глубиной до 30 м, в вершине залив расширяется до 1.5 км. Средняя ширина акватории составляет 0.65 км, средняя глубина – 40.7 м, максимальная – 96 м. В южной части в фиард впадает р. Долгая и ручей, который обсыхает в малую воду. Акватория залива при уровне полной воды занимает 5.6 км^2.

Проведенные исследования показали, что слабо опресненный слой водной толщи (32,6‰) соответствует поверхностным пяти метрам. Гало- и термоклин выражены слабо и находятся на глубине 20 – 30 м (табл. 1).Ниже температура понижается, а соленость повышается, достигая в придонном горизонте 3.5^{0}С и 35.05 епс, соответственно.

Таблица 1. Гидролого-гидрохимические характеристики вод губы Долгая Западная по результатам съемки в июне и августе 2008 года

№ станции	Гори-зонт, м	T °C	S (епс)	O_2 (мг/л)	O_2 (%)	CH_4 (нл/л)
7	0	11.60	32.66	10.86	123	81
	5	9.25	34.18	10.50	114	90
	10	8.50	34.31	10.27	109	137
	15	8.20	34.35	10.50	111	160
	20	8.05	34.38	10.74	113	144
	25	6.70	34.54	10.44	107	137
	30	5.49	34.60	10.38	103	105
	50	4.10	34.63	9.44	91	72
	75	4.10	34.67	9.09	88	61
	90	3.90	34.83	8.85	85	82
	92	3.80	35.02	8.67	83	95
	93	3.80	35.05	7.67	73	160
11	0	10.20	32.83	10.97	120	88
	30	4.10	34.35	9.56	92	57
	68.2	3.80	34.43	9.44	90	95
12	0	9.85	33.44	10.92	119	76
	30	5.70	34.18	10.50	105	70
	58.2	3.50	34.62	9.74	92	82
17	0	17.0	19.0	8.5	99	450

Содержание кислорода в поверхностном слое соответствовало 10.1 – 10.9 мг/л, глубже концентрация O_2 снижалась вплоть до 7.67 мг/л в придонном слое. Концентрация растворенного метана в поверхностном водном слое было близким к равновесному с содержанием в приводной атмосфере; локальные максимумы отмечены в слое термоклина, а также в узком придонном слое (табл. 1).

Интенсивность фотосинтеза была максимальной в верхних десяти метрах (9.9 – 11.7мкг С $л^{-1}$), далее постепенно снижаясь до минимальных значений (0.38 мкг С $л^{-1}$) на 30 м. Суммарная продукция фотосинтеза соответствовала 215 мг С $м^{-2}$, что позволяет считать исследуемый залив мезотрофным водоемом. Общая численность бактериопланктона в поверхностном горизонте была достаточно высокой – 570–760 тыс. кл. $мл^{-1}$; с 20 м начиналось ее снижение с 470 тыс. кл. $мл^{-1}$ до 200 тыс. кл. $мл^{-1}$. В наддонной воде в 10-20 см над поверхностью осадка численность бактерий увеличивалась до 680 тыс. кл. $мл^{-1}$. Интенсивность темновой CO_2 ассимиляции (ТАУ), являющаяся показателем общей (автотрофной и гетеротрофной) микробной активности, также была максимальной в водном слое от поверхности до 20 м. Глубже величина ТАУ резко снижалась и

оставалась почти постоянной (0.10 – 0.20 мкг С $л^{-1}$) вплоть до наддонного слоя. Все изученные характеристики свидетельствуют о том, что в бассейне фиарда интенсивность продукции фито- и бактериопланктона умеренная, причем реальная активность процессов приходится на поверхностный слой, зону термоклина, а также придонную воду.

Донные отложения наиболее глубоких впадин губы Долгой были представлены алевритовыми осадками с примесью песка. Окислительно восстановительный потенциал варьировал от +80 до +140 мВ. В табл. 2 представлены данные скоростей процессов сульфатредукции и метаногенеза, вызываемых облигатно анаэробными бактериями и археями.

Таблица 2. Интенсивность микробных процессов в донных осадках губы Долгая Восточная в августе 2008 г

№ станции	Горизонт, м	Eh, мВ	[CH_4,] мкл $дм^{-3}$	ТАУ, мкг С $дм^{-3}$ $сут^{-1}$	МГ, мкл CH_4 $дм^{-3}$ $сут^{-1}$	СР, мкг S $дм^{-3}$ $сут^{-1}$
7	0-1	120	19	253	0.89	13.5
	2-6	100	23	356	1.99	171
	6-10	80	21	364	1.87	46

Интенсивность этих процессов соответствовала средним значениям, характерным для прибрежных осадков морей западного сектора Арктики. Методом молекулярно-биологической диагностики показано, что анаэробные микроорганизмы поверхностного слоя (0-6 см) донных отложений были представлены бактериями и археями родов Desulfovibrio (100 ед), Methanosarcina (10 ед), Methanogenium (1 ед.) и Methanobacterium (0.1 ед., неустойчивая детекция).

На восточном берегу к губе Долгой Восточной примыкает мелководное озеро Соленое, имеющее ограниченную связь с заливом. В осадках этого озера показана высокая интенсивность анаэробных процессов сходная с показателями, характерными для осадков литорали Белого моря. Это свидетельствует о том, что качество и количество аллохтонного и автохтонного органического вещества не ограничивают активность деструкционных процессов.

Проведенные нами исследования показали, что в течение летнего сезона в водной толще и донных осадках бассейна Долгой Восточной не обнаружено реальной меромиксии и геохимически значимой активности процессов, вызываемых анаэробными микроорганизмами. Однако анализ ситуации позволяет предположить, что при значительном сокращении водообмена в бассейне ПЭС будут инициированы процессы накопления в поверхностном слое осадка органического вещества взвеси, что приведет к усилению активности процессов сульфатредукции и метаногенеза.

Анаэробная обстановка в большей или меньшей степени распространится в придонный слой водной толщи, что изменит состав бентосного сообщества.

Текст настоящей статьи не является призывом к отказу от строительства Северной ПЭС. Инженерное решение конструкции дамбы должно учитывать максимальное сохранение естественного водообмена и необходимость регулярного промыва изолированного бассейна. Публикуемые данные станут начальной точкой отсчета прогнозируемых изменений в функционировании микробного сообщества губы Долгая Восточная. Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ 08-04-00248-а, 09-04-10035-к, МКБ Президиума РАН и ВНШ 4174.2008.4.

1. Марфенин Н.Н., Малютин О.И., Пантюлин А.Н., Перцова Н.М., Усачев И.Н. Влияние приливных электростанций на окружающую среду. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1995. 125 с.
2. Clavier J., Lechapt J.-P., Retiere Ch., Rivain V. Effects a long terme du fonctionnement de l'usine maremotrice sur l'evolution du peoplement des sables fins vaseux de la Rance //Oceanologica Acta. 1983. N SP. P.75–79.
3. Иванов М.В., Русанов И.И., Пименов Н.В., Байрамов И.Т., Юсупов С.К., Саввичев А.С., Леин А.Ю., Сапожников В.В. Микробные процессы циклов углерода и серы в озере Могильном // Микробиология. 2001. Т. 70. № 5. С. 675–686.
4. Dyrssen D.W., Hall P.O.J., Haraldsson C. Time dependence of organic matter decay and mixing process in Framvaren, a permanental anoxic fjord in South Norway // Aquatic Geochem. 1996. V. 2. P. 111–129.
5. Семенов В.Н. Систематика и экология морских бассейнов Севера на разных этапах изоляции. - Апатиты, Изд-во ММБИ КФ АН СССР, 1988, 46 с.

The gulf Dolgaya is perspective object for building tidal power station. The priority data quantitatively characterising rate of microbial processes of carbon and sulphur cycles are obtained. As a result of the spent researches in the deposits microbial sulphatereducing and methanogenic processes. Data of researches become an index point of readout of predicted changes in functioning of microbial community.

В.В. Сорокина[1], С.В. Бердников[1]
([1] Учреждение Российской академии наук Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: sorokina@mmbi.krinc.ru)

Изучение причин увеличения концентрации органического углерода в экосистеме Азовского моря

V.V. Sorokina[1], S.V. Berdnikov[1]
([1]Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don)

Reasons of organic carbon concentration increase in the Azov Sea ecosystem

Климатические изменения последних десятилетий связывают с ростом концентрации парниковых газов (CO_2, CH_4 и др.) в результате сжигания ископаемого топлива. С другой стороны климат и антропогенная деятельность влияют на потоки углерода в системе «атмосфера-суша-океан», изменяя уровни его накопления в различных средах. Это очень сложная система с большим количеством положительных и отрицательных обратных связей, которые изучены недостаточно.

Для морей России и Европы: Балтийского, Белого, Баренцева, Карского, Чукотского, Азовского отмечена общая тенденция увеличения отдельных компонентов цикла углерода (первичной продукции, масштабов захоронения органического углерода в донных отложениях) [1-5 и др.].

Мелководное (максимальная глубина – 14,5 м) Азовское море относится к внутриконтинентальным морям, где взаимодействие трех сред (атмосферы, гидросферы и литосферы) проявляется наиболее интенсивно. Экосистема Азовского моря чутко и быстро реагирует на изменение внешних условий, таких как сток рек, параметры климата и пр. и может использоваться в качестве модельного объекта для изучения закономерностей функционирования прибрежных, акваторий в условиях современных климатических изменений и антропогенных воздействий.

Целью настоящей работы является изучение причин увеличения концентрации органического углерода в экосистеме Азовского моря.

Исследования Южного научного центра РАН (ЮНЦ РАН) последних лет выявили здесь следующие фундаментальные проблемы.

1) В период 1992–2006 гг. отмечен рост содержания $C_{орг}$ в донных отложениях на 30–50% по отношению к периоду 1971–1987 гг. Эти изменения связывают с увеличением первичной продукции в море и, соответственно, потока органического вещества на дно [5, 6]. При этом в качестве причины роста первичной продукции сначала считали вселение в Азово-Черноморский бассейн гребневика Mnemiopsis leidyi (A. Agassiz) затем снизившуюся химическую нагрузку на Азовское море. При этом приток биогенных элементов в этот период существенно не увеличился.

Азовское море находится в семиаридной климатической зоне.

Концентрация органического вещества в донных отложениях моря ниже, чем в морях гумидного климата. Основной причиной сравнительно невысокого содержания $C_{орг}$ в донных отложениях является его разбавление терригенным и биогенным (карбонатным) материалом [7]. В результате выполненного цикла работ [8-11] показано, что уменьшение общей интенсивности терригенной седиментации в результате сокращения в 2,5 раза объема поступающего с суши вещества, может быть одной из основных причин относительного увеличения $C_{орг}$ в осадках.

Во второй половине XX века для региона Азовского моря наиболее значимыми являются следующие климатические тенденции – снижение солености моря ниже среднемноголетней нормы, незначительные положительные тренды для температуры воздуха, ветровая депрессия, увеличение увлажненности, увеличение площадей «теплых» полей воды для зимнего и весеннего сезонов и увеличение «холодных» - для осеннего и др. Такие климатические изменения (температура, баланс влаги), приводящие к смещению условий седиментогенеза от аридных к гумидным и наоборот, могут быть другим фактором изменения как относительного, так и абсолютного содержания органического вещества в воде и донных осадках.

2) Наши исследования содержания растворенного органического углерода (РОУ) в Азовском море, проведенные в 2005-2009 гг. на анализаторе multi N/C 3100 фирмы Аналитик Йена (Германия), показали увеличение его концентрации почти в два раза по сравнению с данными 1950-1980-х гг. [12, 13]. Такое значительное различие можно лишь частично объяснить применением разных методик определения РОУ в морских водах (недоучёт летучих органических фракций при выпаривании проб перед анализом в ранее проведенных исследованиях). Другими факторами изменения концентрации РОУ в море может быть климатообусловленное уменьшение солености (начиная с 1987 г.), рост первичной продукции, процессы на водосборе (сельское хозяйство, эрозия, уменьшение содержание гумуса и др.), загрязнение сточными водами. В этой связи исследование содержания и состава растворенных органических веществ в море мы постарались увязать с изучением продукционно-деструкционных процессов в экосистеме моря и анализом изменений его внешних потоков.

Разработана детализированная схема описания потоков углерода (в общем виде она представлена на рисунке 1), выделены основные внешние факторы, в том числе климатообусловленные, лимитирующие факторы, описаны основные процессы и направления трансформации органического вещества в экосистеме Азовского моря.

Для изучения пространственно-временной изменчивости величины первичной продукции в настоящее время ведутся работы совместно с коллегами (A. Gitelson и др.) из Университета Небраска (University of Nebraska-Lincoln, USA). Проводится калибровка и валидация новых моделей (алгоритмов) для оценки концентрации хлорофилла-а (chl-a) в

продуктивных и мутных прибрежных и эстуарных водах (т.н. водах второго типа) на основе спутниковых снимков, получаемых цветными сканерами MODIS и MERIS.

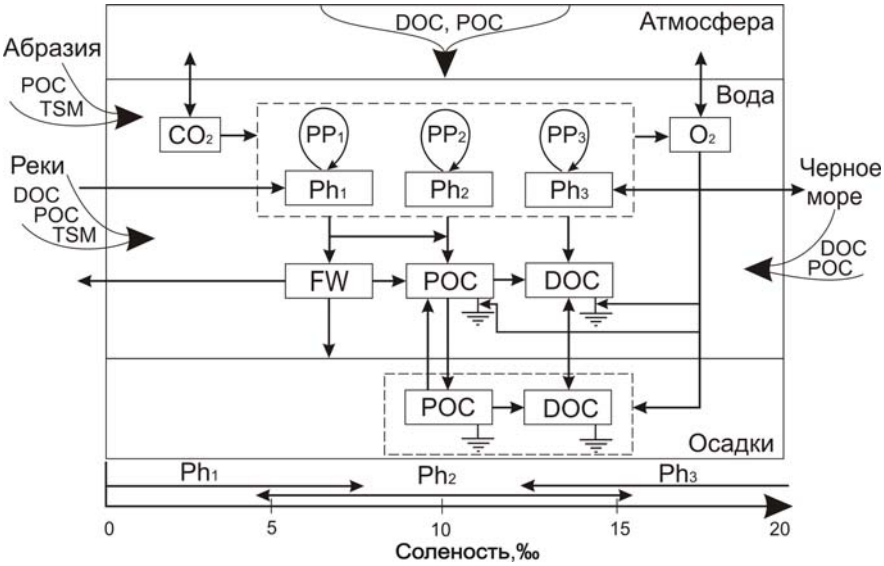


Рис. 1. Общая схема потоков углерода в экосистеме Азовского моря. Ph_1, Ph_2, Ph_3 – функциональные группы фитопланктона, существующие в разных диапазонах солености; PP – первичная продукция; DOC – растворенный органический углерод; POC – взвешенный органический углерод; TSM – общее взвешенное вещество (пять фракционных групп).

1. Максимова, М.П. Изменение характеристик органического вещества в Белом море за 26-летний период (1956-1982 гг.) / М.П. Максимова // Природная среда и биологические ресурсы морей и океанов. – Л.: Географ. о-во СССР, 1984. – С. 121-122.
2. Максимова, М.П. Сравнительная гидрохимия морей / М.П. Максимова // Новые идеи в океанологии. – М.: Наука, 2004. – С. 164-189.
3. Бергер, В.Я. Продукционный потенциал Белого моря. Исследования фауны морей / В.Я. Бергер. Т.60 (68). – СПб.: ЗИН РАН, 2007. – 292 с.
4. Ветров, А.А. Межгодовая изменчивость первичной продукции и потоков органического углерода в Арктических морях России / А.А. Ветров, Е.А. Романкевич // Океанология. – 2008. – Т.48, №3, – С.371-380.
5. Толоконникова, Л.И. Содержание органического вещества в донных отложениях Азовского моря / Л.И. Толоконникова, Е.И. Студеникина // Сб. науч. тр. АзНИИРХа «Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна». – Ростов-на-Дону, 1998. – С. 100–103.

6. Федоров, Ю.А. Закономерности распределения Сорг в донных отложениях российской части Азовского моря / Ю.А. Федоров [и др.] // Океанология. – 2009. – Т.49, №2, – С. 229-236.
7. Хрусталев, Ю.П. Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны / Ю.П. Хрусталев. – Л.: Наука, 1989. – 261 с.
8. Сорокина, В.В. Особенности терригенного осадконакопления в Азовском море во второй половине XX века: дис…канд. географ. наук : 25.00.28 : защищена 07.09.06: утв. 08.12.06 / Сорокина Вера Владимировна. – Ростов-на-Дону, 2006. – 198 с.
9. Сорокина, В.В. Динамика стока на устьевых участках рек Дон и Кубань во второй половине XX века / В.В. Сорокина, О.В. Ивлиева, П.М. Лурье // Вестник южного научного центра РАН. – 2006. – Т. 2. № 2. –С. 58– 67.
10. Сорокина, В.В. Математическое моделирование терригенного осадконакопления в Азовском море / В.В. Сорокина, С.В. Бердников // Океанология. Ивлиева О.В., Сорокина В.В. 2008. – Т.48, № 3. – С. 456-466. [Oceanology 48 (3), 440-449 (2008)].
11. Ивлиева, О.В. Поступление эолового материала на акваторию Азовского моря / О.В. Ивлиева, В.В. Сорокина // Современные проблемы аридных и семиаридных экосистем юга России: Сборник научных статей/ Отв. ред. Г.Г. Матишов. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2006. – С. 493-504.
12. Дацко, В.Г. Органическое вещество в водах южных морей СССР. / В.Г. Дацко. – М.: Изд. АН СССР, 1959. – 271 с.
13. Артемьев, В.Е. Геохимия органического вещества в системе река-море. / В.Е. Артемьев. М.: Наука, 1993. – 204 с.

Field observations in the Azov Sea showed increase of dissolved organic carbon concentration in the water and organic carbon content in the bottom sediments. The main hypothesis describing recent changes in organic carbon in the Sea ecosystem are discussed; first results to confirm our hypothesis are demonstrated.

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

Карбонаты и восстановленная сера в осадках Черного моря как критерии ионного баланса его вод

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

Carbonate and reduced sulfur in sediments of the Black Sea as criteria of ion balance of its waters

Несмотря на то, что Черное море (ЧМ) относится к числу наиболее хорошо изученных водоемов, по величине его водобмена со Средиземным морем нет единого мнения. Так по ежегодному объему Нижнебосфорского течения (НБТ) есть, грубо говоря, две величины 170-180 – отечественные данные (Черное море, 1992) и 312-300 км^3/год в работах с участием турецких ученых (Unlata et al, 1990). (Далее слово год для экономии места указывать не будем). Основной причиной таких различий выступает объем пресных осадков и испарения. В обоих случаях был получен не только водный, но и солевой баланс водной системы Дарданелы-Босфор, но низкие значения были подкреплены также физическими измерениями объема вод, текущих непосредственно в ЧМ (Богданова, 1969). Но именно высокие значения объема НБТ почему-то получили широкое признание у американских, а также у некоторых русскоговорящих ученых.

По нашему мнению, оценить водообмен ЧМ со Средиземным, причем обмен средний, за период порядка 100 лет, можно основе баланса ионов основного солевого состава. Есть еще одно преимущество такого подхода: основное количество солей приносится реками, а речной сток хорошо измеряется и по данным разных авторов почти совпадает (см. табл.1), поэтому ионный баланс слабо зависит от объема других пресных вод – осадков и испарения.

Таблица 1. Водный баланс Черного моря по разным данным.

Приход	Скоп	Рож	Гор	Унл	Расход	Скоп	Рож	Гор	Унл
Реки	346	294	336	352					
Осадки	119	254	241	300	Испарение	332	301	379	353
Из Азов м	53	38	49.5	-	В Аз м	32	29	33.5	-
НБТ	176	229	169	312	ВБТ	340	485	385	612
Итого	694	815	795.5	964	Итого	704	815	797.5	965

Вопросы ионного баланса ЧМ рассматривались в 80-е годы Б.А. Скопинцевым и А.В. Рождественским, но у них есть существенные недостатки, поэтому мы составили новый ионный баланс ЧМ (см. Табл. 2). Основные его отличия от прежних: 1) здесь учтен ионный вынос не только больших, но и примерно 50 малых рек, 2) учтено, что в проливах

Дарданеллы и Босфор происходит смешение исходных вод Эгейского и Черного морей, так что вода НБТ содержит примерно 20% воды ЧМ, 3) В отличие от обычных уравнений баланса мы не использовали фиксированных объемов НБТ и ВБТ, а получили их из следующих соображений: 1. Принимаем условие стационарности и полного баланса по хлору (хлор является основным солеобразующим ионом морской воды, но составляет минимальную компоненту минерализации пресных вод). 2. Аналогично по магнию, так как он практически не содержится в карбонатных осадках биогенного происхождения.

Проверка баланса делается по сопоставлению полученного дисбаланса карбонатов и сульфатов с количеством захораниваемых в осадках карбонатов и восстановленных соединений серы. Это сопоставление и есть основная цель доклада.

Таблица 2. Исправление ионного баланса Черного моря по данным (Скопинцев, 1975).

Воды	Вес, $т*10^9$	Ca, Мт	Mg, Мт	Na, Мт	HCO_3, Мт	SO_4, Мт	Cl, Мт
Все реки	346.7	17.963	4.183	6.509	60.432	14.408	7.417
Осадки	241	1.397	0.419	2.115	4.907	3.737	1.083
Из Азов.м.	18.8	0.884	0.278	0.665	3.751	1.768	1.544
НБТ	180.8	74.902	230.464	1975.544	30.285	481.274	3435.20
ВБТ	346.255	84.488	235.251	1978.541	69.079	485.392	3445.244
Дисбаланс	-	10.66	0.09	6.3	30.3	15.8	0

Недостатки баланса (Скопинцев, 1975): предполагается осолонение моря (имеется дисбаланс по хлору в 24 Мт, чему должен был бы соответствовать дисбаланс магния 1.6 Мт), не учтено поступление ионов с осадками, не учтено смешение вод Черного и Средиземного морей в проливах. В нашем случае объем НБТ найден при условии точного баланса и по хлору, и по магнию, поэтому наш баланс представляется более строгим.

Насколько полученный нами избыток $CaCO_3$ в 26.6 Мт соответствует реальному отложению карбонатов. ЧМ очень хорошо изученный бассейн, однако мы не нашли в литературе детального подсчета – какая часть растворенных карбонатов откладывается ежегодно в осадках. Ловушки (Honjo et al, 1987) дают нижнюю границу (с учетом возможного недолова) поступления карбоната примерно 1.8 Мт $CaCO_3$ (для центральных халистаз моря), что очень мало по сравнению с нашим расчетом. Абсолютные массы $CaCO_3$ по данным (Страхов, 2008) меняются от 6-7 г/см^2 в центре до более 50 г/ см^2 на восточных и южных склонах моря или в среднем 19 г/ см^2 (наше усреднение), т.е. 13 Мт на все море, что также представляется заниженной величиной.

Другой порядок величин следует из оценки (Shimkus, Trimonis, 1974) – примерно 30 Мт карбонатного материала поставки на дно только кокколитофоридами.

Мы сделали собственный подсчет по результатам рейса Атлантис-2 1969 г. в ЧМ (Degens, Ross, 1974). Для этого использовалась карта скорости отложения осадков, а также данные по карбонатности самого верхнего слоя колонки. Считая плотность осадка 1.3 г/см3, мы получили 23.3 Мт $CaCO_3$ для глубоководной части моря. Учитывая, что часть карбонатов отлагается и на шельфе, а также малую точность оценок количеств речного и раковинного карбоната, можно заключить, что наш дисбаланс $CaCO_3$ в 26.6 Мт не противоречит определениям карбонатов в осадках.

Все авторы, включая (Скопинцев, 1975) и (Рождественский, 1986) приравнивают дисбаланс сульфатов дисбалансу сульфидов, т.е. частичному захоронению соединений восстановленной серы (в 15.8 Мт сульфатов содержится 5.3 Мт серы). Сколько восстановленной серы ежегодно откладывается в осадках ЧМ? По расчету (Леин, Иванов, 1983) с использованием данных по количеству и скорости отложения осадков и содержанию в них восстановленной серы получена величина 2.4 Мт.

Скорость отложения серы была также получена (Neretin et al, 2001) при составлении баланса сульфидов. Здесь принято, что общее количество образующейся серы пирита, включая часть, оседающую из верхней части сероводородной зоны, составляет 1.0 Мт и (это следует отметить особо) примерно 0.2 Мт H_2S образуют диффузионный поток в осадок. Таким образом, дисбаланс серы сульфидов получается 1.0-1.2 Мт, что меньше, чем в (Леин, Иванов, 1983).

Других представлений об обмене вода-дно H_2S придерживаются (Безбородов, Еремеев, 1993), а именно, что значительный поток H_2S (8.9 Мт) направлен из воды в осадок. Тогда с учетом образования пирита дисбаланс серы составил бы около 10 Мт, что в 2 раза больше, чем в табл. 2. Нами показана ошибочность таких расчетов потоков H_2S.

Нами проведена коррекция расчета баланса сульфидов (Леин, Иванов, 1983) и получена величина дисбаланса серы 1.6 Мт или в пересчете на сульфаты – 4.8 Мт.

Дисбаланс, полученный нами, а также (Скопинцев, 1975) и (Рождественский, 1986) гораздо больше. Мы предполагаем, что причина этого в пренебрежении антропогенным вкладом в поступление сульфатов с речными и дождевыми водами. По подсчетам (Иванов, 1983) в 60-70 гг. он примерно равнялся естественному поступлению сульфатов. Внеся эту поправку в Табл. 2 для Черного и Азовского морей, получаем дисбаланс сульфатов не 15.8, всего 6.7-5.0 Мт. Соответствие с нашим расчетом кажется вполне приемлемым, учитывая приблизительность выше приведенных оценок.

Таким образом, наш расчет ионного баланса Черного моря и полученного на его основе объема Нижнебосфорского течения подтверждается отложениями карбонатов и соединений восстановленной серы в осадках моря.

New ion balance of the Black Sea with accounting of small river waters is constructed. The input water through Bosporus – 174 km^3/y is received on the base of precise balance of chloride and magnesium ions. The quantities of carbonate and reduced sulfur in sediments are calculated by author on literature data. They confirm correctness of the ion balance.

А.Н. Сутурин, О.А. Тимошкин, Н.Н. Куликова, Л.Ф. Парадина, С.М. Бойко, Е.В. Сайбаталова.
(Лимнологический институт СО РАН, Иркутск. E-mail: san@lin.irk.ru)

Влияние биогеохимических процессов в литорали оз. Байкал на биопродуктивность и биоразнообразие

A.N. Suturin, O.A. Timoshkin, N.N. Kulikova, L.F. Paradina, S.M. Boiko, Ye. V. Saibatalova.
(Limnological Institute SB RAS, Irkutsk.)

The influence of biogeochemical processes in the littoral zone of Lake Baikal on the biological productivity and biodiversity

Высокая продуктивность каменной литорали озера Байкал и биоразнообразие населяющих ее гидробионтов контрастирует с ультрапресным составом байкальской воды. Поступление необходимых биофильных макро- и микроэлементов в аквальные биоценозы может быть обусловлено взаимодействием воды с поступающим в водоем значительным объемом каменного материала. Горные породы подвергаются интенсивной деструкции в результате акватолиза и воздействия бентосных организмов.

Устойчивость минералов горных пород к воздействию на них воды и биоты различна и поэтому горные породы бенча и клифа подвержены конгруэнтному и инконгруэнтному растворению и биодеструкции неодинаково. Интенсивность процессов деструкции пород и извлечения, необходимых для биоты макро - и микроэлементов обеспечивается периодически меняющимися концентрациями в воде углекислоты и кислорода.

Особое значение имеет влияние на биоразложение горных пород литофильных сообществ микроорганизмов и грибов. Особенно интенсивно они воздействуют на минеральные ассоциации, входя в состав симбионтных организмов: губок и лишайников.

Роль микроэлементов в формировании биоразнообразия аквальных биогеоценозов исследована незначительно. Первые данные по микроэлементному составу различных групп бентосных организмов показывает широкий спектр участия в их составе различных элементов и специфику микроэлементного состава не только для отдельных групп гидробионтов: губки, моллюски, амфиподы, лишайники, ручейники и т.д.,

но и для различных стадий их развития. Макро - и микроэлементный состав гидробионтов отражает условия их жизни, характер питания. Минеральный и геохимический состав пород береговой зоны влияет на биодоступность макро- и микроэлементов и соответственно на биоразнообразие и биопродуктивность литорали. Сопоставление трофических цепей и водной миграции элементов показывает характер взаимодействия живых организмов и среды обитания в биогеоценозах каменной литорали водоемов. Эти процессы, доступные для изучения в береговой зоне оз. Байкал, являются общими для крупных озер тектонического генезиса, морей и океанов, значительная часть берегов которых представлены клифами. Биогеохимические процессы на каменной литорали обеспечивают поступление биофильных элементов и интенсивное развитие разнообразных бентосных и планктонных организмов в прибрежной зоне.

Материалы подготовлены при поддержке гранта РФФИ номер 09-05-01139-а «Биогеохимические процессы в аквальных ландшафтах оз. Байкал».

Stony material is in disbalance with Lake Baikal water, whose chemical aggressiveness is the result of the undersaturation in all elements, of the anomalous concentration of gases – oxygen, carbon dioxide, nitrogen, - and their significant daily variations.

Zoo- and phytobenthos is grawn into the process of stony material transformation.The anomalous entering of biophilous elements in ecosystem is the result of the interaction of physical, chemical and biological processes.

Е.И. Тембрел[1], Л.Л. Демина[2], Г.А. Карпов[1]
([1]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский-e-mail: tembrel84@mail.ru, [2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: ldemina@ocean.ru**)**

Биогеохимические особенности аккумуляции микроэлементов биоценозами некоторых термальных источников Камчатки.

E.I. Tembrel[1], L.L. Demina[2], G.A. Karpov[1]
([1]Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, [2]P.P.Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Biogeochemical peculiarities of microelements accumulation by biocenoses of some thermal springs in Kamchatka

Камчатка - уникальный район проявления активного вулканизма и современной гидротермальной деятельности, для которой характерно эпитермальное минерало- и рудообразование молодого возраста. Растворы

многих современных высокотемпературных гидротермальных систем Камчатки несут повышенную минерализацию тяжелых металлов. В наиболее изученном в этом плане Узон-гейзерном геотермальном районе выявлено формирующееся поверхностное сульфидное рудопроявление преимущественно сурьмяно-мышьякового состава и есть предпосылки развития на глубине полиметаллического и золото-серебряного оруденения. Приповерхностное оруденение в кальдере Узон унаследованно развивается на базе микробиальной переработки залежей самородной серы, образовавшейся в фумарольно-сольфатарную стадию газогидротермального процесса. По шлейфу ряда источников обильно развивается альгобактериальное сообщество, которое формирует слоистый водорослевый мат с вертикальным распределением функциональных групп микроорганизмов по слоям. Для всех матов характерно наличие нескольких основных зон, имеющих определенный набор микроорганизмов, с присущим им метаболизмом. Первая верхняя зона, имеющая зеленую окраску, - зона оксигенного фотосинтеза с цианобактериями; вторая - розовато-вишневого цвета - зона аноксигенного (бескислородного) фотосинтеза с пурпурными бактериями; третья - черного цвета - зона анаэробной деструкции с сульфидогенами. Соответственно, эти зоны различаются по температурному режиму, pH, Eh и могут рассматриваться как биогеохимические барьеры, на которых отлагаются минеральные компоненты, выносимые термальными растворами. В ранних наших работах было отмечено накопление ряда микроэлементов в поверхностной зоне альгобактериальных матов [1].

Учитывая большую физиологическую роль тяжелых и переходных металлов, особенно железа и марганца, в жизнедеятельности водорослей, проведено исследование геохимического взаимодействия металлов термальных вод с бактериальным сообществом в процессе прохождения вод по цианобактериальному мату. Пробы термальной воды и контактирующей с ней биомассы альгобактериального мата были отобраны во время полевых работ в 2007г. на Камчатке в кальдере вулкана Узон, на Верхне- и Нижне-Апапельских источниках и на источниках Академии наук. Отбор проб производился непосредственно в истоке термального источника (в начале развития альгобактериального мата) и в конце постройки мата, при этом измерялась температура, pH, Eh раствора. В случае небольшой площади мата отбор проводился один раз. Перед анализом биологический материал высушивали при комнатной температуре, растирали в агатовой ступке и разлагали с помощью концентрированной HNO_3 (MERCK super pure) в СВЧ системе "Speed Wave" (Германия).

Концентрацию тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Cr, Pb, Cd) и металлоидов (As, Sb) в пробах термальных вод, синезеленых и зеленых водорослей определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборах "Квант-2А" (в пламени) и "Квант-Z.ЭТА (в графитовой кювете).

Для контроля правильности анализов использовали отечественные (ГСО) и международные (GSD-3,7) стандартные образцы. Для контроля степени сходимости результатов анализа микроэлементов в термальных водах, при обсуждении результатов исследований использовались данные анализов водных проб, отобранных в разные годы из изученных нами объектов по той же методике и проанализированные на ICP-MS в МГУ им. Ломоносова.

В условиях усиленного притока минерализованных вод из глубины и резкого изменения pH в зоне фотосинтеза в связи с удалением CO_2 на мелководье (где обмен воды невелик и быстрое использование растворенного бикарбоната приводит к нарушению равновесия) возможно отложение минеральных фаз. Наилучшие условия для этого создаются под слоем активно растущих цианобактерий в связи с появлением локальных зон с высоким pH. На изученных нами объектах при протекании термальной воды через альгобактериальные маты наблюдалось понижение температуры (в среднем на 20^0C), при этом кислотность среды уменьшалась (возрастание pH) в среднем на 1.2, окислительно-восстановительный потенциал (Eh) в среднем повышался на 63 мВ.

Проведенные нами работы на термопроявлениях с разным химическим составом терм показали, что полученные значения содержания ряда элементов в термальных водах источников по порядку величин сопоставимы с имеющимися данными. Вариабельность содержания десяти изученных элементов в термальных водах различных источников весьма высока, что отражает геохимическую специализацию вулканогенных гидротермальных систем. Уровни содержания Fe, Mn и As в термальных водах изменяются в зависимости от физико-химических условий источников. Так, в более горячих, щелочных (pH>8,8) и слабо окисленных термальных водах Зеленого ручья источников Академии наук содержание Fe (рис.1) и Mn существенно ниже, чем в восстановленных субнейтральных и слабокислых (pH 5,8-7,7) термофильном и Строматолитовом источников кальдеры вулкана Узон, ручье Горячем, образовавшемся в результате извержения в кальдере Академии Наук в 1996 г.

Напротив, содержание As и Sb в воде опробованных источников Академии наук заметно выше, чем в гидротермах кальдеры Узон (рис.2). Для остальных металлов различия не столь существенны.

Сравнение биоты верхней зеленой и средней красной частей мата показало увеличение в красной части содержания железа, меди, хрома, мышьяка, свинца, кадмия. Содержание марганца почти не изменялось. Концентрация Zn, Co, Sb как увеличивается, так и уменьшается относительно зеленого слоя. Увеличение элементов в красном слое мата с одновременным уменьшением в воде и верхнем слое мата отмечено только для Cr, Fe, Cd. Это обусловлено, очевидно, неодинаковой степенью геохимической подвижности металлов в различающихся по биогеохимическим параметрам средах. Тяжелые металлы извлекаются

водорослями с коэффициентом накопления $\mathbf{F_{нак}}$ от <10 до $5{\cdot}10^5$ в зависимости от геохимических свойств металлов, их биохимической важности для организмов и биогеохимических условий в различных зонах мата. $\mathbf{F_{нак}}$ в матах Зеленого ручья имеет наибольшее значение (от $n{\cdot}10^3$ до10^5) для биохимически важных Fe, Mn, Zn, Cu и Co. В Термофильном ручье, кроме этих металлов, аналогичные высокие $\mathbf{F_{нак}}$ (10^3 -10^5) выявлены для As и Sb, которые являются токсичными элементами. Интересно, что хемоавтотрофные бактерии-эндосимбионты двустворчатых моллюсков *Bathymodiolus,* обитающие в глубоководных гидротермальных рифтовых зонах Срединно-Атлантического хребта концентрируют из воды биотопа как важные для них Fe, Cu, Zn, так и токсичную Hg в 10^3- 10^6 раз [2], т.е. в масштабах, близких к синезеленым водорослям. Очевидно, оба типа этих организмов выработали стратегию детоксикации вредных металлов.

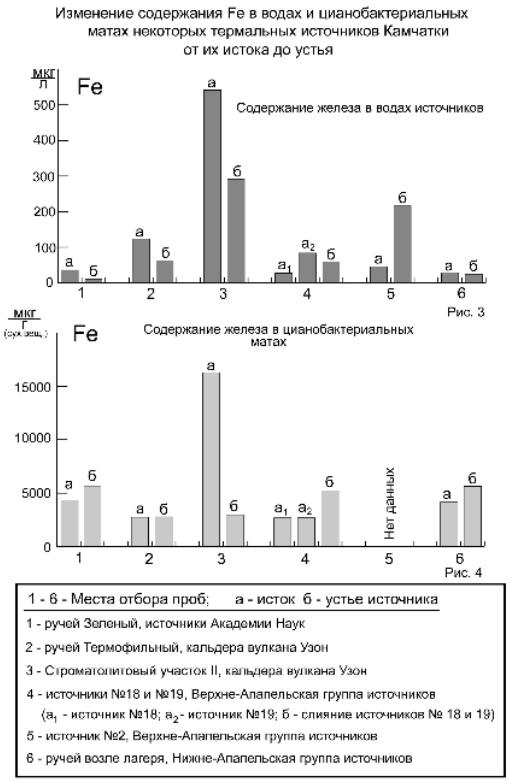


Рис. 1. Вариабельность Fe в воде термальных источников и цианобактериальных матах Камчатки.

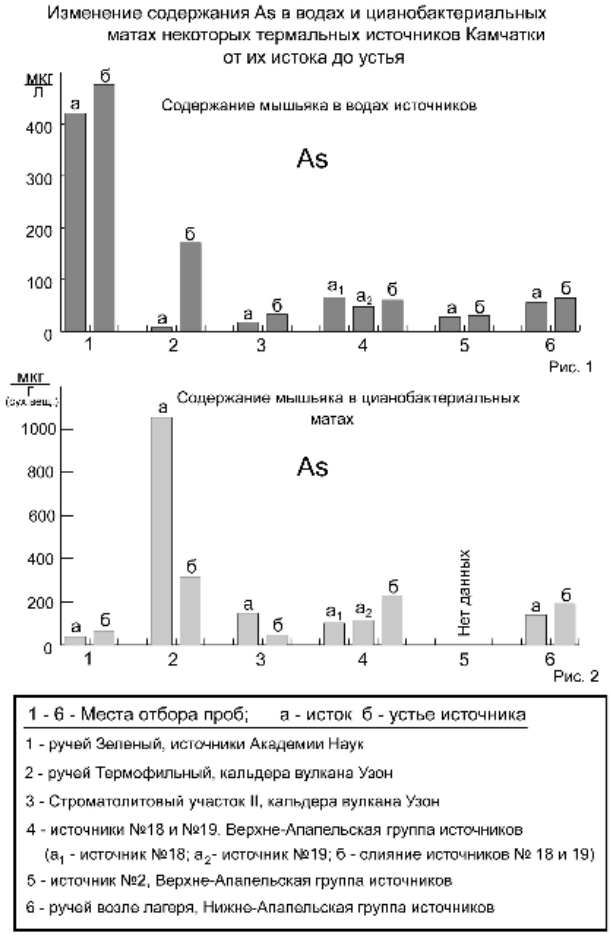


Рис. 2. Вариабельность As в воде термальных источников и цианобактериальных матах Камчатки.

При протекании термальной воды по поверхности альгобактериальных матов (и при насыщении мата водой) происходит биогеохимическое взаимодействие водорослей и термальной воды. Полученные нами данными свидетельствуют о влиянии сообщества синезеленых водорослей на концентрацию тяжелых металлов в протекающей воде, а также о высокой интенсивности бионакопления этим сообществом ряда тяжелых металлов и металлоидов .

Таким образом, термофильный циано-бактериальный мат современных мелководных гидротермальных систем следует считать активным

преобразователем воды гидротермальных источников и важным фактором биогеохимической дифференциации металлов в вулканических областях.

1. Карпов Г.А., Саенко Г.Н., Макиенко В.Ф. и др. Концентрирование микроэлементов термофилами горячих источников Узона и Долины Гейзеров на Камчатке//Вулконология и сейсмология. 1983. № 6. С. 40-42.
2. Демина Л.Л., Галкин С.В. О роли абиогенных факторов в биоаккумуляции тяжелых металлов в гидротермальной фауне Срединно-Атлантического хребта. // Океанология. 2008. Т.48. № 6. С. 847-860.

The biogeochemical behaviour of heavy metals was studied during interaction of algo-bacterial mats and thermal waters of Kamchatka, collected in 2007 summer. Influence of blue-green algae (cianobacteria) association on heavy metals concentration from the running water is described. High concentration coeffecients of metals (up to $5 \cdot 10^5$) were caculated.

Т.Б. Филатова
(Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: filatova@mmbi.krinc.ru)

Экспедиционные гидрохимические исследования в прибрежных и мористых частях Чёрного моря

T.B. Filatova
(Southern scientific centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don)

Expeditional hydrochemical researches in coastal and sea areas of the Black Sea

Основная цель гидрохимических исследований южных морей – контроль качества вод, восстановление или поддержание продуктивности морей, осуществление управления их экосистемами. Оценка содержания в воде биогенных элементов и растворённого кислорода даёт представление о внутренней биотрансформации органических веществ в морских экосистемах.

Во время комплексных экспедиций 2007 – 2008 гг. в прибрежную (от Керченского пролива до Адлера) и мористую части российского сектора Чёрного моря на НИС «Денеб» были отобраны и непосредственно на судне проанализированы пробы воды, в которых определяли температуру воды, активную реакцию (pH), концентрацию растворённого кислорода, содержание нитритов, нитратов, фосфатов.

Пробы воды отбирали батометрами Молчанова и Нискина. Температуру воды и концентрацию растворённого кислорода определяли с помощью портативного анализатора растворённого кислорода МАРК – 302Э, водородный показатель – с помощью портативного pH-метра HANNA.

Концентрации растворённых биогенных веществ определяли после измерения температуры, pH, концентрации растворённого кислорода, 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 Грасхоффа; Стрикланда и Парсонса; Сапожникова, Гусаровой, Лукашёва) [2].

В апреле 2007 года в Чёрном море (прибрежная зона) в пробах воды, отобранных с поверхности, концентрация нитритов изменялась от 0 до 3 мкг/л, нитратов – от 0 до 49 мкг/л, фосфатов – от 0 до 3 мкг/л. В придонном слое воды концентрация нитритов изменялась от 0 до 6 мкг/л, нитратов – от 0 до 24 мкг/л, фосфатов – от 0 до 87 мкг/л.

В водах обследованного участка Чёрного моря содержание растворённого кислорода находилось в пределах от 64 до 118 % в поверхностном слое. В придонном слое на некоторых станциях концентрация растворённого кислорода была ниже 50 % (напротив Туапсе – 30 %, напротив Адлера – 49 %) или немногим выше (на станции в районе Архипо-Осиповки – 56 %). При отборе проб воды ощущался запах сероводорода, наблюдались признаки заморных явлений в пробах бентоса.

Летом 2007 года в пробах воды, отобранных на прибрежных станциях в Чёрном море, величина водородного показателя pH в поверхностном горизонте изменялась в интервале 8,1 – 8,6, содержание растворённого кислорода определялось в пределах от 42 до 106 %.

Весной 2008 года содержание фосфатов в пробах воды, отобранных около пос. Лазаревское, в поверхностном горизонте было выше в 5 раз по сравнению с соответствующим мористым участком. В прибрежной области в районе Адлера концентрация фосфатов в поверхностном горизонте была в 24 раза выше и в придонном горизонте в 38 раз выше, чем на соответствующей мористой станции (рис. 1).

Летом 2008 года в водах исследуемой акватории напротив города Новороссийск наблюдалось увеличение содержания фосфатов (в 2 раза) и нитратов (в 5 раз) в поверхностном горизонте в прибрежной зоне по сравнению с мористой.

Осенью 2008 года на мористых станциях по сравнению с прибрежными наблюдалось как уменьшение концентраций биогенных веществ, так и их увеличение, что связано главным образом с гидрометеорологическими факторами (в первую очередь, с направлением ветра).

Напротив города Туапсе наблюдалось увеличение содержания фосфатов (в 2,5 раза), нитритов (в 20 раз) и нитратов (в 1,5 раза) в поверхностном горизонте в прибрежной зоне по сравнению с мористой (рис. 1). На разрезе ст. № 49 – ст. № 44 наблюдалось уменьшение концентраций биогенных веществ с удалением от берега (фосфатов – с 5 до 0 мкг/л, нитритов – с 2 до 0 мкг/л, нитратов – с 7 до 3 мкг/л).

На станциях напротив Анапы в пробах воды, отобранных во время штиля из поверхностного слоя и проанализированных с интервалом в 1 час, содержание биогенных веществ было одинаковым.

В то же время содержание нитратов и фосфатов на мористой станции напротив Адлера было в 2 раза выше, чем у берега (из-за северо-восточного ветра).

С целью изучения влияния речного стока на режим биогенных веществ в прибрежных морских зонах были отобраны и проанализированы пробы воды из поверхностного горизонта в зоне смешения речных и морских вод, на траверзе устья реки Мзымта. В воде реки Мзымта, впадающей в Чёрное море около Адлера, в июне содержание фосфатов было в 3 раза выше, нитритов также в 3 раза выше, нитратов в 20 раз выше, чем в окружающей морской воде (рис. 2).

Как и в июне, в октябре 2008 года были проанализированы пробы воды, которую река Мзымта выносит в Чёрное море. Содержание фосфатов и нитритов было выше, чем в окружающей морской воде, но незначительно по сравнению с июнем 2008 года.

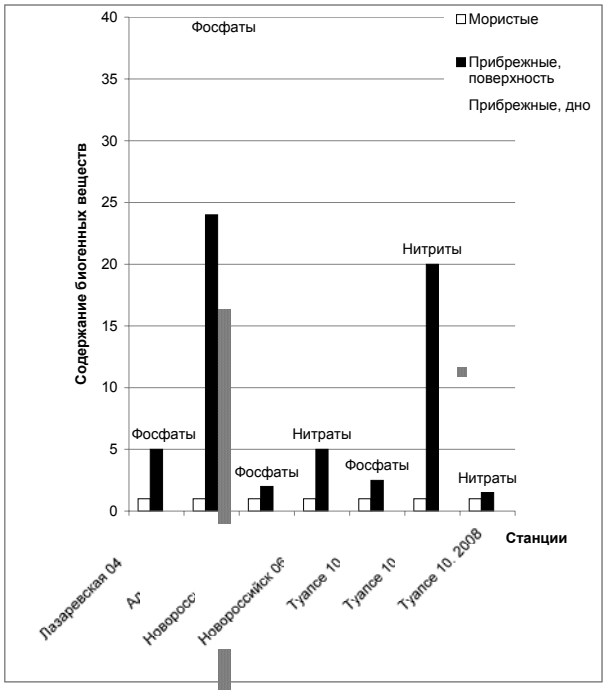


Рис. 1. Содержание биогенных веществ на прибрежных и мористых станциях

Как и в июне, в октябре 2008 года были проанализированы пробы воды, которую река Мзымта выносит в Чёрное море. Содержание фосфатов и нитритов было выше, чем в окружающей морской воде, но незначительно по сравнению с июнем 2008 года.

Анализ результатов, полученных во время экспедиционных исследований вдоль российского побережья Чёрного моря, позволяет сделать следующие выводы.

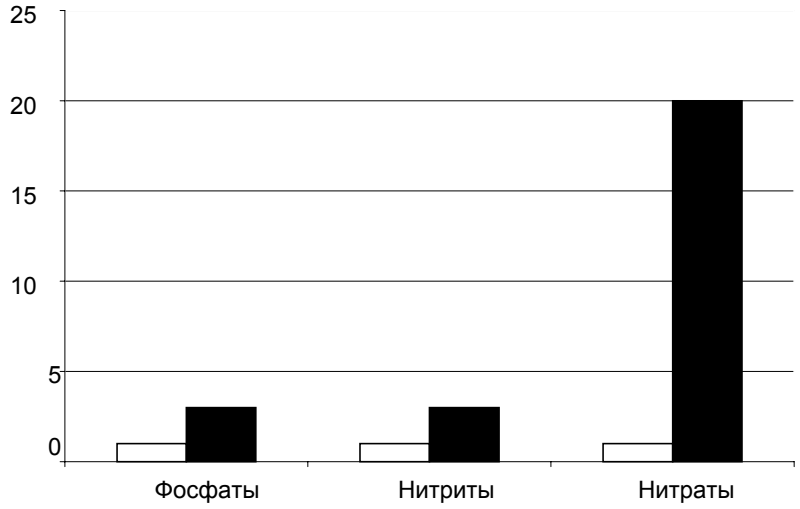


Рис. 2. Влияние стока реки Мзымта на гидрохимический режим прибрежного района (июнь 2008 г.): темные прямоугольники – речная вода, светлые – морская вода.

Экологический статус собственно побережья Кавказа на данный момент можно оценить в общем как вполне удовлетворительный. Это существенно для дальнейшего развития у этих берегов курортного дела, обоснованного экологически и экономически.

Значительное увеличение содержания биогенных веществ в прибрежной зоне по сравнению с мористой наблюдается обычно в местах впадения рек, у городов и в районах портов. Основные критические зоны экологического риска в Чёрном море образуются в местах влияния речного стока.

С возрастанием рекреационной нагрузки на пляжи и побережье происходит увеличение содержания биогенных веществ в водах морских прибрежных зон, наблюдаются случаи неблагоприятного режима по растворённому кислороду, что часто является следствием повышенного содержания в воде легкоокисляемой органики.

Сравнение полученных данных с предыдущими даёт основание считать, что сохраняется тенденция стабилизации уровня загрязнённости моря, при этом следует иметь в виду не водоём в целом, а его прибрежные воды.

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.

Results of the hydrochemical researches which have been carried out in expeditions in 2007-2008 by Southern scientific centre of the Russian Academy of Sciences in coast a land sea areas of the Black Sea, and also in mixing zone fluvial and sea waters are given. Influence of a drain of the rivers and meteorological conditions on the contents of biogenic materials in waters of the Black Sea coast of Caucasus is marked.

Т.Б. Филатова
(Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, e-mail: filatova@mmbi.krinc.ru)

Дельта Дона: оценка первичной продукции

T.B. Filatova
(Southern scientific centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don)

Delta of the river Don: estimation of a primary production

Изучение первичной продукции широко используется для оценки биологической продуктивности водоёмов. Как известно, первичная продукция – базовый экологический показатель состояния водных экосистем.

Многоуровневые процессы, протекающие в водных экосистемах, сложны и разнообразны, поэтому существующие методы позволяют лишь приближённо оценить объёмы первичной продукции. Определение первичной продукции в водоёмах обычно проводится при помощи косвенных измерений, поэтому допустимо говорить не об измерении собственно первичной продукции, а о косвенной её оценке. Все методы имеют право на существование, тот или иной метод выбирают в зависимости от поставленной цели и технических возможностей.

В основе данных материалов лежат результаты гидрохимических исследований, полученные в июне 2007 года в дельте реки Дон в районе расположения береговой научно – экспедиционной базы Южного научного центра РАН.

Были проведены наблюдения за суточной динамикой биогенных веществ, растворённого кислорода и активной реакции (pH) с целью изучения суточных колебаний этих показателей и оценки первичной

продукции по классической методике Винберга – Яровицыной, по суточному ходу кислорода.

Следует отметить, что в литературных источниках отсутствовали данные по первичной продукции для этого района исследований.

Показанные на графиках (рис. 1) изменения содержания биогенных веществ отражают ситуацию в водоёме, которая была в течение исследуемых суток, когда в дневные часы интенсивно идёт фотосинтез, биогенные вещества расходуются, а в ночные часы интенсивнее процесс деструкции, ведущий к накоплению биогенных веществ.

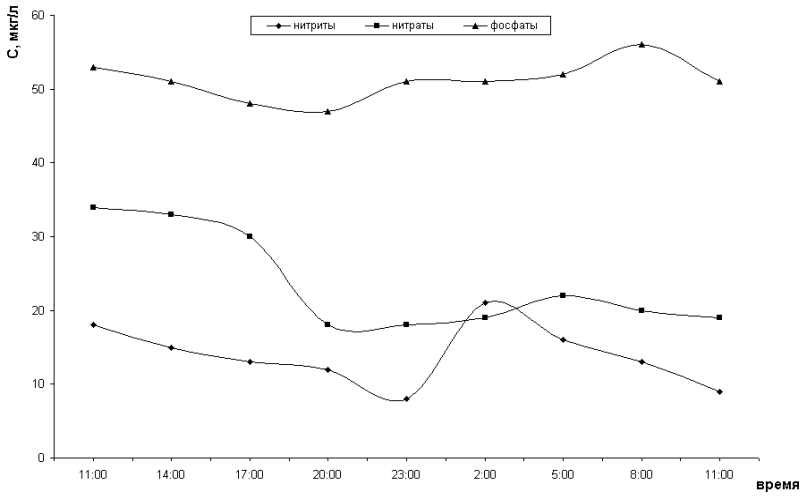


Рис. 1. Суточный ход нитритов, нитратов и фосфатов на суточной станции 25.06.07г. – 26.06.07 г.

На представленных графиках (рис. 2) чётко видно, что минимальная концентрация растворённого кислорода (5,82 мг/дм^3) и минимальная величина pH (7,71) были зарегистрированы ранним утром, в 5 часов, когда растения в водоёме ещё не начали вырабатывать кислород, а его запасы за ночь сократились.

Максимум растворённого кислорода (9,21 мг/дм^3) и максимум pH (8,7) наблюдались в 5 часов вечера.

Изменения концентрации растворённого кислорода и pH идут синхронно, но, естественно, в противофазе с динамикой биогенных веществ.

На основании суточного хода кислорода были произведены необходимые расчёты и дана оценка первичной продукции. Полученное среднесуточное значение первичной продукции (2,9 мг С/л-сут) позволяет говорить об интенсивно протекающих фотосинтетических процессах и характеризует данный район как очень продуктивный.

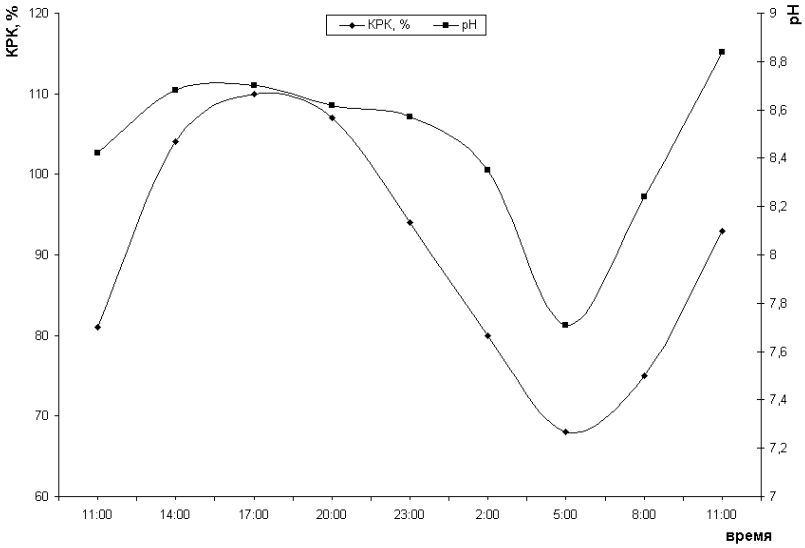


Рис. 2. Ход изменения содержания растворённого кислорода и pH на суточной станции 25.06.07г. – 26.06.07 г.

Иногда для оценки первичной продукции используют метод Бруевича – Дацко (так называемый метод «Дельта-O_2-максимум»), когда определяется содержание растворённого кислорода в утренние и послеполуденные часы.

Для сравнения, используя метод Бруевича – Дацко, в данном случае можно получить величину 1,6 мг С/л-сут.

Метод Винберга – Яровицыной учитывает расход кислорода на дыхание живых организмов, расход на разложение их метаболитов и веществ, поступающих извне. Кроме этого, учитывается не только продукция фитопланктона, но и макрофитов, что делает метод корректнее. Поэтому, на наш взгляд, метод Винберга – Яровицыной является предпочтительнее.

Концентрацию растворённого кислорода в воде определяют чаще всего классическим методом титрования Винклера. Однако, для работ в полевых условиях требуются максимальная простота, надёжность, мобильность используемого оборудования. В последнее время широко используются термооксиметры. Применение кислородомеров (малогабаритных анализаторов растворённого кислорода) даёт возможность

- проводить исследования в экспедиционных условиях;
- оперативно измерять концентрацию растворённого кислорода, сокращая значительно время анализа;
- 20-метровый кабель позволяет проводить измерения с борта судна, непосредственно в водоёме;

- исключает ошибку при титровании;

- исключает ошибку при отборе проб воды, так как позволяет исключить сам процесс отбора проб.

Важно отметить, что при использовании датчика необходимо перед работой откалибровать его (по Винклеру).

Полученные нами данные описывают ситуацию в данном районе в конце июня 2007 года. Для характеристики водоёма по продуктивности, для прогнозирования его состояния следует проводить измерения и анализ полученных результатов в разные месяцы, в разные сезоны.

Results of definition of a primary production in delta of the river Don with use of various methods are submitted. Advantages of use of small-sized evaluators of the dissolved oxygen in expeditions researches are described.

Е.С. Шаповалова, Н.А. Беляев
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: belyaev@ocean.ru)

Распределение углеводородов в донных осадках Таманского и Динского заливов. Последствия разлива мазута в Керченском проливе

E.S. Shapovalova, N.A. Belyaev
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Hydrocarbons distribution in the Taman and Dinskoy bays bottom sediments. Oil spill consequences at the Kerch strait

В результате аварии танкера "Волгонефть-139", произошедшей 11 ноября 2007 года в воды Керченского пролива поступило около 2,5 тысяч тонн мазута. Возникшее нефтяное загрязнение охватило практически всю акваторию Российской и Украинской части Керченского пролива. В течение первых дней после кораблекрушения мазутное загрязнение распространилось в пределах Керченского пролива, Таманского и Динского заливов и прилегающих областей Азовского моря. Для начального этапа аварии была характерна быстрая фрагментация пятна, диспергирование и эмульгирование углеводородов, растворение легких фракций и выброс мазутного загрязнения на берег [1].

Для оценки влияния мазутного загрязнения на состояние экосистемы Таманского и Динского заливов Институтом Океанологии РАН в феврале и июле 2008, были организованы комплексные экспедиции, в которых были проводены биологические гидрологические и геологические исследования, отобраны образцы биоты, пробы донных осадков и придонной воды. Отбор проб донных осадков производился водолазами. Для определения содержания УВ и их поступления в результате аварии стандартно

отбирались верхние 5 см. с площади 0,25 $м^2$. Для оценки фонового содержания УВ производился отбор проб с горизонта 20-25 см.

Экстракция углеводородов из проб донных осадков производилась с использованием ультразвуковой бани "Branson-1210". В качестве растворителя применялся метиленхлорид. Фракция н-алканов выделялась методом колоночной хроматографии. В качестве наполнителя колонки использовался силикагель, элюент – гексан. Экстракты анализировали на газовом хроматографе GC-2010 фирмы «Shimadzu» Япония, с кварцевой капиллярной колонкой Supelcotm (Equitytm-5 30м×0.25мм´0.25hm). Газохроматографические условия: нагрев с 60° до 300°С со скоростью 4°С/мин., изотермический режим при 300°С в течение 30 мин. Газ-носитель – гелий, его расход 1.5 мл/мин, температура инжектора 300°С, детектора - 320°С, режим ввода пробы split – 1:100. Результаты обрабатывали с помощью программного обеспечения GCsolution 2.30 фирмы «Shimadzu». Идентификацию пиков проводили по времени удерживания. Для расчета концентраций использовался внутренний стандарт - сквалан.

В результате анализа 55 проб доных осадков, отобранных в ходе летней экспедиции, было установлено, что содержание органического углерода в донных осадках менялось от 0.02 до 5 %. Общая концентрация углеводородов колебалась ва пределах от 4,9 до 2946 мг/кг, концентрации алифатических углеводов изменялись от 0.03 до 17.3 мкг/г. Средняя концентрация углеводородов в исследованных пробах составляет 2.45 мкг/г сухого осадка.

По результатам газохроматографических исследований были выделены четыре основных типа распределения углеводородов в донных осадках (рис 1):

К первому типу (А) органического вещества (ОВ), относится вещество смешанного терригено-планктоногенного генезиса с невыявленным загрязнением.

Второй тип (Б) представлен органическим веществом в котором основная масса алифатических углеводородов образована в результате деструкции поступившего ОВ.

В веществе третьего типа (В) преобладает вещество природного генезиса со следами нефтяного загрязнения.

Для вещества четвертого типа (Г) характерно сильное загрязнение осадков нефтепродуктами.

Основное загрязнение нефтепродуктами сосредоточено в отшнурованных и кутовых частях заливов. Востановительная среда, характерная для донных осадков этих мест, способствует консервации поступившего в них ОВ. Отмечено, что максимальная и повышенные концентрации углеводородов выявлены на станциях с постоянным антропогенном воздействием, и не могут быть однозначно связаны с разливом мазута.

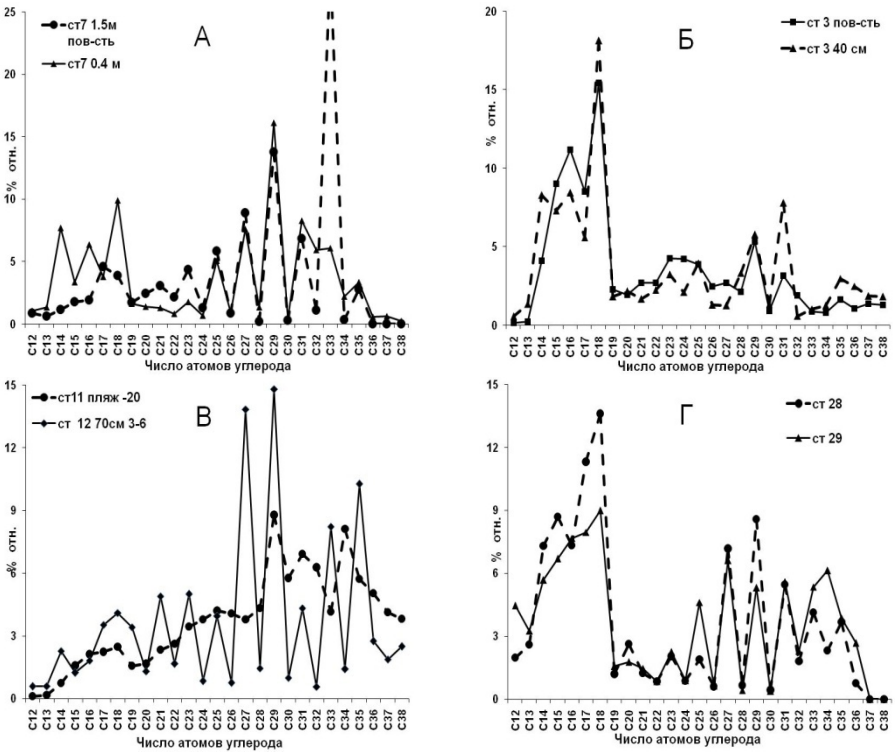


Рис. 1. Типичные распределения углеводородов в донных осадках Таманского и Динского заливов.

1. Овсиенко С.Н., Фащук Д.Я., Зацепа С.Н и др. Шторм 11 ноября 2007 г. в Керченском проливе: хроника событий, математическое моделирование и географо-экологический анализ// Труды ГОИН, 2008. Вып. 211, С. 308-340.

Tanker Volgoneft-139 wreck on November 11, 2007 during heavy storm, resulted in 2500 ton black oil spill at the Kerch strait. The main goal of investigation was estimation of Black oil pollution effects to ecosystems of Kerch strait and surrounding areas. P.P. Shirshov Institute of Oceanology studied consequences of the oil spill in late February - early March, late July 2008 and late July 2009.

О.В. Шубенкова[1], Т.И. Земская[1], О.М. Хлыстов[1], Т.В. Погодаева[1], С.М. Черницына[1], Г.В. Калмычков[2], А.В. Егоров[3], С.П. Бурюхаев[4]

([1]Лимнологический институт СО РАН, e-mail: Olya@lin.irk.ru, [2]Институт геохимии СО РАН, e-mail: gkalm@iqc.irk.ru, [3]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: avegorov@ocean.ru, [4]Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, e-mail: bursav@mail.ru)

Геохимическая и микробиологическая характеристика осадков грязевого вулкана «Маленький» озера Байкал

O.V. Shubenkova[1], T.I. Zemskaya[1], O.M. Khlystov[1], T.V. Pogodaeva[1], S.M. Chernitsina[1], G.V. Kalmichkov[2], A.V. Egorov[3], S.P. Burukhaev[4]

([1]Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, [2]Institute of Geochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, [3]P.P.Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, [4]Institute of General and Experimental Biology, Siberian Division, Russian Academy of Sciences)

Geochemical and microbiological characteristics of sediments near mud volcano «Malenky» of Lake Baikal

Грязевой вулкан «Маленький», расположенный в южной котловине озера Байкал, является первым районом, где было обнаружено приповерхностное залегание газовых гидратов (ГГ) [1]. К настоящему времени в средней и южной частях озера идентифицировано 6 газогидратных районов.

В период 2002-2006 гг. проведены комплексные микробиологические и биогеохимические исследования данного района.

Изотопные исследования углерода ГГ, обнаруженных в кернах из вулкана «Маленький» [1] показали, что они имеют структуру КС-I ($\delta\ ^{13}C$ = -64.8$^{o}/_{oo}$, CH_4/C_2H_6 =2777) и на 98% состоят из биогенного метана. Концентрации метана во всех кернах из зон с различной минерализацией имели высокие значения: 2700 μM и более.

Исследование осадков [1, 2] показало наличие в кернах с ГГ грязевулканической брекчии, отсутствие окисленного слоя и слоя диатомового ила, которые характерны для донных отложений районов со спокойным осадконакоплением. Кроме того, в районе разгрузки керны обильно насыщены газом и их первичная слоистость нарушена [2]. О поступлении более глубинного материала через грязевулканический канал свидетельствуют данные по составу диатомовых водорослей, поступающих вместе с ним из более глубоких слоев осадка. В частности при исследовании керна, отобранного вблизи структуры "Маленький", в поверхностных слоях осадка были обнаружены древние виды диатомей рода *Tertiarius.* Они доминировали в плиоцене (2,8 - 2,7 млн. лет до н.в.) и

должны были бы располагаться на глубине осадка около 300 м с учетом скорости осадконакопления в Южном Байкале [3].

В осадках грязевого вулкана «Маленький» были обнаружены аутигенные карбонатные образования [4]. Следует отметить, что донные отложения Байкала практически бескарбонатны [5]. Этому способствует низкая щелочность вод озера (средние содержания HCO_3^- 66 мг/л) [6] и недонасыщенность поровых растворов кальцием на 1-2 порядка относительно величин, необходимых для формирования кальцита [7, 8]. Минералы ряда родохрозит-сидерит были обнаружены исключительно в зонах разгрузки флюидов, где имели относительно широкое распространение. Проведенные масс-спектрометрические измерения выявили обогащение карбонатов тяжелым изотопом углерода (C^{13}) и легким кислорода (O^{16}) [4].

Радиоизотопным методом оценены скорости процессов сульфатредукции, метаногенеза и окисления метана. Скорости процесса сульфатредукции в исследуемых осадках были низкими, что характерно для осадков озера Байкал [9], ее значения варьировали от 0.001 до 0.7 nmol $cm^{-3}d^{-1}$. Сопоставимые по величине значения SR отмечены в кернах содержащих ГГ и без них. Скорости автотрофного метаногенеза в кернах, содержащих ГГ и без них варьировали от 0.01 до 2.98 CH_4 нмоль $см^{-3}сут^{-1}$. Профили кривых образования метана по глубине кернов характеризовались наличием локальных пиков, регистрируемых как в подповерхностных , так и более глубоких слоях осадка во всех исследуемых кернах. Измерены скорости автотрофного и ацетокластического метаногенеза . Полученные результаты свидетельствуют о преобладании автотрофного пути образования метана (2.98 CH_4 нмоль $см^{-3}сут^{-1}$), по сравнению с ацетокластическим (0.003 CH_4 nmol $cm^{-3}d^{-1}$), что согласуется с ранее полученными данными [9].

Процесс окисления метана регистрировался не во всех слоях осадка исследованных нами кернов. Высокие скорости окисления метана - до 12.3 nmol $cm^{-3}d^{-1}$ – были выявлены в некоторых слоях кернов содержащих ГГ и без них. Следует отметить, что в керне St. 3 GC-3 2002, где наблюдались наиболее высокие скорости образования метана, скорости его окисления были наименьшими (максимально до 0.52 nmol $cm^{-3}d^{-1}$). Профиль АОМ в этом керне был более вариабельным, по сравнению с другими исследованными кернами. В этом же керне мы регистрировали достаточно сильную вариабельность распределения сульфат иона. Заметно высокие скорости данного процесса отмечены в поверхностных слоях осадка St. 3 GC-3 2004 (до 12.3 nmol $cm^{-3}d^{-1}$) в подповерхностных и слоях, прилегающих к слою ГГ (до 7.3 nmol $cm^{-3}d^{-1}$) в керне St. 66 GC-1 2006.

С помощью молекулярно-биологических методов исследовано филогенетическое разнообразие микробного сообщества изучаемого района. Проанализировано 260 последовательностей байкальских бактерий,

которые отнесены к 25 филотипам. Показано, что в осадках, содержащих гидраты метана и ассоциированных с ними, существует достаточно разнообразное микробное сообщество. Во всех проанализированных образцах обнаружены представители двух главных доменов Bacteria и Archaea. Выявлены последовательности следующих филумов и классов: бета-, гамма - и дельтапротеобактерии, Cytophaga-Bacteroidetes-Flexibacter, Chloroflexi, группа OP11, а также последовательности царств Crenarchaeota, Euryarchaeota. Большую долю проанализированного микробного сообщества составляют некультивируемые бактерии, ближайшие гомологи которых изолированы из глубоководных осадков грязевых вулканов морских экосистем и антарктических осадков.

Таким образом, результаты исследования изотопного состава углерода метана, полученные в разные годы говорят о значимой роли микроорганизмов в образовании метана в осадках исследуемого района. В отличие от морских осадков, основным химизмом диагенеза в озере Байкал, как и в других пресноводных водоемах, является процесс метангенерации, а не сульфатредукции. Даже в районе разгрузки минерализованных флюидов, где отмечаются высокие концентрации сульфат иона, сульфатредукция не играет существенной роли возможно в силу локальности таких явлений и большой изменчивостью флюидного потока.

1. Клеркс Я., Земская Т.И., Матвеева Т.В., Хлыстов О.М. и др. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков озера Байкал // Докл. РАН, 2003, т. 393 № 6. С. 822 – 826.
2. Хлыстов О.М. Новые находки газовых гидратов в донных осадках озера Байкал // Геология и геофизика, 2006. т. 47. № 8. С. 979-981.
3. Bradbury JP, Bezrukova YV, Chernyaeva GP et al. A synthesis of post-glacial diatom records from Lake Baikal // Paleolimnology, 1994. V. 10. P. 213-252.
4. Krylov A., Khlystov O., Zemskaya T., Minami H. et al. First discovery and formation process of authigenic siderite from gas hydrate-bearing mud volcanoes in fresh water: Lake Baikal, eastern Siberia. // Geophys. Research Letters, 2008. V. 35. P. 1-6.
5. Князева Л.М. Осадкообразование в осадках влажной зоны СССР. Южный Байкал. М.: Наука, 1954. С. 232-236.
6. Falkner K.K, Measures C.I, Herbelin S.E, Edmond J.M. The major and minor element geochemistry of Lake Baikal// Limnology and Oceanography т. 36. С. 413-423.
7. Callender E., Granina L., Geochemical mass balances of major elements in Lake Baikal. // Limnology and Oceanography, 1997. V. 42. P. 148-155.
8. Мизандронцев И.Б. К геохимии грунтовых растворов. В сб.: «Динамика Байкальской впадины». Новосибирск, Наука. Сиб. отд-ние, 1975. С. 203-231.
9. Намсараев, Б.Б. Геохимическая деятельность сульфатредуцирующих

бактерий в донных осадках озера Байкал // Микробиология, 1995. т. 64, № 3. С. 405-410.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов: Интеграционный проект № 27; Программа Президиума РАН № 17.9; РФФИ 08-05-00709.

Detailed lithological, biogeochemical and molecular biological analyses were done with sediments samples from mud volcano Malen'ky, Lake Baikal. In the area investigated, considerable variations of pore water chemical composition were observed, total mineralization varied from 0.1 to 1.8‰. Measured values of methane $\delta^{13}C$ from the sediments of mud volcano Malen'ky ($\delta^{13}C_{min}$ = -61.3‰; $\delta^{13}C_{max}$ = -72.9 ‰) suggest its biogenic origin.

СИМПОЗИУМ ИМ. Н.А. АЙБУЛАТОВА «ГЕОЭКОЛОГИЯ, ЗАГРЯЗНЕНИЕ МИРОВОГО ОКЕАНА, НОВЫЕ МЕТОДЫ ЧЕТЫРЕХМЕРНОГО МОНИТОРИНГА»

В.И. Авилов, С.Д. Авилова
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: oav@ocean.ru)

Тенденции развития геологии и экологии океана

V.I. Avilov, S.D. Avilova
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Tendencies of Ocean Geology and Ecology Development

В настоящее время на рубеже тысячелетий многие исследователи констатируют переход современной цивилизации из индустриальной эпохи в постиндустриальную, которую всё чаще определяют как эпоху ноосферных знаний. Основанием для такого вывода служит отмечаемый кризис в развитии традиционных, «чистых» наук, и наоборот – прогресс междисциплинарных направлений. Ноосферная методология, внедряющаяся в мышление и познание, выдвигает на передний план углубленное изучение природных явлений и механизмов их взаимодействия с интеллектуальной и другими сферами деятельности человечества. Ноосферное знание предполагает всеобъемлющее обновление существующих представлений в базисных разделах всех наук. Создание более совершенной парадигмы объединенного направления – синтеза геологии с экологией находится в русле тенденций развития современной науки. В этом смысле первостепенной задачей видим рассмотрение содержания существующих разновидностей общего геолого-экологического направления, определение их места в общей схеме взаимоподчиненности и взаимосвязи наук.

Актуальность этой задачи обусловлена высокой значимостью прикладных результатов объединенных геологических и экологических научных исследований по различным направлениям – с одной стороны, с другой - издержками «бурного роста» нового синтезированного направления, его отставанием в формировании собственной фактологической и теоретико-методологичесой базы. Наиболее заметно отсутствие единой терминологической основы. Зачастую содержание используемых понятий страдает неопределенностью, растекаясь от определения узких конкретных задач и объектов до безликих, широких толкований, не выделяющих главных свойств и качеств каждого направления. Строгость понятий вырабатывается со временем как плод всестороннего обсуждения в научной среде. Рожденное на стыке наук, объединенное геолого-экологическое направление проходит этот сложный период, о чем свидетельствуют многочисленные публикации на эту тему. Считаем возможным, используя накопленный багаж знаний более чем за 30 лет наших натурных наблюдений в области морской геоэкологии, внести вклад в решение обсуждаемой проблемы с исторических, теоретических и экспериментальных позиций. В этом цель данной работы.

Геология и экология соединились при изучении как сухопутных, так и морских объектов, например, в ландшафтной экологии и морской геоэколо-

гии. Исторический экскурс приводит к необходимым выводам. Причиной синтеза геологии и экологии стали как общественно-экономическая необходимость, так и поступательное развитие науки в целом. Синтез протекал на фоне динамичного развития основных (геология и экология) и сопутствующих отраслей знаний. Стержнем объединенного направления выбран системный подход, его основные положения широко используются в различных научных направлениях. Длительная эволюция, многообразие объектов и методов исследования наполнили геолого-экологическое направление большим числом заимствованных и вновь предложенных терминов. Это нормально, но для его дальнейшего успешного развития, в том числе геоэкологии океана, необходимо утвердиться в методологии исследований, выбрать соответствующую терминологию. Рассмотрим современные понятия и формулировки.

Геология окружающей среды (environmental geology) широко распространена на Западе. В сферу её интересов вошли вопросы из области минералогии, гидрогеологии, инженерной геологии, экономической геологии, имеющие отношение к освоению ресурсов, прогнозированию и разработке эффективного использования земных пространств, например: строительство зданий, транспортных сооружений и коммуникаций, утилизация отходов и другое. В ней используются понятия и положения традиционных геологических наук

Экологическая геология (экогеология) по объекту исследования, по собственной теоретической экологически направленной базе значительно шире по сравнению с геологией окружающей среды. В настоящее время экологическая геология рассматривается как новое направление геологических наук, изучающее эколого-геологические системы типа литосфера – биота, литосфера – инженерное сооружение – биота и функциональные связи в них с позиции влияния геологических условий на биоту, включая человека.

Обе рассмотренные области знаний, хотя существенно различаются, имеют принципиальное сходство. Они оперируют геологической информацией, их истоком является геология, а сами они - геология окружающей среды и экологическая геология (экогеология) – две её ветви. В методологии преобладает идентичный геосистемный подход – исследуют совокупность элементов земной коры и природных явлений, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих определенную целостность, единство, именуемое геосистемой. Делается акцент на изучение одной из двух составляющих экосистемы – абиотическую. Лишь затем изучают влияние геосистемы на биоту, включая человека

Геоэкологию часто рассматривали как раздел геологии. Постепенно в центральной концепции геоэкологии стал преобладать экологический аспект, что и отражено в термине – геологическая экология. Базовый принцип и подход геоэкологии вытекает из постулатов экологии. Вместе с тем геоэкология сужает сферу интересов общей экологии, ограничивая объект эко-

логических исследований геосистемой. Соответственно – геологическая экология (геоэкология) определяется как самостоятельное направление экологии, которое изучает свойство и функции биоты в пределах геосистемы, их формирование и изменение под воздействием условий среды обитания. Геоэкология исследует биотическую составляющую экосистемы, влияние геологических факторов на её состояние, а также их взаимодействие. Последнее предполагает наличие сложных встречно направленных процессов на организменном и клеточном уровне с внешней средой. Большинство подобных превращений протекает в водной среде и этот факт инициировал рождение обширного раздела геоэкологии – аквагеоэкологии.

Геоэкологию и аквагеоэкологию отличает экосистемный подход. При исследовании любого природного явления выделяем экосистему, в границах которой заметно влияние этого явления, изучаем свойства биоты и по её функциональному состоянию определяем главенствующие элементы геосистемы, формирующие это состояние, а также получаем количественные характеристики исследуемого явления.

На современном этапе аквагеоэкологию определяем как многоцелевую науку о гидросфере, её экологической функции на Земле. Важное место в аквагеоэкологии занимает геоэкология океана, учитывая главенствующую роль Мирового океана в гидросфере по занимаемому объему, по наибольшей степени изученности и его планетарной функции в виде уникальной экосистемы с высокой степенью самоорганизации. По этим показателям применительно к океанологии аквагеоэкологию и геоэкологию океана можно считать синонимами. Но их следует четко различать при наблюдениях в атмосфере и литосфере.

Теоретической основой аквагеоэкологии является теория биохимического состояния природной среды, в её разработке реализована концепция экосистемного подхода геоэкологии Геоэкология океана (аквагеоэкология), являясь междисциплинарной наукой, в своих исследованиях сохраняет преемственность в использовании некоторых традиционных методов океанологии, биологии, биохимии, геологии и одновременно имеет собственную техническую и методологическую базу. Объединенная технология обеспечивает получение достоверной геоэкологической информации в гидросфере.

Анализ функций сложившихся синтезированных направлений геологии и экологии позволил составить общую картину их взаимосвязи и взаимоподчиненности. Подобные построения проводили и ранее, в основном по глобальным объектам наблюдения, их функциям, что крайне важно. У нас несколько иной методологический подход. Сложившиеся синтезированные научные направления выстроили по иерархическим ступеням, разделяя их прежде всего по методическим вопросам и лишь затем - по изучаемым объектам. Преимущество такого построения в том, что один и тот же природный объект (нефть, газ, гидротермы и другие) может изучаться несколькими

научными направлениями с использованием различных методов, что близко к современной практике научных исследований.

Теоретическое обобщение и систематизация существующих представлений выявили некоторые пробелы в терминологии. Мы постарались их устранить и дать более точные формулировки. Оказалось, что отсутствует единый термин для определения названия разноплановых функций синтеза геологии и экологии. Как показано выше, ни геоэкология, ни экогеология, возглавляющие собственные разделы, не могут быть применены в качестве единого названия объединенного геолого-экологического направления. Предлагаем для его обозначения термин «жизнеземлезнание» или по аналогии с употребляемыми терминами – синоним, «жизнеземлелогия» (lifelandology). Аналогично даны термины и синонимы по отдельным направлениям.

Жизнеземлезнание (ЖЗЗ) занимает первый уровень на иерархических ступенях синтезированных направлений. ЖЗЗ – наиболее общее понятие. Жизнеземлелогия (ЖЗЛ) объединяет все синтезированные направления, которые в своей методологии используют системный подход. ЖЗЛ (ЖЗЗ) образуется в результате синтеза геологии и экологии, располагающихся на исходной позиции (нулевой уровень).

На втором уровне находятся две составные части ЖЗЗ, два самостоятельных научных направления, принципиально отличающихся методологией исследований: в одном (экогеологии, ecogeology) – преобладает геосистемный подход, в другом (геоэкологии, geoecology) – экосистемный подход. На третьем уровне деление идёт на самостоятельные научные направления, возникшие при исследовании различных объектов специфическими методами в дополнение к традиционным. В геоэкологии выделяем ландшафтную экологию, нацеленную на изучение суши, и аквагеоэкологию, в поле зрения которой находится водная среда планеты.

Каждый из разделов ЖЗЗ третьего уровня имеет свои подразделы или разветвления, которые наверняка может достроить специалист в своей области знаний. В качестве примера приведем интересующий нас раздел «аквагеоэкология». В аквагеоэкологии выделяем по объекту исследования два подраздела: геоэкология океана и экология водонасыщенной части литосферы или «литоакваэкология». Они в свою очередь могут дробиться и далее. Так геоэкология океана включает придонную геоэкологию, геоэкологию контактных зон и другое.

Предложенная систематизация приводит к главному выводу. Экосистемный подход наиболее эффективен в методологии исследований во всех направлениях ветви «геоэкология». Главное, что их объединяет, - изучение свойств, функций объектов и явлений с экосистемных позиций. Основы экосистемного подхода заложены в работах В.И. Вернадского, Ю. Одума, развиты ведущими современными учеными. На практике он всё чаще вытесняет традиционный системный подход и дает новые результаты.

Академик Э.М. Галимов, решая проблемы зарождения и эволюции биосферы, выделяет биохимические процессы упорядочения с участием АТФ в экосистеме планеты и, рассматривая эффект «горизонтального переноса» генов, в котором, как полагают, главную роль играет микробиота, делает далеко идущий вывод: «Геномы организмов могут черпать генетический материал из общего генного пула биосферы». Академик А.П. Лисицын при исследовании процессов седиментации в океане использует понятие геохимия «живого океана». Американские ученые, применяя современные методы молекулярной генетики – анализ р-РНК, выделили в экосистеме океана несколько новых групп бактерий, в том числе архебактерии. Археи, кроме гидротерм, найдены и в глубинных водах.

За длительный период проведения морских геоэкологических исследований нами разработана и внедрена комплексная технология получения достоверной газобиогеохимической информации для нужд аквагеоэкологии. Разработанная нами методология включает измерение выделенных главных биохимических показателей (АТФ и активность алкилфосфатазы) для количественной оценки экологического состояния среды – норма, эвтрофирование, токсикация, и прогнозирования процессов в экосистеме. Методология позволяет отличить антропогенное загрязнение от естественных выбросов, по биохимическому признаку классифицировать загрязняющие вещества. Такой примененный нами экосистемный подход привел к обнаружению неизвестных ранее явлений. Установлено существование жизни в глубинных подводных гидротермах и образование активного живого вещества в глубинных и промежуточных водах Мирового океана, выдвинута концепция хемолитоавтотрофного цикла углеводородов в осадочной толще, что продвинуло представление о процессах нефтегазообразования.

Практикой наблюдений подтверждена высокая перспективность применения экосистемного подхода и в будущем при изучении океана.

New scientific branches formed as a result of geology and ecology synthesis are examined. The scheme of their scale of ranks has been constructed on the methodology base. The systematization is effective in natural phenomenon cognition. Ecosystem approach to study ocean process develops the knowledge about organic matter formation in deep ocean water and other.

В.В. Аникиев, Ю.К. Чяснавичюс
(Российская Экологическая Независимая Экспертиза, e-mail:Anikiev@mail.ru)

Применение логико-вероятностной модели для прогноза распространения химического оружия

V.V. Anikiev, J.K. Chiasnavichius
(Russian Ecological Independent Expertise)

1. Введение

В 1992 году был снят гриф секретности с проблемы затопленного в Балтийском и Северном морях химическом оружии (ХО). Сложность ее решения обуславливается многими факторами, например: экономическими (за сравнительно недолгий период времени после снятия грифа секретности - только в последнее время на исследования в этой области стали выделяться значительные средства); политическими (возросшая роль экологии как политического рычага обуславливает перемену точек зрения на степень опасности затопленного химического оружия в зависимости от текущей политической обстановки); техническими (до недавнего времени для исследования в данной области применялись средства и методы, не дающие полной картины проблемы) и др.

В данной работе представлена попытка применения логико-вероятностной модели для оценки экологического риска, что позволит наглядно увидеть ключевые опасности и подчеркнет наиболее значимые проблемы, требующие первоочередного решения.

2. Состояние проблемы

В настоящее время, спустя шесть десятков лет, все содержащееся в емкостях и контейнерах отравляющее вещество (2,2 тыс. тонн ОВ) вышло из металлических оболочек в морскую среду, малая часть их часть подверглась гидролизу, часть – достигла побережий, что причинило ущерб нескольким сотням людей [1-3]. Однако в ближайшее время ожидается выход в морскую среду основной части ОВ, которая находится в авиабомбах [4]. По пессимистическим прогнозам ущерб может достигать катастрофических размеров.

Еще одно обстоятельство, обуславливающее вероятное увеличение потока ОВ в водную среду – строительство Северо-Европейского газопровода Норд-Стрим, который пройдет по дну Балтийского моря через основные места захоронения химического оружия – Борнхольмскую и Готландскую впадины.

Первоначально планируемый маршрут перенесли в связи с недовольством экологической общественности Швеции и позже проверили его на наличие затопленного оружия и других опасностей, однако руководство Норд-Стрим вернулось к первоначальному маршруту, проходящему в непосредственной близости к Борнхольмской впадине [6].

Таблица 1. Оценка удельной концентрации ОВ в донных отложениях различных районов затопления ХО в Балтийском море [5]

№№, Факторы, регулирующие распределение ОВ в донных отложениях		Борнхольмская впадина	Готландская впадина
1. Общая масса затопленного ХО, т.		12035,0	958,0
1. Площадь района затопления ХО, км^2		25,6	3500,0
3. Масса грунта толщиной 3м, содержащего ХО, млн. т.		92,16	12600,0
4. Удельная концентрация ОВ, мкг/г	общее количество	130,7	0,07
	иприт	66,5	0,05
	мышьяковистые соединения	22,6	0,009
	хлорацетофенон	13,1	0,007

3. Оценка воздействия

Для оценки потенциальной опасности затопленного ХО необходимо знать 2 основных механизма поступления ОВ в водную среду: коррозия оболочек боеприпасов и гидролиз гелеобразных сгустков токсикантов; молекулярная диффузия незначительна.

Процесс разрушения корпусов протекает в основном по электролитическому механизму, а его скорость зависит от доставки кислорода к металлу, поэтому с течением времени скорость коррозии уменьшается за счет обрастания илом, донными отложениями, биоорганизмами и продуктами коррозии. Это позволило отсрочить разгерметизацию основной массы ХО на 40-50 лет . К сожалению, скорость гидролиза так же не велика и составляет для иприта 0,01 мин$^{-1}$ при 0ºС [4].

В связи с вышеизложенным возрастает актуальность решения данной проблемы, так как сейчас она вступает в критическую фазу.

Основным механизмом поступления ОВ в организм человека станет употребление в пищу зараженной рыбы, в которой аккумулируется семикратная концентрация ОВ в воде [7]. Второй по величине воздействия механизм поражения человека – контакт с ОВ на побережьях (ингаляция, заглатывание воды при купании и кожная экспозиция)

4. Пути решения проблемы

Модельные эксперименты, проводимые исследователями в этой области, могут помочь найти ответы на ряд вопросов, но также имеют и существенные недостатки:

1) в основном модели делятся на более точные с большим количеством неизвестных данных и пессимистические, обладающие значительной погрешностью;

2) все эти модели выполняют определенный набор требуемых функций, не обладая комплексностью (например, экоскрининг не позволяет опреде-

лить ключевые элементы риска, а методика DPSIR применяет еще более узконаправленные модели);

3) стандартные модели применимы только для экологического анализа, не давая оценку другим не менее важным средам, таким как экономика и социальная сфера.

Логико-вероятностная модель ранее не применялась для оценки экологического риска, однако, с некоторыми допущениями, она может выгодно конкурировать с традиционными моделями.

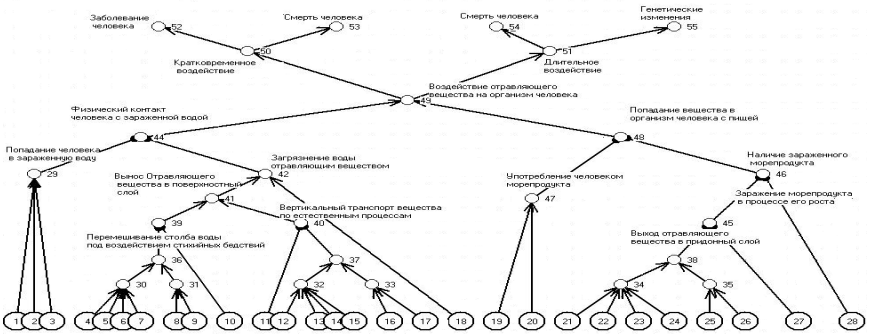


Рис. 1. Качественная часть логико-вероятностной модели анализа экологического риска

В качестве метода моделирования используется диаграмма причинно-следственной связи типа «дерево», причем вместо вероятностей возникновения событий в качестве предпосылок предлагается использовать массовую долю, т.е. долю от всего количества отравляющего химического вещества, находящегося на дне Балтийского моря. Такую замену можно сделать благодаря тому, что массовая доля аналогична в физическом смысле вероятности активизации всей массы ОВ.

Кроме того, при помощи логико-вероятностной модели можно выделить наиболее значимые предпосылки, расходы, на устранение которых будут наиболее рациональными.

5. Результаты и выводы

Проведенные расчеты показали, что в тело каждого человека в прибрежной зоне за год попадает 52,7 мг ОВ.

Как видно из таблицы 2, косвенный ущерб может оказаться на порядок выше прямого ущерба странам Балтийского региона и затрат на реабилитацию пострадавших, что составит ~5,5% от ВВП государств и достигнет размеров тех средств, которые тратятся на очищение речных стоков.

На рисунке 2 показана заключительная стадия выделения наиболее значимых предпосылок, что позволит оценить относительный вклад каждой из них в размер экологического риска. Так же проводится отбор отрицатель-

ных вкладов, с помощью которых определяется самый рациональный вариант вложения превентивных затрат. Для того чтобы сократить общие потери, необходимо провести превентивные мероприятия по следующим направлениям:

Таблица 2. Оценка масштабов годового экологического ущерба от поступления ОВ в Балтийском море [8]

№№, Вид экологического ущерба от поступления ОВ в море		Масштабы экологического ущерба	
		Денежный эквивалент, млрд. $	Доля от ВВП прибрежных государств, %
1. Негативные последствия поступления ОВ в человеческий организм	а) лечение 100000 онкологических больных	2,5	0,15
	б) преждевременная смертность 100000 больных	10,0	0,6
2. Введение моратория на рыболовство		1,96	0,05
3. Прекращение оборота туристического бизнеса		156,0	4,4
Всего		~165,0	5,5

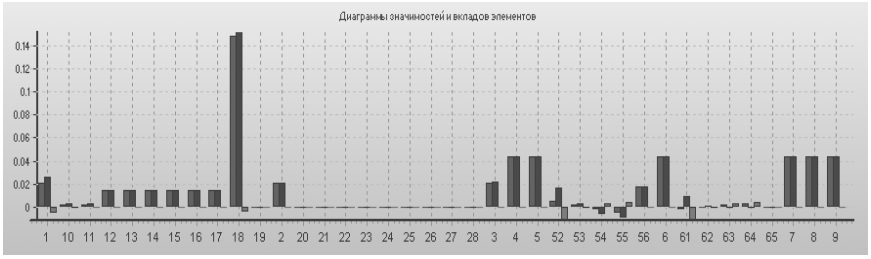


Рис. 2. Диаграмма значимостей и вкладов

1) более детальный анализ концентраций ОВ в водной среде для уточнения результатов моделирования;
2) введение моратория на рыбную ловлю в зонах затопления ОВ, а так же в радиусе 100 км от этих зон;
3) изменение пути прокладки трубопровода Норд-Стрим, а так же жесткий контроль его строительства независимыми экспертами;
4) перенесение транспортных водных путей в обход Борнхольмской впадины;
5) жесткий контроль качества пойманной в Балтийском море рыбы.

1. Moscow News, 1994 #22 (719).
2. Andrulewicz E. War gases and ammunition in the Polish Economic Zone of the Baltic Sea/ Polish Academy of Sciences. National Scientifical Committee of Oceanic Research, 1994, Gdansk, #67. pp. 83-89.
3. Korzenewski K. War gases in the southern Baltic Sea/ Ibid, pp. 91-101.
4. Российский Химический Журнал, 1994. Т. 38. № 2. С. 112-116
5. Аникиев В.В. Факторы, определяющие уровень содержания отравляющих веществ в воде и донных отложениях Балтийского и Северного морей / В сб. Моделирование экологического риска от затопленного химического оружия, 2007, М. ВИНИТИ деп. № 650 С. 24-34.
6. Simon Bonnell, US/EU-Baltic 2009, Nord Stream Route Survey, Map 91.12F
7. Sanderson et al, Screening level fish community risk assessment of chemical warfare agents in the Baltic Sea/ Journal of Hazardous Materials, 2008, № 154, pp. 846-857.
8. Балтийская проблема, Постановка задачи/ http://enwl.net.ru

It is possible to provide estimation of environmental influences of warfare agents, having analyzed negative factors by means of the logical-probabilistic program of modelling. The fulfilled calculations have allowed constructing the hierarchical scheme of priorities in the field of ecological safety.

Т.В. Бодряков
(Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), С.-Петербург, e-mail: Timofey_Bodryakov@vsegei.ru)

Некоторые геоэкологические аспекты управления береговой зоной (на примере Выборгского залива)

T.V. Bodryakov
(A.P. Karpinsky Russian Research Geological Institute (VSEGEI), St. Petersburg)

Some geoecologic aspects of management in the coastal zone (on example of Vyborg bay)

Проблемама управления береговой зоной достаточно остро стоит перед специалистами разных стран мирового сообщества. Например, для инженерной геологии вопрос о строительстве сооружений в береговой зоне является одним из наиболее важных. Такие же проблемы стоят перед пользователями рекреационных территорий в пределах береговой зоны, поскольку границы береговой зоны определяются особенностями волновых процессов и стабильность берега в большой степени зависит от гидродинамического режима.

Для управления береговой зоной необходимо знать ее геологические, геохимические, литодинамические, геоморфологические, гидрологические и другие особенности. В рамках данной работы была предпринята попытка рассмотреть геохимические аспекты управления береговой зоной в Выборгском заливе.

Комплексные геохимические работы, проводившиеся в береговой зоне Выборгского залива, предполагали отбор образцов донных осадков и грунта с поверхности субаэральной части. Лабораторные исследования были проведены на базе химической лаборатории ФГУП «ВСЕГЕИ» и включали определение широкого спектра химических элементов методом приближенно-количественного спектрального анализа.

На основе полученных данных был высчитан региональный фон (x) по площади и стандартное отклонение (δ) для каждого элемента. Аномальные значения вычислялись по формуле $x + 3\delta$.

Поскольку в России до сих пор нет единого утвержденного стандарта ПДК для донных осадков, то содержания элементов сравнивались по классификации загрязнения донных осадков по данным Шведского агентства по контролю за загрязнением окружающей среды (Swedish Environmental Protection Agency). Эта классификация представлена в таблице 1.

Были выявлены станции с аномально высоким содержанием химических элементов относительно фона. А также было выявлено, что большинство проб с превышенным содержанием элементов приурочены к антропогенным источникам загрязнения.

Табл. 1. Классификация загрязнения донного осадка Шведского агентства по контролю за загрязнением окружающей среды (SFT), ppm

Элемент	**Классификация (верхний предел классов I – V)**				
	I Фоновое	**II Умеренное**	**III Явное**	**IV Сильное**	**V Экстремаль-ное**
As	<20	20-80	80-400	400-1000	>1000
Pb	<30	30-120	120-600	600-1500	>1500
Cd	<0.25	0.25-1	1-5	5-10	>10
Cu	<35	35-150	150-700	700-1500	>1500
Cr	<70	70-300	300-1500	1500-5000	>5000
Hg	<0.15	0.15-0.6	0.6-3	3-5	>5
Ni	<30	30-130	130-600	600-1500	>1500
Zn	<150	150-700	700-3000	3000-10000	>10000

Следующий этап работы заключается в привлечении внимания органов местного административного самоуправления для принятия мер по измене-

нию обстановки. А также разработка рекомендаций по дальнейшему регулированию содержания химических элементов.

Поскольку Выборгский залив находится в относительной близости от границы с Финскими территориальными водами, то вопрос о загрязнении донных осадков и вод выходит на международный уровень. Учитывая активное развитие российско-финских отношений в последнее время, можно сделать предположение о недопущении загрязнения природных сред в данном районе.

Мониторинговые исследования, проводимые в пределах Выборгского залива, позволят более точно прогнозировать геохимическую обстановку, а также дать новые предпосылки в управлении береговой зоной.

The coastal zone management is very important problem in the world. For example, building constructions in the engineering geology in the coastal zone is most important question. Therefore in this paper was just a attempt for some geoecologic aspects of management in coastal zone in Vyborg bay.

В.Ф. Бреховских[1], И.П. Трубкин[2], И.А. Немировская[3], З.В. Волкова[1]

([1]Институт водных проблем РАН, Москва, e-mail: vadim@aqua.laser.ru; volkova@aqua.laser.ru; [2]Всероссийский научно-исследовательский институт охраны природы, Москва; e-mail: trubkin.ivan@bk.ru; [3]Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, e-mail:nemir@ocean.ru)

Оценка выноса углеводородов из донных отложений при дночерпательных работах

V.F Brekhovskikh[1], I.P. Trubkin[1], I.A. Nemirovskaya[2], Z.V. Volkova[1]

([1]Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow;[2]All-Russia scientific research institutes of wildlife management;[3]Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Estimation from carrying out of hydrocarbons from sediment of dredging

Дночерпательные работы связанные с прокладкой трубопроводов, дноуглублением для судоходства, реконструкцией портов и др. служат источником вторичного загрязнения вод. В ходе этих работ образуется облако взвеси – «мутьевое пятно», которое перемещается с водными массами и распространяется на некоторое расстояние от места работ. Во взвешенное состояние переходит при этом от 2 до 5% от объема удаленного осадка в зависимости от его гранулометрического состава (илистые, мелкодисперсные фракции легче всего переходят во взвешенное состояние [1, 3]). В част-

ности на 1 километр длины трубопровода во взвешенное состояние может переходить от 20 до 50 т осадка. Потенциальную опасность для экологического состояния водных объектов представляет вынос токсичных веществ, накопившихся в донных осадках (тяжелых металлов, углеводородов - УВ, хлорорганических соединений и т.д.). Токсические и пороговые уровни загрязняющих веществ, содержащихся в морской воде, для основных групп морских организмов сильно различаются между собой и могут отличаться в десятки раз. Поэтому проблема оценки влияния загрязняющих веществ при проведении дночерпательных работ на экосистему в целом достаточно сложна. Многочисленные исследования показали, что взвешенные вещества заметно сказываются на состоянии ихтиофауны и планктонных и бентосных организмов [3].

Однако известно, что природные колебания концентрации взвесей в прибрежной зоне моря и в придонных слоях на открытых морских акваториях могут на 2-4 порядка превышать фоновые значения без заметных изменений качественного и количественного состава биоценозов. Единого критерия по мутности для различных видов гидробионтов не существует, и действующие нормативы нужно рассматривать как ориентировочные. Во многих случаях опасность уменьшается за счет того, что большинство этих веществ сорбируется на частицах взвеси и в конечном итоге снова осаждается на дно [2].

На примере Балтийского моря был проведен расчет выноса углеводородов (УВ) из донных осадков при дночерпательных работах из Финского залива в открытую часть моря.

В водах Балтийского моря содержание взвеси меняется в пределах от 1 до 32.4 мг/л [4]. Согласно действующим рыбохозяйственным нормативам, концентрация взвешенных веществ в морской среде до 10 мг/л рассматривается как фоновая. Максимальные отклонения от фоновых уровней наблюдаются в период сильных штормов, особенно в придонных водах. При этом они относительно быстро (в течение часов и суток) нивелируются до фоновых значений. В морских водах, обладающих электролитическими свойствами, избыточная мутность исчезает намного быстрее, чем в пресных. Здесь происходит процесс агрегирования мелких частиц. Образуются крупные частицы, имеющие более высокую скорость осаждения.

Для Балтийского моря характерна высокая пространственная неоднородность распределения концентраций УВ в воде и донных осадках [2]. В мелководных заливах Балтики содержание УВ в воде в большинстве случаев повышено, особенно на устьевых участках рек и в портовых акваториях. Однако и в открытых водах Финского и Рижского заливов концентрации УВ не достигают ПДК. Среднее содержание УВ в водах Финского залива составляет для растворенной формы 16 мкг/л, для взвешенной формы – 21 мкг/л. Основная часть взвеси осаждается во внутренней части дельты Невы [2]. Повышенное содержание УВ в донных осадках характерно для при-

брежных районов с высоким антропогенным влиянием и преобладанием тонкодисперсных отложений.

Методика расчета деформаций дна, используемая в данной работе, изложена в [6]. В частности, по исходным материалам о скоростях и направлениях ветра с использованием гидродинамической модели выполнялись расчеты пространственных распределений параметров волн (высот, длин, периодов волн, орбитальных скоростей волнового движения на дне), течений. Затем определялись расходы наносов и деформации рельефа дна. Расчеты были сделаны для фракции <0,001 мм, которая в основном определяет долю осадка, переходящего во взвешенное состояние [1].

Практически все потоки в море, переносящие осадочный материал, являются турбулентными. В таких потоках скорость в каждой точке имеет постоянно меняющуюся величину и направление, а падение частиц может на продолжительное время задерживаться. Это возникает, если равнодействующая сила направлена под некоторым углом вверх, и ее величина окажется достаточной для нейтрализации силы тяжести, то частица будет поддерживаться во взвешенном состоянии.

Вертикальная составляющая осаждения частиц меняется по данным различных авторов от 1/10 до 1/30 от горизонтальной скорости потока [1, 6]. Скорости придонных течений в Финском заливе составляют в среднем не более 0.1-0.2 м/сек. Принимались наихудшие для окружающей среды условия, когда взвешенные частицы рассеиваются на максимальное расстояние и не осаждаются (безопасные для гидробионтов концентрации взвешенного материала могут достигаться только путем разбавления, а не осаждения). Размеры площади, занимаемой взвесью при дноуглубительных работах, задавались с учетом наличия в составе грунта тонкодисперсной фракции.

Максимальные значения площади, занимаемой взвесью при различной её концентрации [1]

Концентрация взвеси, мг/л	0.25	10	20	50	100
Площадь, км^2	50	40	30	20	15

Согласно оценке, участок акватории дна, покрытый слоем осадка толщиной 5 мм может составить 15 км^2 (табл.). Максимальные значения площади, занимаемой взвесью при дноуглублении (5 км) и при прокладке трубопровода по дну (117 км) при различной её концентрации, были рассчитаны при условии снижения максимальной толщины слоя грунта на дне до 5 см высоты относительно фонового уровня.

Если учесть, что тонкодисперсные осадки аккумулируют на поверхности частиц малорастворимые соединения, а во взвесь переходит не более 5% от объема вынутого осадка, то переход из взвеси в водную фазу составит менее 0.01% от общей массы УВ. При этом можно считать, что увеличение

концентраций растворенных УВ будет пренебрежимо мала. Это означает, что если содержание УВ в воде в данном районе не превышало ПДК, этот уровень сохранится.

Расчеты показали, что концентрация взвешенных веществ в воде для наиболее тонких фракций убывает до фоновых значений через 20-23 суток (рис. 1, 2). Для более крупных фракций (в частности 0.05 мм) время оседания до фоновых значений уменьшается в 15 раз за 1.5 суток (рис. 1).

Эти данные согласуются с модельными экспериментами по взмучиванию загрязненных нефтью донных осадков, так как основная часть нефтепродуктов (в среднем 55% от первоначального количества, перешедшего в воду при взмучивании), связана с взвесью. Содержание УВ в осадке при этом колебалось от 1 до 10 мг/г сухой массы.

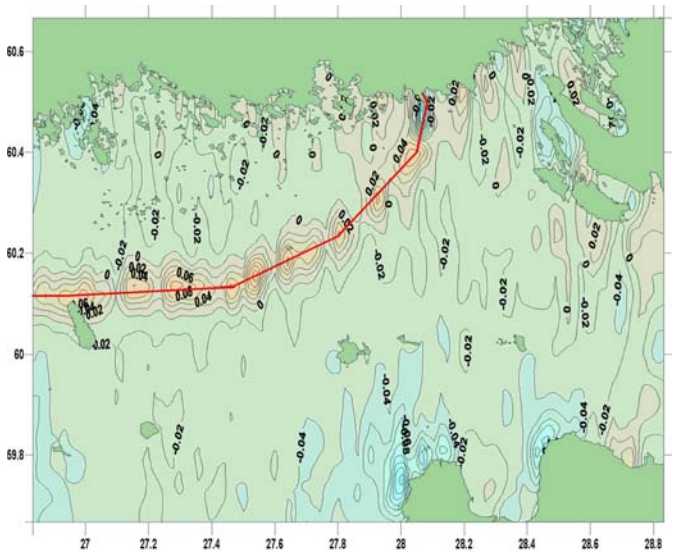


Рис. 1. Распределение относительных вертикальных деформаций дна (м) к моменту окончания работ по прокладке трубопровода.

Можно утверждать, что в целом при проведении работ по прокладке трубопроводов в Балтийском море увеличение концентрации растворенных УВ будет кратковременным и незначительным. Переход из взвеси в водную фазу составит менее 0,01% от общей массы УВ даже в случае мелкоалевритовых и алевритово-пелитовых илов. Исключение могут составлять только отдельные участки с наиболее сильно загрязненными УВ донными отложениями (в частности, акватории портов).

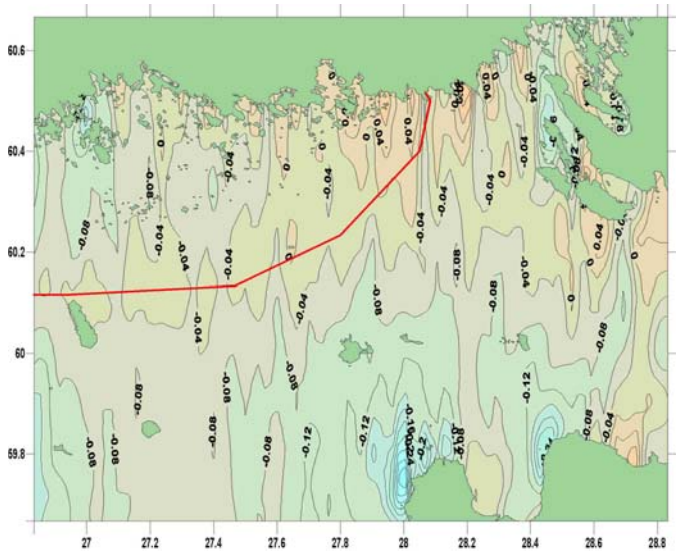


Рис. 2. Распределение относительных вертикальных деформаций дна (м) через 30 дней после окончания работ.

1. Лисицын А.П. Осадкообразование Берингова моря. М.: Наука. 1966. 574 с.
2. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные–осадки) М.: Научн. мир. 2004. 328 с.
3. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: ВНИРО. 2001. 247 с.
4. Пустельников О.С., Баланс осадочного материала и скорости современного осадкообразования в Балтийском море/ Baltica. Вильнюс: ОГ АН ЛитССР, 1977. N 6.С. 155-160.
5. Ткалин А.В., Шаповалов Е.Н. Поступление нефтяных углеводородов в морскую воду при взмучивании загрязненных донных отложений//Океанология. 1985. Т.25. Вып.5. С. 775-779.
6. Трубкин И.П. Ветровое волнение (взаимосвязи и расчет вероятностных характеристик) // М.: Научный мир, 2007. 263 с.

Dredging is always the source of water secondary pollution, but our estimation has shown that increase of soluble hydrocarbons concentrations will be short and insignificant while dredging in the Baltic Sea. Hydrocarbons transition from suspended matter into the water body will be less than 0/01% of hydrocarbons total mass even for fine aleuritic and aleurite-pelite silts. This conclusion may be not valid for areas with heavily polluted bottom sediments (for example a ports water area).

А.А. Виноградова, Л.О. Максименков, Ф.А. Погарский
(Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, e-mail: anvinograd@yandex.ru)

Загрязнение водосборов сибирских рек тяжелыми металлами от промышленных комплексов Норильска и Урала

A.A. Vinogradova, L.O. Maksimenkov, F.A. Pogarskii
(Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS, Moscow)

Heavy metal pollution of the Siberian river's basins from the industrial complexes of Norilsk and Ural

Реки Сибири, впадающие в моря Северного Ледовитого океана, несут туда взвешенное и растворенное вещество. Состав речных вод формируется в результате поступления веществ из грунтов и почв, образующих ложе реки и ее притоков, с талыми поверхностными водами, со сточными водами антропогенного происхождения вблизи населенных пунктов и объектов промышленности, расположенных на берегах. Атмосфера также оказывает свое влияние на состав речных вод, поскольку переносимые в воздухе вещества (в том числе, различные загрязнения) осаждаются как непосредственно на водную поверхность, так и на почвы, лед, снег, растения на всей территории водосбора реки. На территории России существует несколько крупных промышленных регионов (Урал, район Норильска, Кольский п-ов и др.), являющихся источниками загрязнений глобального масштаба, атмосферные эмиссии которых разносятся воздушными потоками на огромные расстояния.

Моделирование и оценка антропогенного влияния на окружающую среду – одна из сложных, но очень важных практических задач. Предположение малых размеров источников по сравнению с дальностью распространения примеси (до 5-10 тыс. км) и анализ многолетних (10 лет и более) данных о переносе воздушных масс позволяют оценить среднее антропогенное воздействие через атмосферу на удаленные территории с помощью методики, развитой в [1].

В данной работе оцениваются многолетние средние вклады промышленности Урала и Норильска в загрязнение тяжелыми металлами (ТМ) воздуха, осадков и наземных природных объектов на территории Сибири, а также сезонные и долговременные вариации этих показателей. Изучается атмосферное воздействие этих крупных источников на загрязнение тяжелыми металлами территорий водосборов крупных рек Сибири – Оби, Енисея и Лены.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ОЦЕНОК

Изучение распространения примеси в атмосфере основано на анализе многолетних массивов траекторий движения воздушных масс от источников. Расчет 5-суточных траекторий для каждого дня января, апреля, июля и

октября с 1981 по 2007 гг. осуществлялся на изобарических поверхностях 925 и 850 гПа (старт в 0 часов GMT, интервал расчетов 1 час) с помощью модели HYSPLIT 4 и данных реанализа полей метеорологических характеристик NOAA (NCEP/NCAR Reanalysis Data Files). Источники задавались условными координатами: Норильск – 69º с.ш., 88º в.д.; Урал (ввиду протяженности) – двумя точками – 53º с.ш., 58º в.д. и 57º с.ш., 61º в.д. Пространственные распределения плотности числа траекторий и примеси в воздухе от каждого источника строились на картах с координатной сеткой (1º×1º) для каждого месяца за 10 лет – отдельно для 1980-х (1981-1990), 1990-х (1990-1999) и 2000-х (1998-2007) годов. Распределения для Урала, полученные от двух точек-источников, усреднялись в каждой ячейке. Эффекты от Норильска и Урала считались независимыми, их общее влияние оценивалось путем суммирования в каждой ячейке.

Для конкретных оценок были выбраны три металла – свинец, никель и медь (Pb, Ni, Cu), – поскольку они характеризуют три различные комбинации эмиссий рассматриваемых регионов-источников (таблица): свинец выбрасывается в основном на Урале, никель, наоборот, – в районе Норильска, а медь – почти поровну обоими источниками (по данным [2] и аналогичных изданий 1990, 2001, 2005 и 2008 гг.). При дальнем переносе все рассматриваемые химические элементы распространяются в воздухе преимущественно на аэрозольных частицах субмикронного размера, поэтому скорости их осаждения на подстилающую поверхность считались одинаковыми и неизменными по мере распространения от источника, однако учитывались сезонные и пространственные различия скорости осаждения примесей [3].

Таблица. Выбросы ТМ в атмосферу регионами-источниками, т/год.

Источник	Десятилетие	**Pb**	**Ni**	**Cu**
УРАЛ (Свердловская и Челябинская области)	1980-е	2000	90	4500
	1990-е	1200	30	2000
	2000-е	800	20	1500
НОРИЛЬСК	1980-е	100	3000	3500
	1990-е	40	1400	2000
	2000-е	26	700	1000

Считая рассматриваемые месяцы представительными для каждого сезона, оценивались сезонные вариации характеристик загрязнения, а средние и суммарные годовые показатели вычислялись в предположении равной длительности сезонов. Долговременные тенденции изменения характеристик загрязнения оценивались при сравнении результатов для трех указанных выше десятилетий.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

По нашим оценкам на картах построены средние (для каждого десятилетия) пространственные распределения ТМ, поступающих от двух рассматриваемых источников, в атмосфере и в осадках, а также распределения потоков ТМ на подстилающую поверхность для любого сезона и в целом за год. Эти данные могут использоваться для средних оценок антропогенного воздействия на наземные природные объекты в любой точке Западной и Восточной Сибири, в том числе в фоновых труднодоступных областях. Показано, что долговременные изменения загрязнения природной среды в разных районах Сибири под воздействием перестройки процессов циркуляции атмосферы вполне соизмеримы с эффектом от уменьшения эмиссии источников в тот же период (но могут отличаться по знаку) [3].

О масштабе изучаемых эффектов можно судить при сравнении поступления примеси в какой-то природный объект из атмосферы с вкладом других каналов ее поступления или выноса. В данной работе мы оценили поступление рассматриваемых ТМ через атмосферу от Урала и Норильска на водосборы трех крупных сибирских рек – Оби, Енисей и Лены. На рисунке показано, как соотносятся годовые потоки ТМ, переносимые по трем каналам: от рассматриваемых источников в атмосферу (эмиссии); по воздуху от источников на поверхность водосбора; с речными водами в Северный Ледовитый океан. Приведены оценки, относящиеся к 1990-м годам, использованы данные о годовом стоке ТМ с речными водами в моря Северного Ледовитого океана из [4]. Видно, что все потоки соизмеримы друг с другом. Ранее [5] нами было показано, что потоки антропогенных ТМ из атмосферы в воды морей Российской Арктики вполне соизмеримы с потоками, выносимыми туда впадающими реками. Таким образом, изучаемые нами эффекты дальнего переноса ТМ в атмосфере являются значимыми для наземных (в частности, водных) экосистем.

Обсуждая влияние только двух источников, можно сказать, что бассейн Оби в основном испытывает антропогенную нагрузку со стороны Урала, а бассейны Енисея и Лены – наоборот, со стороны Норильска. Долговременные эффекты таковы: в начале XXI века потоки никеля и меди от Урала и Норильска через атмосферу на водосборы всех рек уменьшились, а для свинца это справедливо только для бассейна Оби. Наоборот, выпадения свинца, принесенного от рассматриваемых источников, на водосборы Лены и Енисея несколько возросли, несмотря на продолжающееся уменьшение эмиссии этого металла источниками в 2000-х годах (табл. 1). Это показывает значимость процессов перестройки атмосферной циркуляции в долговременных изменениях антропогенного воздействия на окружающую среду различных районов Сибири.

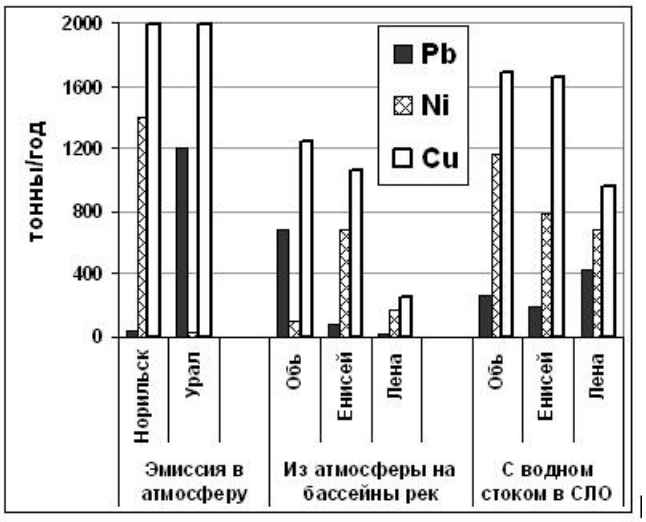


Рисунок. Сопоставление различных потоков свинца, никеля и меди.

Процесс формирования элементного состава речных вод очень сложен: он определяется множеством физических (температура, притоки и др.), химических (кислотность, ионный состав и др.), геологических (состав подстилающих пород, рельеф и др.) и биологических (органика, гидробионты и др.) факторов [6], а также в значительной степени зависит от водообмена с почвенными и грунтовыми водами. По рисунку видно, что в большинстве случаев содержание каждого из рассмотренных ТМ в речном стоке больше, чем суммарный поток этого металла из атмосферы на площадь водосбора. Исключение составляет лишь свинец в водах Оби – из атмосферы его поступает больше, чем выносится водами реки в Карское море. Обсуждение причин этого эффекта выходит далеко за пределы данного сообщения и компетенции авторов, однако хотелось бы отметить два, несомненно, значимых фактора. Во-первых, по данным [4] свинец почти полностью (более 95%) находится во взвеси речной воды всех трех рек, в отличие от никеля и меди, от 25 до 50% которых находятся в речных водах в растворенных формах. Во-вторых, территория водосбора Оби в значительной степени расположена на болотистых низменностях Западной Сибири, где процессы формирования элементного состава вод существенно отличаются от условий Енисея и Лены [6].

ВЫВОДЫ

Оценены средние потоки тяжелых металлов (Pb, Ni, Cu), принесенных в атмосфере от двух крупных промышленных регионов (Норильск и Урал), на подстилающую поверхность в различных районах Сибири, а также их сезонные и долговременные изменения за 27 лет (1981-2007 гг.).

В целом в 2000-х годах антропогенная нагрузка на природные объекты Сибири со стороны Урала и Норильска уменьшилась по сравнению с последними 20 годами XX века, количественный эффект различен для разных мест, сезонов и примесей. В частности, изменение циркуляции атмосферы привело к повышению потоков свинца (преимущественно от Урала) на водосборы Енисея и Лены.

Величины средних потоков свинца, никеля и меди, поступающих от Урала и Норильска через атмосферу, на природные объекты и экосистемы водосборов наиболее крупных сибирских рек – Оби, Енисея и Лены – вполне соизмеримы с потоками этих же тяжелых металлов, которые выносятся водами рек в Северный Ледовитый океан.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №16/2, а также Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 07-05-00691).

1. Виноградова А.А. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана Автореферат дис…. докт. геогр. наук. М., 2004. 39 с.
2. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (России) 1997 г. СПб, 1998. 433с.
3. Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А. Влияние промышленности Норильска и Урала на окружающую среду различных районов Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 6. С. 479-485.
4. Гордеев В.В. Реки Российской Арктики: потоки осадочного материала с континента в океан // Новые идеи в океанологии. М.: Наука, 2004. Т. 2. С. 113- 167.
5. Виноградова А.А.. Загрязнение природной среды российских арктических морей // Природа. 2008. №1. С. 86-88.
6. Темерев С.В. Взаимодействие водных экосистем с поверхностью водосбора на примере Обь-Иртышского бассейна // Сибирский экологический журнал. 2006. Т. 6. С. 773-783.

Atmospheric transport of air masses and aerosol heavy metals from the regions of Norilsk and Ural was analyzed for the period of 1981-2007. For Ni and Cu atmospheric fluxes onto the surface of White, Barents, Kara, and Laptev Seas are well comparable with river's discharged fluxes. The effects of variations of air circulation and of source emissions on the change of environment pollution during 20 years were compared.

З.В. Волкова, В.Ф. Бреховских
(Институт водных проблем РАН, e-mail volkova@aqua.laser.ru; vadim@aqua.laser.ru)

Влияние дночерпательных работ на экологические характеристики водных объектов

Z.V. Volkova, V.F. Brekhovskikh
(Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences)

The impact of dredging on ecology of water objects

Землечерпание, связанное с проведением добычи нерудных строительных материалов на подводных карьерах, прокладкой трубопроводов, подводных коммуникаций, дноуглублением с целью судоходства и др. является одним из распространенных видов антропогенного воздействия на водные объекты. Разнообразие условий, в которых находятся эти объекты, масштабы проведения работ, использование тех или иных технологических решений при землечерпании приводят к однонаправленным, хотя и разномасштабным воздействиям на водную среду объектов и их экологические характеристики. Однако этот вопрос изучен недостаточно и в литературе приводятся разноречивые данные по влиянию землечерпания на водные объекты.

Считается, что влияние земляных работ на качество воды достаточно легко поддается определению в отличие от влияния на биоту. Потенциальная опасность землечерпания связана с изменением донного рельефа, увеличением мутности вод, выносом загрязняющих веществ из донных отложений, тонкодисперсных взвесей, поступлением органических веществ, увеличением потребления растворенного в воде кислорода, прямым и косвенным воздействиям на биоту и др.. К нежелательным эффектам относится вынос биогенных элементов, особенно азота и фосфора, способствующих развитию процессов эвтрофирования вод.

Поступление загрязняющих веществ в воду может способствовать быстрому развитию патогенных микроорганизмов и ухудшению санитарно-гигиенического состояния водной среды. Значительные расхождения в результатах, полученных разными исследователями свидетельствуют о недостаточной изученности этих процессов.

Между тем, следует иметь в виду, что основные загрязняющие вещества находятся главным образом в верхнем слое донных отложений, т.е. наибольшего загрязнения следует ожидать при вскрышных работах. Для определения возможности разгрузки черпаемого материала в национальные воды США EPA принял критерии, отражающие допустимые значения показателей качества донных отложений. В состав критериев входят также данные об объеме материала, показателях качества воды и ее использовании при черпании грунта, времени года проведения работ, физико-химических характеристиках грунта. Грунт считается загрязненным, если хотя бы один из

ниже перечисленных показателей превышает допустимый уровень содержания, такой грунт нельзя сбрасывать в воду. В России такие критерии отсутствуют.

Высокое содержание взвесей, образующихся при нарушении донных отложений, может оказывать негативное влияние на зоопланктон, обитающий в придонных слоях морских вод. Подобное воздействие может наблюдаться и для подвижных форм макрозообентоса, однако они имеют возможность уходить из зоны образования мутьевого облака со значительным содержанием взвешенных веществ. Закрепленные на донном субстрате беспозвоночные, и тем более, рыбы, адаптированы к периодическим повышениям концентраций взвесей и другим литодинамическим явлениям в целом.

Согласно действующим рыбохозяйственным нормативам для морских вод, содержание взвешенных веществ в них может составлять до 10 мг/л. Однако, природные колебания взвесей в прибрежной зоне моря и в придонных слоях на открытых морских акваториях могут на 2 – 4 порядка превышать это значение. При этом изменений качественного и количественного состава биоценозов не отмечается. Поэтому, для оценки негативного воздействия дночерпательных работ на экосистемы морских вод, были предложены показатели так называемых «экологически толерантных порогов» (ЭТП), составляющий для взвешенных веществ 50 мг/л в шельфовой зоне при фоне > 10 мг/л .

Сублетальные эффекты для зоопланктона наблюдаются при концентрациях взвесей в морской воде в интервале 100-1000 мг/л. Можно считать, что при превышении величин ЭТП могут наступить необратимые негативные изменения в зоопланктоне. При концентрации взвеси свыше 50 мг/л весь зоопланктон погибнет. Эти значения могут быть использованы при расчетах прогнозируемого рыбохозяйственного ущерба.

Общего критерия по мутности для различных видов гидробионтов не существует, поскольку они по-разному реагируют на повышение содержания взвешенных веществ. Наиболее чувствительной в этом смысле является икра рыб, хотя и здесь указываются различные предельные нормы. Так, в одном случае при концентрации взвешенных веществ 20 мг/л погибло только 50% икры форели, а в другом при этой же концентрации наблюдали 100%-ную смертность. Правда, в первом случае это относилось только к мелким фракциям глины, осевшим на икру. При более крупных глинистых фракциях порог увеличивался до 60 мг/л, а для крупного кварцевого песка - до 110 мг/л.

В меньшей степени подвержены влиянию повышенной мутности личинки и мальки рыб - так, для личинок пеляди допустимый порог концентрации взвешенных веществ определяется в 50 мг/л, а для мальков окуня, форели, плотвы и карпа - 2500 мг/л.

Многие исследователи указывают, что само по себе увеличение мутности не всегда является определяющим и что, например, на мелководье ее

увеличение за счет ветрового взмучиванию может быть значительным и сопоставимо с увеличением, наблюдаемым при черпании грунта.

Поскольку при проведении добычи нарушается рельеф дна, структура грунта, изымаются со своих биотопов организмы, это отрицательно влияет на состояние донной фауны. Было показано, что дночерпательные работы влияют не на численность и биомассу бентосных сообществ, а на структуру биоценозов, что может способствовать ослаблению устойчивости экосистемы в зоне проведения работ .

Высвобождение биогенов стимулирует деятельность фитопланктона. В прибрежных водах, обычно прозрачных, может быть и ингибирующее воздействие (за счет мутности), но оно незначительно.

Физиологическая активность форм металлов различна и мало изучена. Установлено, что свободные ионы ТМ при определенных концентрациях в большинстве случаев токсичны для гидробионтов, в то время как ионы, связанные в комплексные соединения, особенно с органическими веществами естественного происхождения (гумусовые, белковоподобные соединения) даже при высоких концентрациях обладают пониженными токсическими свойствами. Доступность соединений металлов, в частности микроэлементов, для гидробионтов также зависит от их форм существования в водной экосистеме.

Для оценки потенциального выноса ряда наиболее токсичных элементов из твердой фазы в воду для модельного водоема (по своим условиям соответствующего прибрежному участку Балтийского моря) были выполнены расчеты возможного выхода различных микроэлементов с учетом их форм нахождения.

Для оценки легкоподвижных форм металлов для этого района были использованы литературные данные о химическом составе донных отложений водохранилищ и озёр таёжной зоны. Были приняты наихудшие условия (использовались максимальные значения мгновенных объёмов областей шлейфов), валовые содержания в них металлов в твёрдой фазе принимались по аналогии с донными отложениями водохранилищ, расположенных в близких природных условиях. В качестве подвижных форм рассматривали ионообменные формы и формы, связанные с органическим веществом. Формы металлов, связанные с гидроксидами Fe и Mn, не рассматривались. Используя количественную оценку массы элементов, находящихся в образовавшемся шлейфе взвешенных веществ и той её части, которая может перейти в раствор и выносится из шлейфа, были определены величины выноса элементов из взвешенных веществ.

Начальная концентрация элементов, перешедших в растворённое состояние, рассчитывается, исходя из предположения о мгновенном выходе элементов в объём воды, загрязнённой взвесью. В табл.1 приводится прогноз условий загрязнения водных масс водного объекта тяжёлыми металлами, объёмы определены расчетным путем.

Таблица 1. Потенциально возможное количество легкоподвижных форм элементов, выносимое из шлейфа взвешенных веществ, сформировавшихся при проведении дноуглубительных работ (граммы)

Элемент	ТМ в ДО, мг/кг	Масса во взвесях, гр.	Легкоподвижные формы, %	Вынос из шлейфа, гр.
Mn	288,8	9688	32,2	3119
Fe	10514	1023065	12,2	6711
Pb	2,8	769	4,8	36,9
Cu	11,9	681,2	4,5	30,7
Zn	43,0	3028,3	28,4	860
Cr	8,3	780,4	3,1	24,2
Ni	8,8	571,3	6,0	34,3

Таблица 2. Оценка уровней начального загрязнения водных масс при переходе тяжёлых металлов из твёрдой фазы в воду (мг/кг) в районе дночерпания, (А- приращение, В- концентрация)

Элемент	Объём воды 50000м^3		Объём воды 65000м^3		Объём воды 230000 м^3	
	А	В	А	В	А	В
Mn	58,7	109	48,2	98,2	13,4	63,4
Fe	126	131	104	108	29	33
Pb	0,69	7,7	0,57	7,57	0,16	7,16
Cu	0,58	2,88	0,47	2,77	0,13	2,43
Zn	16,2	48,2	13,1	45,1	3,7	35,7
Cr	0,46	0,86	0,37	0,77	0,1	0,5
Ni	0,68	2,08	0,53	1,93	0,15	1,55

Результаты выполненных расчетов показывают, что концентрации практически всех микроэлементов в воде, возникающие в процессе дночерпательных работ находятся в пределах ПДК. Исключение составляют лишь Mn,Fe, для которых наблюдалось превышение ПДК.

Таким образом, анализ влияния дночерпательных работ на экологическое состояние водных объектов показал, что в настоящее время имеются большие разногласия в оценке этого влияния. Размеры загрязненного облака в значительной степени определяются толщиной слоя илистых отложений и концентрацией элементов в них, а также гидродинамическими условиями в районе работ. Мелкодисперсные частицы могут транспортироваться на значительные расстояния с уменьшением их концентраций при удалении от места работ.

Согласно расчетам, при проведении дноуглубительных работ возможно незначительное и кратковременное локальное загрязнение вод тяжелыми металлами в легко растворимой форме. Как показывают расчеты, для большинства тяжелых металлов кратковременное увеличение их концентраций по сравнению с фоновыми не превышают 1-6 % при больших разбавляющих объемах воды. При невысоком уровне загрязнения донных отложений тяжелыми металлами в районе проведения дночерпательных работ, существенного загрязнения водной среды тяжелыми металлами не происходит.

Release of pollutants from bottom sediments during dredging is being studied. The impact of dredging on the water quality in the Baltic Sea near-shore zone is estimated. The increase of heavy metals concentrations in the water masses is shown to be insignificant.

Д.Н. Гарькуша[1, 2], Ю.А. Федоров[1], М.И. Хромов[1]
([1]Южный Федеральный Университет, [2]Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, e-mail: fizgeo@rsu.ru)

Особенности распределения метана и сероводорода в донных отложениях устьевой области Северной Двины в летний и зимний период

D.N. Garkusha[1, 2], Yu.A. Fedorov[1], M.I. Khromov[1]
([1]Southern Federal University, [2]Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don)

Peculiarities of Methane and Sulfide Hydrogen Distribution in Bottom Sediments of the Northern Dvina Mouth Area in Summer and Winter Periods

В летнюю (июль-август 2004-2006 гг.) и зимнюю межень (март 2008 г.) по профилю «вершина устьевой области – пр. Маймакса – Двинская губа Белого моря» выполнено опробование донных отложений для определения содержания метана. Отбор проб на метан сопровождался измерением в донных отложениях величин Eh и pH, в подледный период также определено содержание сульфидов. В летний период отбор проб (глубина опробования до 10 см в 0-2 см и 5-10 см горизонте) проводился по фарватеру с борта научно-исследовательского судна «Айсберг – 2» Северо-Двинской устьевой станции (СДУС, г. Архангельск), а также в ходе наземных исследований осуществлялось опробование отложений прибрежных участков, главным образом, рукавов и проток дельты, находящихся в зоне воздействия хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод г. Архангельск. В подледный период (мощность снежного покрова варьировалась в пределах 20-35 см; толщина льда составляла в среднем 25 см) во льду пробуривались лун-

ки, после чего пробоотборником конструкции ГОИНа отбирались донные отложения. Концентрацию метана в донных отложениях измеряли в горизонтах 0-2, 2-5 см и далее через каждые 5 см до глубины 30 см. Отбор, транспортировка, хранение проб и последующее определение в них концентрации метана парофазным газохроматографическим методом осуществлялись по методике, описанной в работе [1]. Величины Eh и pH отложений измерены с помощью электродов портативного pH метра иономера – "Экотест 2000", сразу же после подъема их на поверхность. Определение содержаний общего сероводорода в донных отложениях выполнено сотрудниками ГУ ГХИ по общепринятым в системе Росгидромета стандартным методикам [2]. Схема отбора проб приведена в работе[3]

В летний период содержание метана в донных отложениях устьевой области р. Северная Двина изменяется в пределах от 0,01 до 45,5 мкг/г влажного осадка. Для песчаных осадков верховьев устьевой области характерны минимальные значения, варьирующие в диапазоне 0,01-0,05 мкг/г (в среднем 0,03 мкг/г). Ниже по течению при приближении к дельте р. Северная Двина наряду с увеличением в отложениях тонкодисперсного материала концентрация метана заметно возрастает, особенно в илах районов мощного антропогенного прессинга. Так в алевритопелитовых осадках ст. 16 (порт Бакарица), расположенной ниже Архангельского целлюлозно-бумажного комбината (АЦБК), его содержание в поверхностном горизонте достигает 15,1 мкг/г. В прибрежных песчаных отложениях вершины дельты (ст.15) концентрация метана снижается, оставаясь выше, чем в верховьях устьевой области.

В широком русле Корабельного рукава (станции 13 и 14) концентрация метана достаточно высока и варьирует в песчано-алевритопелитовых илах и илистых песках соответственно в пределах 2,03-24,8 и 0,12-1,00 мкг/г. Ниже в условиях более узкого русла и увеличения скорости стоковых и приливно-отливных течений в рукавах Корабельный (ст. 25), Мурманский (ст. 26) и пр. Маймаксе сформировались песчаные осадки с положительным окислительно-восстановительным потенциалом (Eh от +31,6 до +73,0 мВ) и незначительными концентрациями метана (до 0,07 мкг/г). В песчано-алевритовых отложениях устьевого взморья (ст.1) содержание газа увеличивается, изменяясь в пределах 0,07-0,71 мкг/г в соответствии с распределением литологических типов осадков – максимальные значения тяготеют к более тонкодисперсным отложениям. Экстремально высокие концентрации (14,0-45,5 мкг/г) зафиксированы в протоках Соломбалка и Кузнечиха, подверженных влиянию сточных вод Соломбальского целлюлозно-бумажного и деревообрабатывающего комбинатов (СЦБК и СДК), ТЭЦ, судоремонтного завода, порта. Детальные исследования пр. Кузнечиха показали приуроченность максимальных значений к ее левому берегу, что обусловлено локализацией здесь основной зоны загрязнения [1,3,4].

В подледный период уровень концентрации метана в донных отложени-

ях большинства станций наблюдений был несколько выше, чем летом и изменялся в диапазоне – от 0,1 до 21,0 мкг/г влажного осадка (медиана 6,05 мкг/г). Более высокий уровень содержания метана обусловлен тем, что в темные зимние месяцы потребление питательных веществ в поверхностных слоях водной толщи минимально, и они накапливаются в придонной воде и донных осадках. Это, в условиях пониженных концентраций растворенного кислорода у дна (до 4,5 мг/л) приводит к созданию резко восстановительной обстановки (Eh до -290 мВ) уже в верхнем 0-2 см слое донных отложений, и, как следствие, мощной стимуляции метаногенеза.

Между тем, картины пространственного распределения содержания метана в зимний и летний периоды сходны. Максимальные значения зафиксированы в песчано-алевритовых илах дельты на участках проток и рукавов с низкими скоростями приливно-отливных течений, куда поступают хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды г. Архангельск; минимальные характерны для песчаных отложений верховья устьевой области.

Для распределения содержаний метана по вертикали донных отложений, как в летний, так и зимний период характерно отсутствие четко выраженной закономерности: на одних станциях максимальные его концентрации определены в поверхностном, на других – в более глубоких горизонтах. Наличие обратной связи (r = -0,68) между содержаниями метана и величинами Eh по вертикальному разрезу каждой конкретной колонки донных отложений свидетельствует, что окислительно-восстановительный потенциал среды является одним из факторов, контролирующих образование метана и его распределение по глубине донных отложений. В тоже время, построение зависимости для всех данных массива, полученного в зимний период, показало отсутствие связи содержаний метана и величин Eh. Это согласуется с ранее высказанным мнением [4], что в отложениях с восстановительными условиями среды (Eh от +14,3 до -173,3 мВ) процесс метанообразования лимитируется, в первую очередь, наличием питательных субстратов для метаногенов и конкуренцией за эти субстраты с сульфатредукторами. Последнее можно прокомментировать на примере рисунка, где представлена взаимосвязь содержаний метана и сероводорода в донных отложениях района исследования.

Анализ распределения точек на рисунке показывает, что для большинства станций наблюдения (область *A*), расположенных в дельте реки, характерна обратная зависимость между концентрацией данных ингредиентов в отложениях. Это обусловлено тем, что при наличии в среде сульфатных ионов процесс сульфатредукции термодинамически более выгоден [7], т.е. является более конкурентоспособным, вследствие чего происходит перехват сульфатредукторами молекулярного водорода и других восстановленных соединений (ацетат, формиат, метанол) у метанобразующих бактерий. При исчерпании в донных отложениях сульфатов сульфатредукция подавляется, и на некоторой глубине от поверхности дна доминирующим становится

процесс метанообразования. Однако, как показали исследования Рыбинского водохранилища и устьевой области р. Дон [1,4], в донных отложениях, подверженных мощному загрязнению лабильным органическим веществом, уже в поверхностном слое наряду с сульфатредукцией идет активный метаногенез, что подтверждается наличием здесь пиков максимумов концентраций, как сероводорода, так и метана. Это видно на примере области *B*, куда вошли пробы, отобранные в самой загрязненной реке г. Архангельск – р. Соломбалке [5]. Сделан вывод [1,4], что повышенное количество легкоусваиваемого ОВ в донных отложениях нивелирует конкурентные взаимоотношения между сульфатредукторами и метаногенами за обладание питательными субстратами. Формирование области *C*, с относительно невысокими концентрациями метана и отсутствием сероводорода, вероятно связано с небольшим количеством сульфатов и органического вещества, содержащихся в песчаных отложениях верховья устьевой области Северной Двины (ст.18 и ст.19).

Как по вертикальному разрезу донных отложений, так и в целом по акватории устьевой области между распределением концентраций метана и величиной pH наблюдается обратная экспоненциальная зависимость (r = -0,75), что, в основном, характерно и для других водных объектов [1]. Наличие данной зависимости обусловлено тем, что процессы анаэробного разложения ОВ и сульфатредукция в донных осадках водоемов и водотоков, приводят к некоторому подкислению среды.

Таким образом, проведенные исследования показали, что картины пространственного распределения метана в донных отложениях устьевой области Северной Двины в подледный и летний периоды в целом аналогичны. Отличием является несколько более высокий уровень его содержания в зимний сезон, причиной чего служат пониженные концентрации кислорода у дна, способствующие созданию резко восстановительной обстановки уже в верхних горизонтах отложений и активной генерации метана, с последующей эмиссией его в водную толщу.

Отметим, что наши данные по концентрации и закономерности распределения суммарного сероводорода в донных отложениях в основном согласуются с выводами работы [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-4983.2008.5, Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-4983.2008.5, проекта РФФИ № 09-05-00337 и госконтракта № 02.740.11.0334.

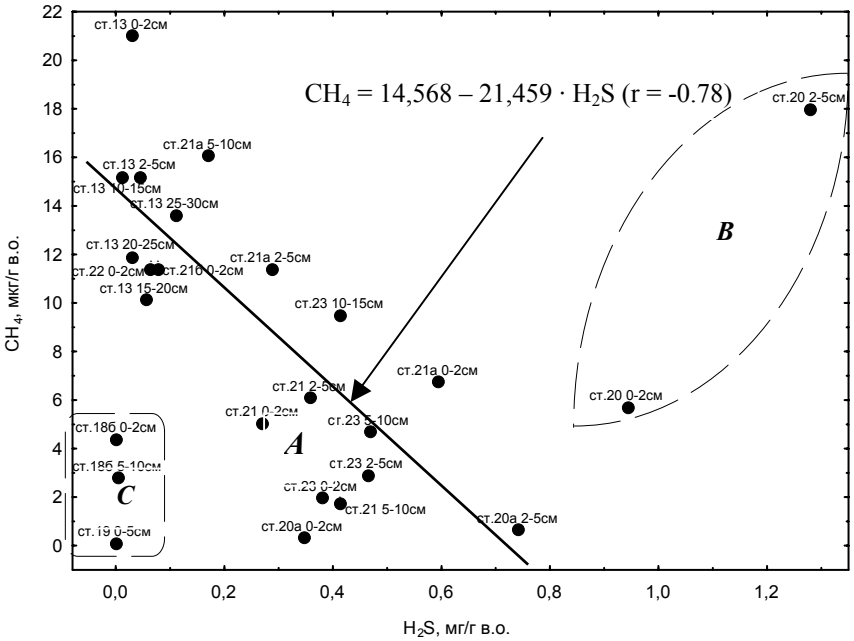


Рис. Зависимость содержаний метана и сероводорода в донных отложениях устьевой области р. Северная Двина в подледный период.

1. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах: 2-е изд., перераб. и доп. Ростов-н/Д-Москва: ЗАО “Ростиздат”, 2007. 330 с.
2. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши // Под ред. Семенова А.Д. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 541 с.
3. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Овсепян А.Э., Кузнецов А.Н. Основные результаты экспедиционных исследований на Северной Двине и в Двинской губе Белого моря // Изв. ВУЗов. Сев.-Кав. регион., сер. Естест. науки. 2005. №3. С.95-100.
4. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н. и др. Теоретические аспекты связи метаногенеза с загрязнением воды и донных отложений веществами неорганической и органической природы // Изв. ВУЗов. Сев.-Кав. регион., сер. Естест. науки. 2000. №4. С.68-73.
5. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Хромов М.И. Уровень содержания и особенности распределения метана в донных отложениях, воде, ледовом и снежном покрове устьевой области Северной Двины в подледный период. Сборник трудов V международной научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее».. 7-10 сентября 2008 года СОЛ «Лиманчик», Ростов –на–Дону, 2008, с.129-134.

6. Кокрятская Н.М., Волков И.И., Демидова Т.П., Мурзина Т.С. Соединения серы в донных отложениях осадках пресных водоемов (устье Северной Двины и Рыбинское водохранилище) // Литология и полезные ископаемые, 2003,№6, с.647-659.
7. McCarty P.L. Energetics of organic matter degradation // In: Water Pollution Microbiology, R. Mitchell (Ed.) Wiley Interscience. 1972. P. 91.

The mouth area of the Northern Dvina River is characterized by high level of methane content in bottom sediments comparable with productive river mouths of temperate latitudes. The maximum methane and sulfide hydrogen concentrations are fixed in bottom sediments on the delta channels' and branches' sections with low speeds of tidal and fluvial currents where municipal and industrial sewages are being discharged. In the zone of mixture of river and sea waters, which upper border is located deeply in the delta and moves according to the tidal cycle, the decrease of methane content is observed with the salinity increase.

Ф.Н. Гиппиус[1], Н.А. Демиденко[2], А.Н. Пантюлин[1], В.Ю. Федулов[1], М.М. Юркин[1]
([1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: fedor.gippius@gmail.com , apantiulin@newmail.ru, [2]Государственный океанографический институт, Москва, e-mail: demidenko_nikola@mail.ru)

Термохалинные исследования в губе Долгая Баренцева моря

F.N. Gippius[1], N.A. Demidenko[2], A.N. Pantiulin[1], V. Yu. Fedulov[1], M.M. Yurkin[1]
([1]Moscow State University, Moscow, [2]State Oceanographic Institute, Moscow)

Thermohaline studies in the Dolgaya bay of the Barents Sea

Исследования в Долгой губе Баренцева моря в июне 2009 года велись в рамках инженерно-гидрологических изысканий для проектирования Северной приливной электростанции. В ходе исследований среди прочего проводилась термохалинная съемка и зондирование акватории губы. Измерение температуры и солености поверхностного слоя воды проводилось кондуктометром WTW; для зондирования акватории применялся CTD-зонд FSI 2D ACM. Зондирование водной массы Долгой губы и исследование термохалинных характеристик поверхностного слоя проводилось 14 июня, последнее было затем повторено 17 июня при отборе проб для гидрохимического анализа.

Во время первого рейса работа велась на 19 станциях, расположенных непосредственно в губе и близ её устья (рис. 1). На каждой из станций про-

водилось измерение поверхностных температуры и солености и зондирование водной массы до дна.

По результатам съемки были построены карты поверхностного распределения температуры и солености воды (рис. 2а, 2б). На этих картах отчетливо видно влияние ветра на поверхностный слой акватории: наличие относительно пресной (около 28,5‰) и теплой (около 7,5°С) воды у западного побережья губы можно объяснить воздействием ветров юго-восточных румбов, под влиянием которых прогретый и опресненный поверхностный слой воды был прибит к берегу.

Также по данным рейса были построены разрезы вертикального распределения температуры и солености водной массы губы (рис. 3а, 3б). Рассмотрение этих разрезов позволяет выделить три основных слоя: тонкий верхний перемешанный слой, слой баренцевоморских вод, проникающих через порог и слой глубинной воды, законсервированной в котловине с зимнего периода. В последнем слое наблюдается практически полная изотермия (около 2 – 2,5°С).

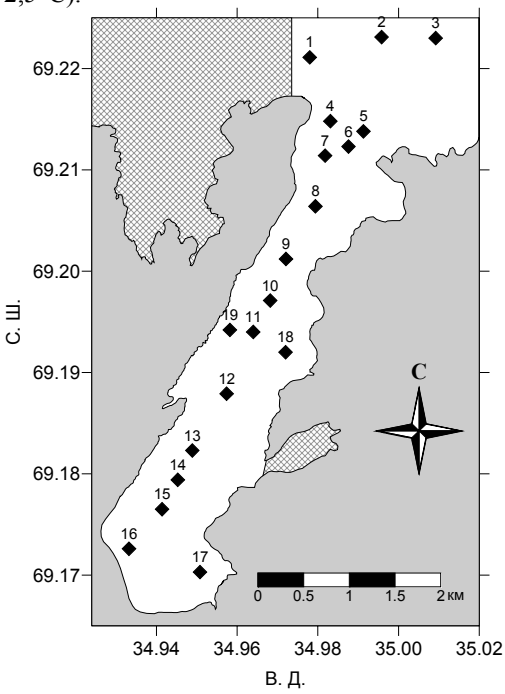


Рис. 1. Расположение станций при съемке 14 июня 2009 г.

Во время второго рейса также проводилось измерение температуры и солености поверхностных вод. Обработка данных (рис. 4а, 4б) показала изменение обстановки со времени предыдущего рейса. Так, в этот день в ре-

зультате нагонного эффекта, вызванного северо-восточными ветрами, по большей части акватории губы распространились относительно холодные (5–6°С) и соленые (31‰) воды. Поступающая с материковым стоком теплая и пресная вода оказалась заблокирована в кутовой части Долгой губы.

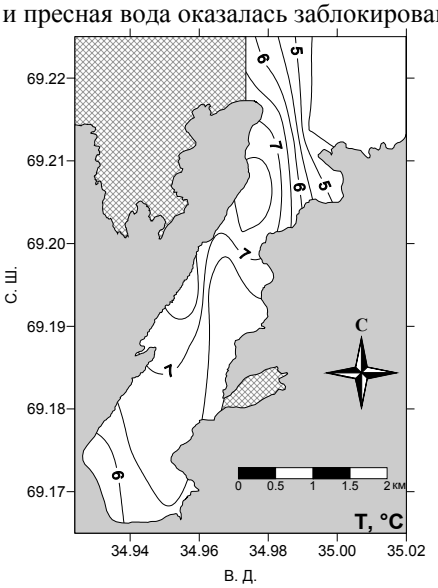


Рис. 2а. Распределение температуры в поверхностном слое губы Долгой 14 июня 2009 г.

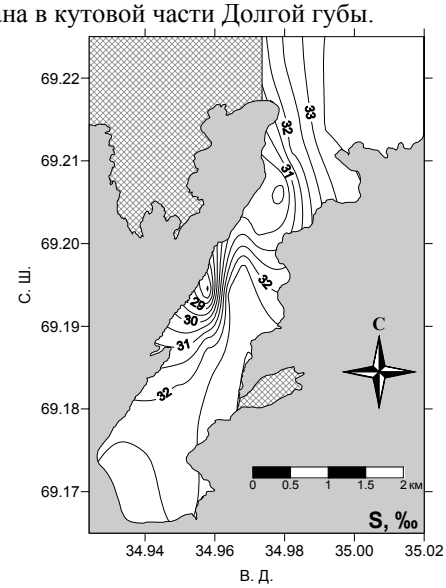


Рис. 2б. Распределение солености в поверхностном слое губы Долгой 14 июня 2009 г.

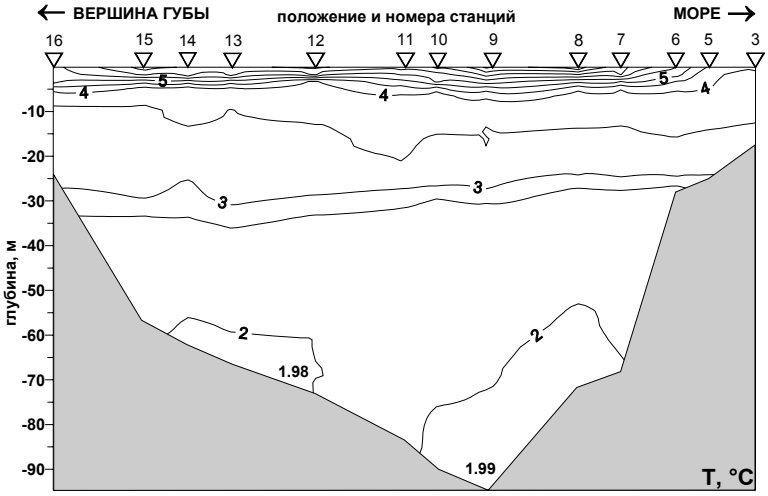


Рис. 3а. Распределение температуры на продольном разрезе в губе Долгой 14 июня 2009 г.

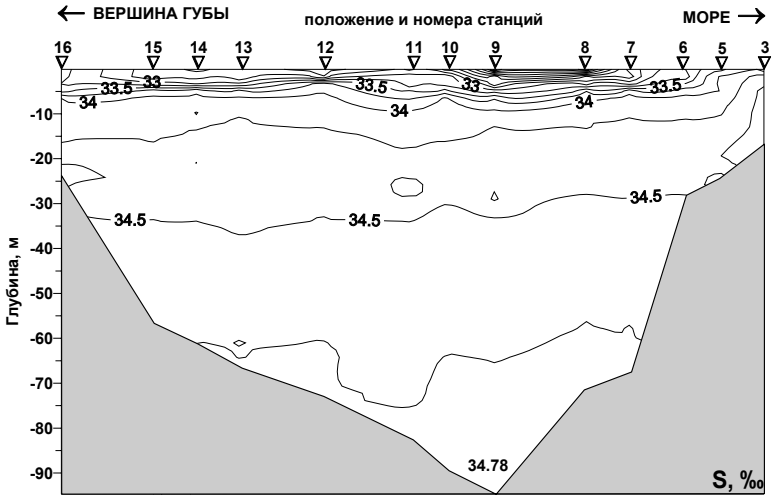


Рис. 3б. Распределение солености на продольном разрезе в губе Долгой 14 июня 2009 г.

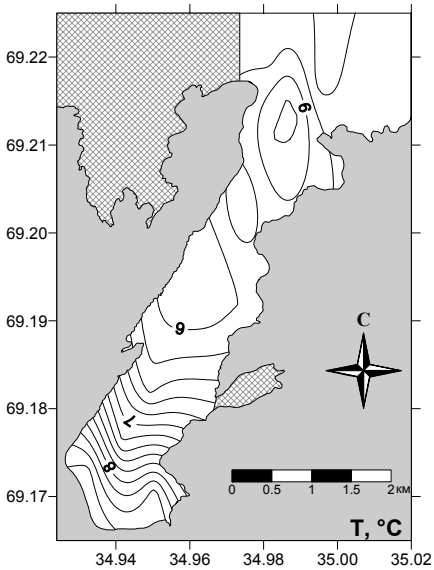


Рис. 4а. Распределение температуры в поверхностном слое губы Долгой 17 июня 2009 г.

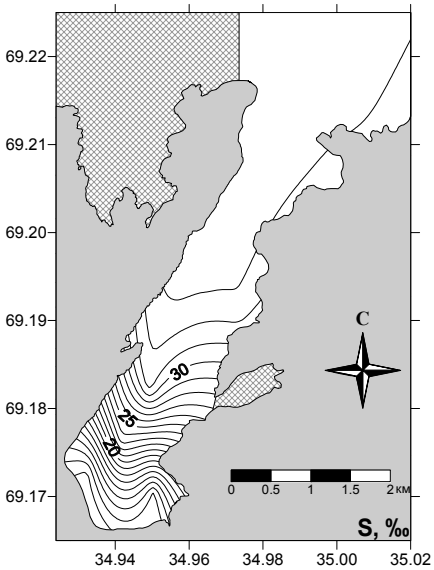


Рис. 4б. Распределение солености в поверхностном слое губы Долгой 17 июня 2009 г.

Termohaline surveys in the Dolgaya bay of the Barents Sea were carried out at spring period. We made profiling and sampling for water temperature and

salinity. The results of our studies are presented on the maps and sections in this article.

О.К. Гращенкова[1], Н.А. Демиденко[2], Л.Е. Ефимова[1], К.К. Кивва[1], Ф.Н. Гиппиус[1]
([1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: okgrashch@mail.ru, ef_river@mail.ru, [2]Государственный океанографический институт, Москва, e-mail: demidenko_nikola@mail.ru)

Гидрохимические исследования в губе Долгая Баренцева моря

O.K. Grashchenkova[1], N.A. Demidenko[2], L.E. Efimova[1], K.K. Kivva[1], F.N. Gippius [1]
([1]Moscow State University, Moscow, [2] State Oceanographic Institute, Moscow)

Hydrochemical studies in the Dolgaya bay of the Barents Sea

Гидролого-гидрохимические и экологические исследования в губе Долгая (Восточная) Баренцева моря, проводившиеся в связи с проектированием приливной электростанции (Северной ПЭС), позволили оценить современное экологическое состояние вод губы, изучить сезонную изменчивость содержания биогенных элементов, исследовать продукционно-деструкционные процессы.

Гидролого-гидрохимическая съемка губы Долгая была выполнена в меженный период (21 августа 2008 г.) и на спаде весеннего половодья (17 июля 2009 г.). Пробы воды отобраны на 14 станциях из поверхностного и придонного горизонтов, а также из области термоклина. Содержание растворенного кислорода и биогенных элементов определено согласно методикам, изложенным в [1].

Губа Долгая расположена в южной части Баренцева моря. Она вдается в восточную часть Мурманского побережья Кольского полуострова на расстояние 5,5 км. На юго-западе в вершине губы впадает р.Долгая, а также многочисленные мелкие ручьи. Воды притоков, поступающие в губу, ультрапресные. Минерализация этих вод в период весеннего половодья не превышает 25 мг/л, в меженный период увеличивается до 50 мг/л. При смешении речных и морских вод в устьях ручьев возрастает минерализация и увеличивается относительное содержание ионов морского происхождения. Сезонная изменчивость зоны смешения речных и морских вод определяется колебаниями речного стока и незначительна вследствие малых расходов воды.

Гидрохимический режим губы формируется под влиянием водообмена с морем и мало отличается от гидрохимического режима открытых прибрежных районов и больших заливов южной части Баренцева моря. Весенне-

летняя термогалинная стратификация вод устанавливается вследствие увеличения речного стока (в период интенсивного таяния снега на водосборной территории губы), а также прогрева поверхностных вод. Наличие глубокой котловины и подводного порога в устье губы способствует формированию структуры вод, в которой выделяются: тонкий верхний перемешанный слой, слой баренцевоморских вод, проникающих через порог и слой глубинной воды, законсервированной в котловине с зимнего периода. Главный пикноклин залегает летом на глубине 25–30 м, второй сезонный скачок плотности – в верхнем 5–10-метром слое. Соленость поверхностных вод в весенний и летний периоды изменяется в пределах 10–33 ‰, соленость подповерхностных и глубинных вод составляет 33–34 ‰.

Содержание растворенного кислорода в поверхностных и подповерхностных водах губы высокое в течение всего года: 10,2–10,7 мг/л (зимой), 10,3–10,7 мг/л (весной) и 10–11 мг/л (летом). В весенний период верхние слои воды выше главного пикноклина пересыщены кислородом (рис. 1б). В летний период относительное содержание O_2 составляет 108–121 % (рис. 1а), что свидетельствует об активно протекающих процессах фотосинтеза. Интенсивному фотосинтезу в подповерхностных слоях способствует высокая прозрачность вод губы (6,5 – 8,5 м в августе 2008 г.).

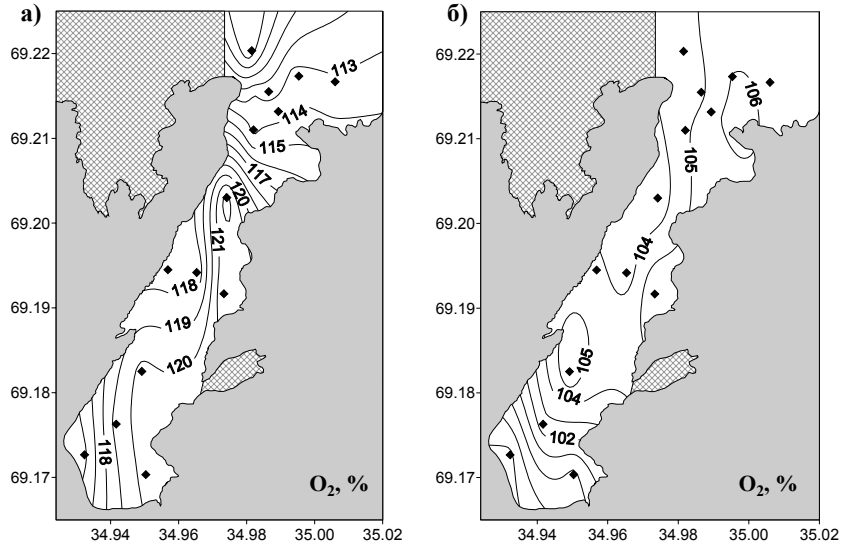


Рис. 1. Распределение растворенного кислорода (%) на поверхности губы Долгой: а) август 2008 г.; б) июнь 2009 г.

Подповерхностные и глубинные воды губы хорошо аэрированы. В августе 2008 г. концентрация кислорода на глубинах свыше 75 м не опускалась ниже 7,7 мг/л (75 % насыщения), а в июне 2009 г. составляла 91–95 % насыщения. В придонных горизонтах на станциях глубиной менее 30 м насыщение вод O_2 превышало 100%.

Изучение продукционно-деструкционных процессов в водах губы показало, что на спаде весеннего половодья (июнь 2009 г.) первичная валовая продукция в поверхностном слое изменялась от 0,09 до 0,16 г С/м^3 в сутки, а деструкция составила 0,09–0,17 г С/м^3 в сутки. В глубинных холодных водах деструкционные процессы протекают с малой интенсивностью. В придонном горизонте центральной части губы величина БПК$_1$ в июне 2009 г. не превышала 0,07 мг O_2/л (в пересчете на органический углерод – 0,02 г С/м^3).

Основные закономерности распределения биогенных элементов в водах губы таковы. На спаде весеннего половодья содержание минерального фосфора в поверхностном слое губы изменялось от 6 до 10,5 мкг/л. Максимальная концентрация $P_{мин}$ (24,3 мкг/л) была зафиксирована в придонном горизонте в центральной части котловины на глубине 95 м. В августе 2008 г. картина распределения была несколько иной. У поверхности содержание $P_{мин}$ изменялось в пределах 3,4–6,4 мкг/л без выраженного минимума в устье р. Долгой, воды которой бедны минеральным фосфором (1–3 мкг/л). В глубоководной котловине концентрация $P_{мин}$ больше (36,8 мкг/л). Содержание органического фосфора на поверхности в июне было несколько меньше, чем в августе и составляло 10,6– 13,6 мкг/л.

Характер распределения азота нитратов подобен характеру распределения минерального фосфора. В поверхностном слое определяемые значения минимальны (от станции к станции в июне 2009 г. они изменялись в пределах от 23,6 до 53,4 мкг/л), но с глубиной содержание нитратов увеличивалось, достигая максимума в придонных слоях (112 мкг/л). Весной минимальное содержание минерального азота отмечено в кутовой части губы, что объясняется притоком пресных вод, в которых концентрация $N_{мин}$ не превышала 16 мкг/л. В августе 2008 г. содержание нитратного азота в поверхностных водах губы составляло 0–13,6 мкг/л, в глубоководной котловине - 80,3 мкг/л (рис. 2).

Аммонийный азот – первый неорганический продукт процесса трансформации органического азота, поэтому на начальной стадии нитрификации его содержание довольно значительно. Концентрация аммонийного азота на поверхности в июне 2009 г. колебалась в пределах 6,9-12,2 мкг/л, убывая в кутовой части губы. С глубиной содержание аммонийного азота увеличивалось, достигая наибольших величин в придонном горизонте центральной котловины. Летом биохимические процессы приводят к небольшому снижению концентрации аммонийного азота в поверхностном слое (3,7–10 мкг/л) и заметному росту его содержания в глубинных котловинах.

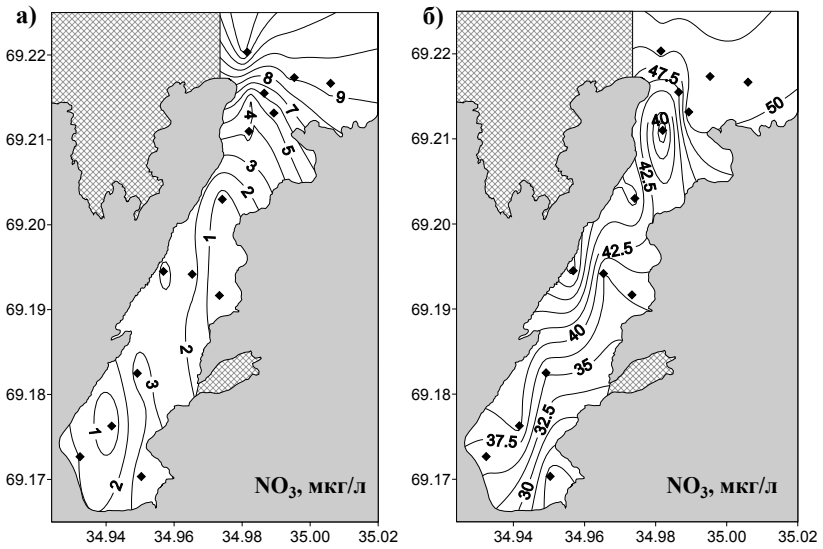


Рис. 2. Распределение нитратного азота (мкг/л) на поверхности губы Долгой: а) август 2008 г.; б) июнь 2009 г.

Содержание азота нитритов в морской воде и весной, и летом несущественно (0,32–2,59 мкг/л). При этом максимальные концентрации характерны для придонных горизонтов.

Наибольшая концентрация органического азота, как и органического фосфора, была отмечена в поверхностных водах губы (1074,7 мкг/л). С глубиной содержание органического азота снижалось почти в три раза. В августе картина распределения органического азота схожая, но его концентрация существенно меньше – 52–363,3 мкг/л.

Распределение кремнекислоты в весеннюю съемку характеризовалось величинами 138,1–618,8 мкг/л (заметно больше, чем в летнюю межень, что связано с притоком речных вод), увеличиваясь с глубиной и достигая максимума вблизи устья р. Долгой (рис. 3).

Распределение биогенных элементов в водах губы характеризуется следующими закономерностями:

– На поверхности концентрации минеральных форм фосфора и азота минимальны, органических – максимальны. В результате окисления органического вещества по мере увеличения глубины наблюдается обратная картина распределения биогенных элементов.

– Поскольку наиболее интенсивные биохимические процессы (цветение фитопланктона, минерализация органики и др.) происходят летом, а перемешивание вод, напротив, зимой, то в августе наблюдается более контрастное распределение концентраций биогенных элементов (и на поверхности, и по глубине), чем в июне.

– В весенний период в кутовой части губы под влиянием речного стока формируются области повышенных концентраций кремния и пониженных концентраций минерального фосфора и нитратного азота.

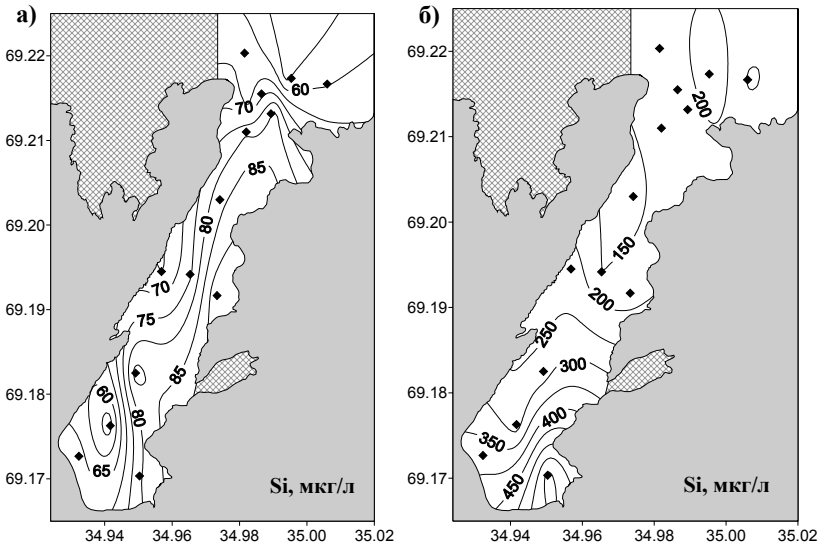


Рис. 3. Распределение кремнекислоты (мкг/л) на поверхности губы Долгой: а) август 2008 г.; б) июнь 2009 г.

Работа выполнена в рамках программы поддержки ведущих научных школ (НШ – 4964.2008.5).

1. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

Hydrochemical surveys in the Dolgaya bay of the Barents Sea were carried out at spring and summer periods. We made profiling and sampling for dissolved oxygen, primary production, silicon, mineral and organic phosphorus, ammonium, nitrite, nitrate and organic nitrogen. Main peculiarities of the distribution of oxygen and nutrients are typical of studied seasons.

М.Г. Губайдуллин[1], Д.В. Бурков[2]
([1]Архангельский государственный технический университет, Архангельск, [2] ОАО «Варандейский терминал», Нарьян-Мар, e-mail: [1]thng@agtu.ru, [2]burkov-d@mail.ru)

Геоэкологический мониторинг Варандейского терминала для вывоза нефти северным морским путем с месторождений Ненецкого автономного округа

M.G. Gubaidullin[1], D.V. Burkov[2]
([1]Arkhangel state technical university, Arkhangelsk, [2]JSC "Varanday oil terminal", Naryan-Mar)

Geoecological monitoring of the Varanday oil terminal for export of oil northern sea by from deposits of Nenets autonomous region

Площадь континентального шельфа России составляет около 6.5 млн. км^2. Примерно 90 % этой территории приходится на перспективные в нефтегазоносном отношении области, в первую очередь, в западной части Арктического шельфа, что обуславливают необходимость организации транспортировки нефти во многих районах прибрежно-морской зоны. Проблема мониторинга и прогноза чрезвычайных ситуаций на севере России весьма актуальна, так как в настоящее время на всех уровнях государственной власти ставится задача восстановления и развития экономики арктической зоны, ее транспортного обеспечения, в том числе Северного морского пути [1].

Одним из сдерживающих факторов роста добычи нефти в северной части Тимано-Печорской нефтегазовой провинции (ТПНГП) до недавнего времени являлось отсутствие соответствующей транспортной инфраструктуры на территории НАО, особенно для прибрежных нефтяных месторождений. Вывоз нефти из них целесообразно осуществлять северным морским путем. Для этого впервые в мировой практике, в районе Варандея, была реализована нефтеотгрузочная система в условиях замерзающего моря в течение длительного времени года. В связи с этим особое значение и актуальность приобретает обеспечение экологической безопасности эксплуатации этого уникального объекта. Данная проблема обостряется из-за неблагоприятных погодных условий, что объективно увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций и затрудняет проведение работ по ликвидации их последствий. Кроме того, природная среда региона характеризуется повышенной чувствительностью к загрязнению нефтью и крайне низкой способностью её к восстановлению. С учетом наличия здесь элементов традиционного природопользования с уникальными тундровыми экосистемами и особо охраняемыми природными территориями, становится актуальной необходимость создания эффективной системы защиты окружающей среды. Поэтому

необходимо развивать и принимать заблаговременные меры по геоэкологическому мониторингу за устойчивостью инженерных сооружений Варандейского нефтяного отгрузочного терминала (ВНОТ).

Основные негативные процессы на территории шельфа Печорского моря связаны с загрязнением наземных, прибрежных речных и морских экосистем нефтепродуктами, органическими соединениями различного происхождения, а также тяжелыми металлами, соединениями серы, механическими нарушениями почв и грунтов. Основными факторами воздействия на природную среду при строительстве и эксплуатации нефтяного терминала являются [2]:

- выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;
- воздействие сточных вод на рельеф и водные объекты;
- механические нарушения почв и напочвенных покровов;
- тепловое загрязнение толщи мерзлотных пород;
- нарушение условий тепловлагообмена на поверхности многолетнемерзлотных пластов;
- изменение гидрологического и гидрогеологического режима территории;
- нарушение термобарических условий и изменение геодинамического состояния верхних горизонтов литосферы;
- шумовое загрязнение окружающей среды;
- воздействие на фаунистические комплексы.

Эксплуатация ВНОТ связана с использованием универсальных природных ресурсов - морских вод и грунтов, атмосферного воздуха. Использование этих ресурсов сопровождается воздействием на природную среду в виде перемещения донных осадков и выбросов различных загрязнителей, образованием отходов производства и потребления.

Наличие многолетнемерзлых пород обусловило широкое распространение на этой территории современных экзогенных (криогенных) процессов. Среди них наибольшим распространением характеризуются сезонное протаивание грунтов, термокарст, термоэрозия и морозобойное растрескивание грунтов. В меньшей степени проявляются процессы морозного пучения, криогенные оползни и др. Снизить экологические риски, связанные с интенсивным развитием данного региона можно при обязательном соблюдении следующих условий [2]:

- применением надежных, экологически безопасных технологий строительства и эксплуатации нефтепроводов и морских нефтетерминалов;
- использованием в полной мере возможностей для разработки и проведения геоэкологического мониторинга для ВНОТ.

Процесс транспортнировки, как и любой вид производственной деятельности, сопряжен с опасностью, как для человека, так и для окружающей среды. В результате аварийной ситуации в районе побережья, может воз-

никнуть проблема, связанная с ущербом окружающей среде и затратами на очистку территории. Варандейский терминал никоим образом не застрахован от подобных чрезвычайных происшествий. При его эксплуатации необходимо обеспечивать адекватную готовность к реагированию на аварийные ситуации с тем, чтобы до минимума снизить возможные ущербы. Такая система реагирования может быть создана только на основе оценки и анализа риска разливов нефти.

Обоснование системы геоэкологического мониторинга представляет важную составную часть комплекса мероприятий по обеспечению безопасной эксплуатации Варандейского нефтяного отгрузочного терминала – уникального в мировой практике объекта нефтедобывающей отрасли. Слагаемые успеха и эффективности эксплуатации терминала близ Варандея очевидны. Это нефть, терминал с современной степенью автоматизации и производительности, наличие танкеров усиленного ледового класса и ледоколов для их арктической проводки.

С целью разработки системы геоэкологического мониторинга Варандейского нефтяного отгрузочного терминала, включающего береговой резервуарный парк, подводный нефтепровод в двухниточном исполнении и стационарный морской ледостойкий отгрузочный причал, необходимо рассмотреть и решить следующие задачи [3]:

- анализировать ресурсов углеводородов и вариантов транспортировки нефти месторождений ТПНГП с обоснованием вывоза нефти северным морским путем;
- оценить возможное воздействия на верхнюю часть геологической среды при отгрузке нефти арктическим прибрежно-морским комплексом;
- обосновать инновационные технологии сооружения объектов нефтяного терминала в условиях вечной мерзлоты;
- разработать систему геоэкологического мониторинга для Варандейского нефтеотгрузочного комплекса.

Результаты позволят предложить новый инструмент для решения задач в области управления экологической безопасностью при транспортировке нефти в прибрежно-морской зоне в условиях Крайнего Севера. Они могут использоваться для обоснования и совершенствования системы геоэкологического мониторинга прибрежно-морских нефтеотгрузочных сооружений с целью снижения экологического воздействия на геологическую среду и прогнозирования ее состояния. Накопленный первый такой опыт при сооружении и эксплуатации самого северного нефтяного отгрузочного терминала позволит полученные результаты эффективно использовать при строительстве аналогичных объектов в суровых условиях Арктического шельфа России.

Следует отметить, что внедрение такой системы геоэкологического мониторинга на Варандейском нефтяном отгрузочном терминале, уже начато. Он направлен на обеспечение контроля за состояния многолетнемерзлых

грунтов, на которые оказывает определенное неблагоприятное воздействие инженерные сооружения терминала, проявляющееся, прежде всего, в привносе тепла в мерзлую толщу, а также в увеличении статических нагрузок на грунты. Для этого предусмотрен комплекс мероприятий инженерной защиты, который должен обеспечить сохранения несущей способности грунтов. Контролируемыми параметрами являются температура многолетнемерзлых пород (ММП), глубина сезонного протаивания, деформация основания резервуаров. Особого внимания требует организация геоэкологического мониторинга морских сооружений терминала в районе СМЛОП и трассы нефтепровода. Опыт показывает, что основными причинами аварийных ситуаций на подводных трубопроводах являются внешние воздействия (например, оползни, ледовые образования, сейсмические воздействия и др.), а также коррозийные явления. Поэтому к надежности нефтепровода, особенно эксплуатируемых в экстремальных природных условиях, предъявляются весьма строгие требования. Наиболее эффективным действием среди противоаварийных мероприятий является периодическая диагностика технического состояния трубопровода.

Хотя технические решения проекта направлены на безаварийную работу терминала, однако возможность аварийного разлива нефти полностью исключить нельзя. Как показывает мировая практика эксплуатации подводных трубопроводов, имеется реальный риск их повреждения. Эксплуатационные риски сухопутных трубопроводов достаточно хорошо изучены. Анализ рисков подводных трубопроводов начался сравнительно недавно. Установлено, что основными причинами аварийных ситуаций на подводных трубопроводах являются внешние воздействия (например, оползнями, ледовыми образованиями, сейсмическими воздействиями и т. д.). В случае аварийной ситуации на трубопроводе в зимний период в акватории со сплошным ледовым покровом негативные экологические последствия будут значительно более интенсивными.

Система мониторинга должна обеспечивать немедленное реагирование на аварийную ситуацию. Учет и контроль ряда параметров, характеризующих состояние нефтяного терминала и окружающей среды, оказывающие взаимное воздействие, позволит предсказывать возможные их отклонения от режима нормального функционирования. Выработка единой стратегии обеспечения геоэкологической безопасности эксплуатации сооружений первого отечественного северного морского нефтеотгрузочного терминала в районе Варандея и комплексного мониторинга природной среды, накопление уникального опыта управления ею в повседневной деятельности послужит основой при реализации аналогичных проектов в других нефтегазоперспективных территориях Арктического шельфа России.

1. Бамбуляк А., Бьерн Францен. Северный путь Российской нефти: Нефть России, № 3. 2007. С. 35-37.

2. Губайдуллин М.Г., Бодин Н.А., Бурков Д.В. Геоэкологический мониторинг сооружений Варандейского нефтяного терминала // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Северные территории России: проблемы и перспективы развития». - Архангельск: ИЭПС, 2008. С. 357-360.
3. Бурков Д.В., Губайдуллин М.Г. Геоэкологический мониторинг сооружений северного морского нефтеотгрузочного терминала /НТЖ Нефтепромысловое дело. М.: ВНИИОЭНГ, 2009 - № 4 – С. 38–43.
4. Бурков Д.В., Вахаев В.Г., Губайдуллин М.Г. Инженерно-геологические условия в районе морских сооружений Варандейского нефтяного терминала //Геология морей и океанов: Материалы XVII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – М.: 2007. – С. 206-208.

Environment of construction of the first stationary oil terminal located in a southeast part of the Barents Sea in area Varanday are discussed. The basic data on a geological structure breeds, lying at the bottom of the sea where it will be located a loading mooring are given.

В.А. Даувальтер[1], Н.А. Кашулин[1], Ю. Лехто[2], Ю. Ернстрем[3]
([1]Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, Апатиты, e-mail: vladimir@inep.ksc.ru, [2]Университет Хельсинки, Финляндия, e-mail: jukka.lehto@helsinki.fi, [3]Технический университет Дании, Ризо, e-mail: jussi.jernstroem@risoe.dk)

Реконструкция загрязнения озера Умбозеро в течение последних двух столетий

V.A. Dauvalter[1], Kashulin N.A.[1], J. Lehto[2], J. Jernström[3]
([1]Institute of the North Industrial Ecology Problems Kola SC, RAS, Apatity, [2]University of Helsinki, Finland, [3]Technical University of Denmark, Risø)

Reconstruction of pollution of Lake Umbozero during last two centuries

Исследование химического состава толщи донных отложений (ДО) позволяет восстановить историю условий их формирования для отдельных озер, базируясь на определении фоновых значений содержания различных элементов в ДО и изменений их поступления в течение длительного периода времени. Эти исследования весьма актуальны для территорий с высокоразвитой горнопромышленной индустрией, где существует аномальное распределение элементов вследствие геохимических особенностей и антропогенным влиянием на них. Особую научную значимость они приобретают, когда известна скорость осадконакопления. Спокойные ненарушенные места аккумуляции ДО могут содержать исторические записи прошлых условий (климатических, геохимических),

существовавших на водосборе водоема. Если могут быть найдены и исследованы достаточно большие по площади и стабильные во времени места осадконакопления (в которых не происходит физических либо химических изменений), исследователь может установить химические изменения во времени, и становится возможным установить фоновые значения для данной территории, которые могут быть сравнены с существующими условиями. Когда химические анализы используются вместе с методикой радиометрического датирования (^{210}Pb, ^{14}C), то могут быть оценены исторические изменения качества воды во времени.

В апреле и июле 2005 г. были проведены совместные Российско-Финляндские геохимические исследования (ИППЭС КНЦ РАН и Университет Хельсинки) оз. Умбозера, во время которых были отобраны колонки ДО с 5 станций. В лаборатории ИППЭС КНЦ РАН в пробах помимо главных компонентов были определены концентрации микроэлементов, в том числе и халькофильных элементов (Hg, Cd, Pb, As), в последние десятилетия приобретшие статус глобальных загрязняющих элементов. Методика отбора и химического анализа проб ДО подробно описана ранее [1]. В колонке ДО станции 9 было проведено датирование по изотопу Pb^{210} по методу Е.Д. Голдберга [2]. Определение возраста проб в колонке ДО осуществлялось в радиохимической лаборатории Университета Хельсинки. Было установлено, что скорость осадконакопления за последние два столетия находилась в пределах от 0.36 до 2 мм/год и в среднем составляла 0.81 мм/год [3].

Одной из целей исследований являлось восстановление истории формирования химического состава ДО оз. Умбозеро, подверженного влиянию выбросов и стоков предприятий горно-металлургического комплекса Мурманской области. Озеро Умбозеро, второй по величине водоем Мурманской обл., расположено к востоку от промышленного центра Мурманской обл.. Антропогенное воздействие на него происходит в значительно меньших размерах, чем на крупнейшее озеро Кольского п-ова Имандра, и осуществляется в основном горнодобывающими предприятиями – рудниками «Восточный» ОАО «Апатит» и «Умбозерский» АО «Севредмет», деятельность которых началась в 70-е годы XX столетия.

В результате исследований было установлено, что к поверхности ДО на всех исследуемых станциях происходит увеличение концентраций Cd (рис.). Загрязнение озера этим элементом датируется 40-ми годами XX столетия, т.е. до начала деятельности рудников. Причиной загрязнения может быть начало работы комбината «Североникель» (1938 г.) в г. Мончегорск в 50-ти км к западу от озера. Особенно интенсивно озеро загрязняется в последнее десятилетие, что вероятно связано с деятельностью рудников и трансграничным переносом воздушных масс. Коэффициенты загрязнения (C_f – отношение концентрации элемента в поверхностном 1-см слое ДО к содержанию этого элемента в самой нижней части колонки, определяемого

как фоновое) Cd находятся в пределах от 4.5 до 8.4, т.е. относятся к значительным и высоким по классификации Л. Хокансона [4]. Наибольшее значение C_f для Cd (классифицируемое как высокое) отмечено в ДО станций 8 и 9 (C_f^{Cd}=8.4 и 8.3 соответственно), наиболее близкорасположенных к месту поступления сточных вод Восточного рудника ОАО «Апатит» (через р. Вуонемйок). Значительные значения C_f для Cd отмечены на станциях 3 и 4 Умбозера. Концентрации Cd в ДО исследуемых озер имеют высокие значения коэффициента корреляции (r>0.66) с другими исследуемыми халькофильными элементами (кроме As) и с содержанием органического материала.

По направлению к поверхности ДО концентрации Pb также постепенно увеличиваются и в верхних слоях достигают максимальных содержаний (рис.). Увеличение концентраций Pb происходит в начале XX века, что связано с трансграничным переносом из индустриальных районов Европы. Максимальное загрязнение, так же как и Cd, происходит в последнее десятилетие, несмотря на запрещение использования этилированного бензина. Значения C_f для Pb также высокие (по классификации Л. Хокансона), как и Cd, и находятся в пределах от 5.5 до 11.9. Максимальное значение C_f для Pb отмечено в ДО станции 8, близко расположенной к устью р. Вуонемйок, по которой в озеро поступают стоки Восточного рудника ОАО «Апатит». Концентрации Pb в толще ДО Умбозера имеют высокие значения коэффициента корреляции (r>0.66) со всеми исследуемыми халькофильными элементами (кроме As) и с содержанием органического материала.

На всех исследуемых станциях Умбозера к поверхности ДО происходит увеличение концентраций As, ранее отмеченное для Cd и Pb (рис.). Это увеличение датируется концом XIX столетия, когда практически никакой хозяйственной деятельности на территории Кольского полуострова не проводилось. Содержание As к поверхности постепенно увеличивается и максимального значения достигает в последние годы. Значения C_f для As в ДО станций Умбозера находятся в пределах от 2.0 до 4.6, т.е. относятся к умеренным и значительным по классификации Л. Хокансона, причем наибольшие значения отмечены не только на станциях расположенных около устья р. Вуонемйок, но и в северной части озера, испытывающей влияние стоков рудника «Умбозерский».

К поверхности ДО на всех исследуемых станциях Умбозера происходит также увеличение концентраций другого опасного для живых организмов халькофильного элемента Hg (рис.). Начало загрязнения озера Hg датируется концом XIX века, но наиболее интенсивное загрязнение этим элементом происходит после ввода в строй рудников на берегу озера. Значения C_f для Hg в ДО находятся в пределах от 3.2 до 6.0, т.е. относятся к значительным по классификации Л. Хокансона. Наибольшие значения C_f для Hg отмечены в ДО станций 8 и 9 (C_f^{Hg}=5.8 и 6.0 соответственно), близко

расположенных к устью р. Вуонемйок. Наблюдаются высокие значения коэффициента корреляции (r>0.51) содержания Hg в толще ДО исследуемых озер со всеми исследуемыми халькофильными элементами (кроме As) и с содержанием органического материала.

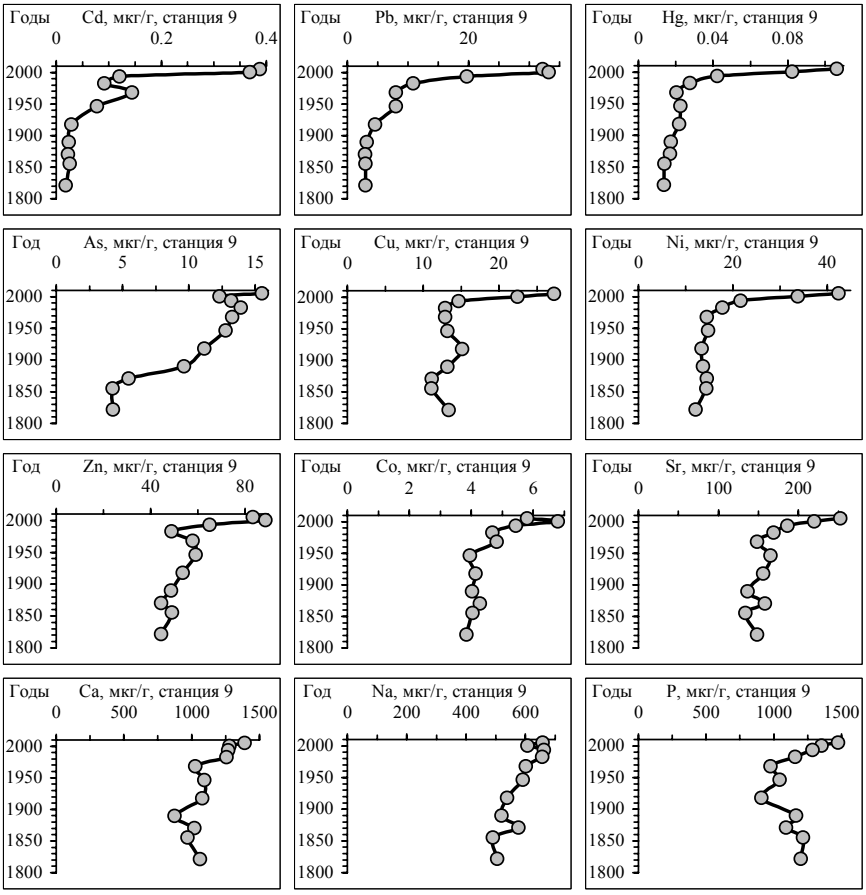


Рис. Вертикальное распределение элементов в датируемых донных отложениях станции 9 Умбозера.

В поверхностных слоях ДО Умбозера было также выявлено увеличение концентраций тяжелых металлов, выбрасываемых в атмосферу плавильными цехами комбината «Североникель», Ni, Cu, Co и Zn (рис.). Незначительное увеличение содержания этих тяжелых металлов произошло в начале XX века, а особенно резкое повышение концентраций зафиксировано в последние 20-30 лет. Это связано с увеличением выпуска

продукции и соответственно с повышением выбросов комбинатом в 1970-1980 гг. Снижение производства и выбросов комбината привело к уменьшению концентраций Co и Zn в последнее десятилетие. Значения C_f для Ni в ДО находятся в пределах от 1.2 до 3.8, т.е. относятся к умеренным и значительным по классификации Л. Хокансона. Наибольшие значения C_f для Ni отмечены в ДО станций 6, 8 и 9 (C_f^{Ni} от 3.4 до 3.8), близко расположенных к устью р. Вуонемйок. Значения C_f для Cu, Co и Zn в ДО находятся в пределах от 0.9 до 2.5, т.е. относятся к умеренным по классификации Л. Хокансона.

Зафиксировано повышение концентраций щелочных и щелочно-земельных металлов (Sr, Ca, Na, K) в поверхностных слоях ДО (рис.), что связано с поступлением сточных вод с Восточного и Умбозерского рудников. Сточные воды рудников содержат мелкие частицы и пыль минералов (апатит, лопарит), руд и вскрышных пород, содержащих в повышенных концентрациях эти щелочные и щелочноземельные металлы. Начиная с 80-х годов прошлого столетия зафиксировано также и увеличение концентраций P, что связано с поступлением апатитовой руды Восточного рудника.

Судя по материалам изучения ДО Умбозера, исследуемое озеро испытывает антропогенное воздействие, в первую очередь рудников (Восточный и Умбозерский), расположенных на берегах этого самого глубокого озера Мурманской области. В первую очередь, это воздействие сказывается в повышении концентраций в поверхностных слоях ДО таких элементов, как тяжелые, щелочные и щелочноземельные металлы, As и P. Среди тяжелых металлов наибольшие коэффициенты загрязнения зафиксированы для Cd и Pb, т.е. металлов, которые в последние десятилетия относятся учеными-экологами к одним из глобальных загрязняющих элементов, особенно в арктической и субарктической зонах Северного полушария. Значения C_f по этим элементам достигают 8.4 и 11.9 (на станции 8). Зафиксировано также значительное загрязнение Ni, главным источником которого являются выбросы комбината «Североникель».

К глобальным загрязнителям относятся также и Hg и As. Концентрации Hg увеличиваются в поверхностных слоях ДО на всех исследуемых станциях. Значения C_f для Hg находятся в пределах от 3.2 до 6.0. Ртуть является чрезвычайно токсичным металлом, поэтому даже эти относительно небольшие величины C_f могут оказать значительное отрицательное влияние на жизнедеятельность гидробионтов. Мышьяк характеризуется умеренным и значительным загрязнением в ДО исследуемых станций Умбозера. Значения C_f для As в них находятся в пределах от 2.0 до 4.6.

Наибольшие значения степени загрязнения, рассчитанная как сумма коэффициентов загрязнения халькофильных 4 элементов (Cd, Pb, Hg и As), отмечена на станциях 8 и 9 Умбозера – 28.1 и 25.5 соответственно. По классификации Л. Хокансона все станции Умбозера характеризуется как сильно загрязненные по исследуемым 4 элементам.

1. Даувальтер В.А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской субарктики (природоохранные аспекты проблемы) // Автореф. дис. д.г.н. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. 52 с.
2. Goldberg E.D. Geochronology with Lead-210. In: Radioactive Dating. Vienna: IAEA; 1963. P. 145-157.
3. Jernström J., Lehto J., Dauvalter V.A., Hatakka A., Leskinen A., Paatero J. Heavy metals in bottom sediments of Lake Umbozero in Kola Region, Russia // Environ Monit Assess. 2009 (in press).
4. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water Res. 1980. V. 14. P. 975-1001.

Sediment cores collected from different locations of Lake Umbozero were studied with respect to concentration of heavy metals Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn. Lake Umbozero is the second largest lake in the Murmansk Region and subjected to contamination by air-borne emissions and river transportation from the nearby metallurgical and mining industries. Unlike its neighboring, more industry-prone Lake Imandra, Lake Umbozero is relatively unexplored with respect to its state of pollution.

Д.В. Дорохов
(Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, e-mail: d_dorohov@mail.ru)

Опыт геоэкологического картирования прибрежной зоны Калининградской области

D.V. Dorokhov
(Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS)

Experience of the geo-ecological mapping of Kaliningrad region coastal zone

По заказу Министерства природных ресурсов РФ на примере российской части береговых зон Финского залива и юго-восточной Балтики (Калининградская область) разработана модель «Государственного кадастра береговой зоны России» (ГКБЗ). Основной исполнитель заказа Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (Санкт-Петербург). Модель кадастра береговой зоны Калининградской области создана лабораторией геоэкологии Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

На территории Калининградской области для разработки модели ГКБЗ выбраны пять ключевых участков (полигонов). Для каждого из них собраны разнородные литературные и архивные данные по геологическому строе-

нию, проявлениям полезных ископаемых, геоморфологии и эколого-геологическому состоянию береговой зоны. Выполнена систематизация, анализ и переинтерпретация геологической, геофизической и эколого-геологической информации. Проведены уточняющие полевые работы и лабораторные исследования (гео- и гидрохимические, минералогические и гранулометрические анализы). Составлены комплекты аналоговых и цифровых геологических и эколого-геологических карт.

В качестве инструмента для создания геоинформационной системы (ГИС) ГКБЗ использовался программный продукт ArcGIS 9.2 фирмы ESRI. В качестве картографической основы для создания комплекта карт по каждому полигону были использованы спутниковые снимки QuicBird в видимом спектре.

Модель ГКБЗ представляет собой ГИС блокового строения, куда входят следующие блоки: административно-хозяйственный, лито- и морфодинамический, геолого-геофизический, геоморфологический, экологический (гео-экологический). Каждый блок сопровождается тематической электронной картой.

В качестве пространственной единицы ГКБЗ используется понятие кадастрового объекта (рис. 1), который выделяется на основании двух критериев: административно-территориального деления побережья и типа береговой зоны. Каждый объект ГКБЗ в виде ГИС-слоев соответствующих карт сопровождается сопряженной базой данных (Паспорт) и текстовыми описаниями (Дело). Паспорт объекта включает параметры, численно характеризующие каждый блок ГКБЗ. Дело содержит подробную информацию по кадастровому участку, разделенную на тематические блоки.

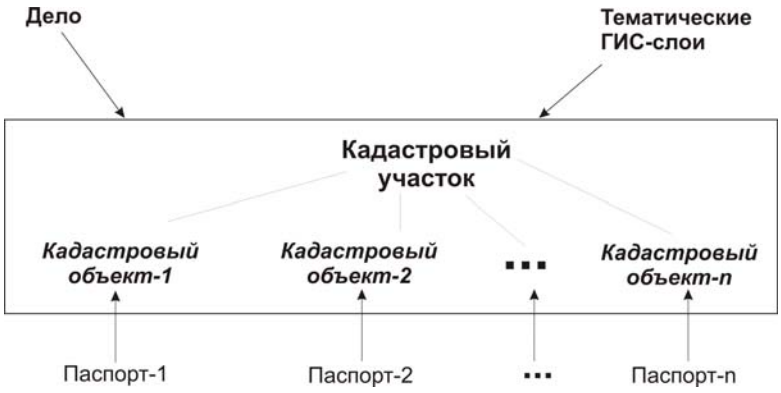


Рис. 1. Содержание информационно-картографического блока ГКБЗ.

The model of “The state cadastre of Russian coastal zone” (SCCZ) was developed by request of Ministry of natural resources on example of Russian part

of Finnish Gulf and southeastern Baltic (Kaliningrad region) shore zones. The five key areas (polygons) were selected for developing the SCCZ model on the territory of Kaliningrad region. The complete sets of analog and digital geological and ecological-geological maps with using of modern GIS-technology were made up for them. Each object of SCCZ in the form of GIS-layers of corresponding maps attended by connected database and text descriptions (explanatory notes).

И.В. Доценко, Ю.А. Федоров
(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону. e-mail: fizgeo@sfedu.ru, irinageo@mail.ru)

Динамика распределения содержания ртути в донных отложениях Азовского моря в условиях перманентно изменяющейся гидрометеорологической обстановки

I.V. Dotsenko, Yu.A. Fedorov
(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

Dynamics of mercury concentrations' distribution in the bottom sediments of the Sea of Azov under the permanently changeable hydrometeorological conditions

Донные отложения являются для ртути в основном депонирующей средой, поэтому анализ распределения, трансформации форм и концентраций в них ртути не только дает возможность оценки современного экологического состояния водоема, но и определения хронологии ртутного загрязнения. Такая попытка была предпринята в работе [5]. Было установлено, что максимумы содержания ртути регистрируются в интервале глубин 5-20см, что соответствует по времени расцвету индустриальной деятельности и второй мировой войне, когда мероприятия по охране окружающей среды были в зачаточном состоянии или вообще не проводились. Эти слои представляют определенную угрозу для экосистемы Азовского моря, поскольку бактерии-метаногены и, возможно, сульфатредукторы при исчерпании сульфатов, стимулируют образование метилртути [6,8]. К нижней границе вышеуказанных глубин залегания донных осадков приурочены зоны достаточно интенсивного развития как сульфатредукционных, так и метанообразующих процессов [7]. Формирующаяся здесь метилртуть может диффундировать или переноситься конвективным путем в составе пузырьков метана и других восстановленных газов к границе раздела «вода-донные отложения». В слое 0-5см содержание ртути было в основном ниже, чем в подповерхностных слоях.

Верхний слой донных отложений Азовского моря и, Таганрогского залива в особенности, в силу своей морфологии и протеканию активных

внутриводоемных гидродинамических процессов, вызванных частой сменой гидрометеорологической обстановки, подвергается постоянному динамическому воздействию. Поэтому следует с большой осторожностью подходить к полученным для него результатам, которые обычно используются для оценки загрязненности верхнего слоя донных отложений, залегающих на дне глубоководных водоемов. А именно этот слой и является объектом исследований всех научных и производственных организаций, которые проводят экологические работы. На данную особенность Азовского моря указывали многие исследователи, но редко кому из них, за исключением [4,5], ранее удавалось хотя бы приблизиться к изучению этого феномена в натурных условиях. Подобная возможность представилась нам во время проведения комплексной экспедиции «Азовское море – 2006» в июле и сентябре [2,3], соответственно в штормовых и штилевых условиях.

Было отобрано около 50 проб донных отложений в интервале глубин 0-70см. Содержание ртути определялось методом атомной абсорбции в холодном паре по аттестованным методикам (РД 52.24.479-95 и РД 52.44.592-97), включённым в Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей среды.

Результаты анализа показали, что концентрации ртути в донных отложениях Азовского моря во время июльской съемки колебались в пределах 0,03 – 0,30 мкг/г с.м., составляя в среднем 0,07 мкг/г с.м. Результаты определений проб, отобранных в сентябре, оказались выше, чем в июле. Вариации содержания валовой ртути составили 0,05 – 0,61 мкг/г с.м. при среднем значении 0,19 мкг/г с.м. Отметим, что эти результаты оказались в целом ниже тех значений, что были определены для интервала глубин 0-10см в период с 1991 по 2000г. [4,5]. Возможно, это является следствием снижения содержания ртути в экосистеме во времени. Однако следует учесть одно важное обстоятельство – отсутствие сведений по распределению содержания валовой ртути в Украинском секторе Азовского моря, где существуют природные и техногенные источники ртути и ранее были зафиксированы её экстремально высокие концентрации. Характерно, что в целом по станциям отбора проб, самые высокие концентрации ртути отмечены не в поверхностном горизонте, а на глубине порядка 10см, что подтверждает сделанные ранее выводы [4].

Поскольку самый значительный диапазон концентраций ртути характерен для верхнего горизонта донных отложений (0 – 5см), это нашло свое отражение в сложности картины пространственного распределения концентраций. Тем не менее, отчетливо прослеживается зависимость наибольшего содержания ртути от локализации техногенного источника поступления. Так, максимальные концентрации металла характерны для акватории (рис. 1), прилегающей к Таганрогу (ст. 8т) и Ейску (ст. 8). В сентябре пространственное распределение ртути сохранило пеструю структуру, однако, в отли-

чие от июля, основной закономерностью являются более значительные концентрации в собственно морской части акватории (рис. 2). Такая разница распределений, возможно, связана с тем, что активная гидродинамика, наблюдавшаяся в летний период исследований, могла способствовать взмучиванию донных отложений, их частичному выносу из Таганрогского залива через гирло в собственно морскую часть водоема и последующему осаждению. Эта версия подтверждается тем, что непосредственно в гирле залива отмечены относительно высокие концентрации ртути. Их формирование могло быть обусловлено седиментацией переносимой в составе взвеси ртути, вызванной резким изменением гидрохимических и геохимических условий, которыми характеризуется барьерная зона гирла залива. В пользу этого предположения говорят и данные о динамике взвеси в заливе и море, а также концентрации взвешенной ртути, которые были определены в штормовую и штилевую погоду. Так, концентрации взвеси при затухании ветровой активности в Таганрогском заливе уменьшились в 1,2 раза, а в море в 1,8 раз. Вместе с тем, содержание взвешенной ртути в осенний период, по сравнению с летним периодом исследований увеличилось (таблица 1). По всей видимости, это объясняется быстрым вовлечением высвобожденной из верхнего горизонта донных отложений при их взмучивании ртути в короткопериодный биогеохимический круговорот, осуществляемый бурно развивающимся осенью фитопланктоном. При этом седиментация взвешенной формы ртути замедляется, и она на некоторое время остается в водной толще.

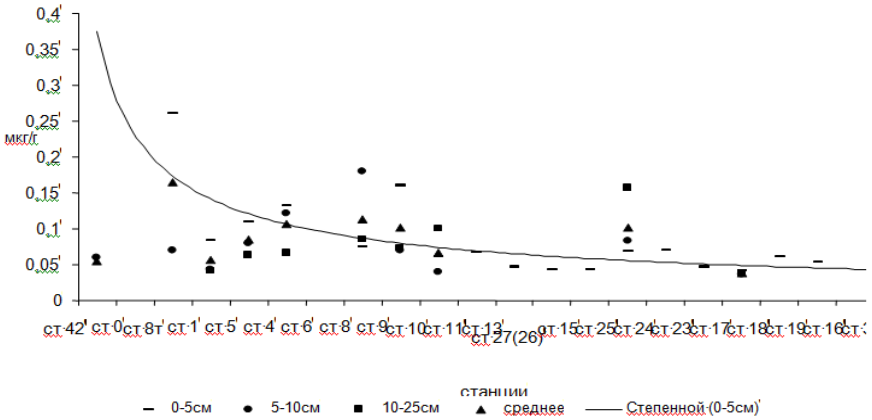


Рис. 1. Распределение содержания ртути (мкг/г с.м.) в донных отложениях на станциях по разрезу р. Дон- Азовское море в июле 2006 г.

В тоже время, обращает на себя внимание, что в Азовском море общий объем взвешенной формы миграции ртути увеличился в 4,2 раза, а в Таган-

рогском заливе, куда собственно осуществляется её основной привнос со стоком р.Дон и развивается подавляющая часть биомассы планктонных организмов – только в 2,1 раза. Это обстоятельство служит подтверждением влияния мощного внешнего фактора перераспределения ртути между заливом и собственно морем, а именно ее массопереносом в морскую часть водоема в период сильных и затяжных штормов.

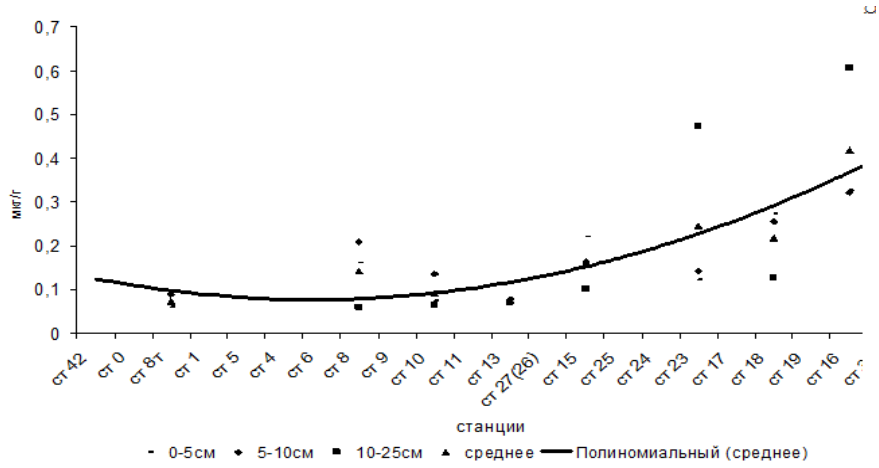


Рис. 2. Распределение содержания ртути (мкг/г с.м.) в донных отложениях на станциях по разрезу р.Дон- Азовское море в сентябре 2006 г.

Таблица Объем взвешенной формы ртути в воде Азовского моря и Таганрогского залива в июле-сентябре 2006 г. (т)

акватория	Объем ртути	
	июль	сентябрь
Таганрогский залив	0,44	0,93
	Всего 0,68	
Собственно море	13,2	54,8
	Всего 34	

Вместе с тем, нельзя упускать из внимания и ряд других причин, вносящих в это распределение некоторые коррективы. К их числу следует, прежде всего, отнести гранулометрический состав донных отложений и содержание в них органического вещества природного и антропогенного происхождения [4,5]. Обнаруженные нами высокие коэффициенты корреляции между содержанием ртути и $C_{орг}$ достигающие в пределах всей акватории моря величины 0,6, а в Таганрогском заливе 0,93 [1] подтверждают данный тезис.

Таким образом, наши исследования подтвердили, что в Азовском море содержание и распределение ртути в поверхностном слое донных отложений отличается изменчивостью и динамичностью. Среди факторов, определяющих перераспределение металла, а также формирование его потоков, как между отдельными участками акватории, так и компонентами морской среды (например, придонный слой воды и поверхностный слой донных отложений) одну из ведущих ролей играет гидродинамическая активность. Роль данного фактора необходимо учитывать при комплексной оценке ртутного загрязнения Азовского моря и его хронологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-4983.2008.5, Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-4983.2008.5, проекта РФФИ № 09-05-00337 и госконтракта № 02.740.11.0334.

1. Доценко И.В., Федоров Ю.А. Распределение $C_{орг}$ в донных отложениях Азовского моря и его роль в накоплении ТМ и других элементов (по данным корреляционного анализа)./Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии. Сб. научных трудов, Ростов-на-Дону, Изд. ИП Турова, 2007, с. 48-52.
2. Федоров Ю.А., Сапожников В.В., Сыроешкин и др./Комплексная экспедиция «Азовское море – 2006» − первый этап./Сб. трудов III-й научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее», Ростов-на-Дону, 2006, с.11-14
3. Федоров Ю.А., Сапожников В.В., Агатова и др. /Комплексные экосистемные исследования в российской части Азовского моря (18-25 июля 2006г). /Океанология, 2007, т.47, №2, с.316-319
.4. Федоров Ю.А., Хансиварова Н.М., Предеина Л.М. Особенности распределения ртути и свинца в донных отложениях Таганрогского залива и юго-восточной части Азовского моря/ Водное хозяйство России. 2003, т.5, №6, с.528-540.
5. Федоров Ю.А., Хансиварова Н.М., Березан О.А. Об особенностях распределения и поведения ртути в донных отложениях нижнего течения р. Дон и Таганрогского залива. / Известия высших учебных заведений .Естественные науки, 2001,№ 3, с.76-81.
6. Федоров Ю.А. Ртуть и метан: особенности образования и распределения в поверхностных водах. Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии. Сборник научных статей. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ АПСН, 2004, с.
7. Федоров Ю.А. Стабильные изотопы и эволюция гидросферы. М.: МО РФ Центр «Истина»,1999. - 370с.
8. “EPA Human health and environmental effects of the clear skies initiative”, report prepared for the EPA Clear Skies Workshop, 19 June 2002. EPA, note 7 above, vol. 1, page 3-18.

In the Sea of Azov the mercury concentrations and distribution are changeable that is conditioned by hydrodinamics.

Л.Е. Ефимова
(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: ef_river@mail.ru)

Распределение биогенных элементов в зоне смешения речных и морских вод в Мезенском заливе

L.E. Efimova
(Moscow State University, Moscow)

Distribution of biogenic elements in the Mezen Bay river-seawater mixing zone

В настоящее время увеличение потоков вещества в арктические моря связано не только с интенсификацией процессов химической денудации на водосборе вследствие климатических изменений, но и с антропогенной нагрузкой на прибрежные экосистемы. Закономерности трансформации химического состава речных вод при взаимодействии с морскими водами определяются многими факторами, влияющими на биологические и физико-химические процессы: гидродинамическим режимом вод, гидрометеорологическими условиями, интенсивностью и направленностью протекания внутриводоемных процессов. Характерной чертой режима устьевых областей рек является большая пространственно-временная изменчивость содержания биогенных элементов.

Цель данной работы состояла в изучении распределения растворенных форм биогенных элементов в устьевых областях рек, впадающих в Мезенский залив.

Материалом для работы послужили натурные данные, полученные в 2006 – 2008 гг. при проведении комплексных гидролого-гидрохимических съемок устьевых областей рек Кулой и Семжа. Съемки характеризовали разные фазы водного режима рек: зимнюю межень (январь 2006 г. и апрель 2008 г.) и летнюю межень (август 2007 г.). Пробы отбирались в поверхностном слое воды, после отбора фильтровались через плотный бумажный фильтр и консервировались хлороформом. Хранение и лабораторный анализ проб были выполнены по методикам, изложенным в [1].

Анализ полученных результатов показал, что наибольшее содержание растворенного кремния и фосфора в устьях исследованных рек характерно для зимнего периода. Зимой в водах р. Кулой наблюдаемые концентрации кремния в 2, а минерального фосфора в 1,5 раза больше, чем в период летней межени. Поведение рассматриваемых биогенных элементов является

консервативным. Оно обусловлено исключительно процессом динамического смешения речных и морских вод, подчиняющимся линейной зависимости (рис. 1).

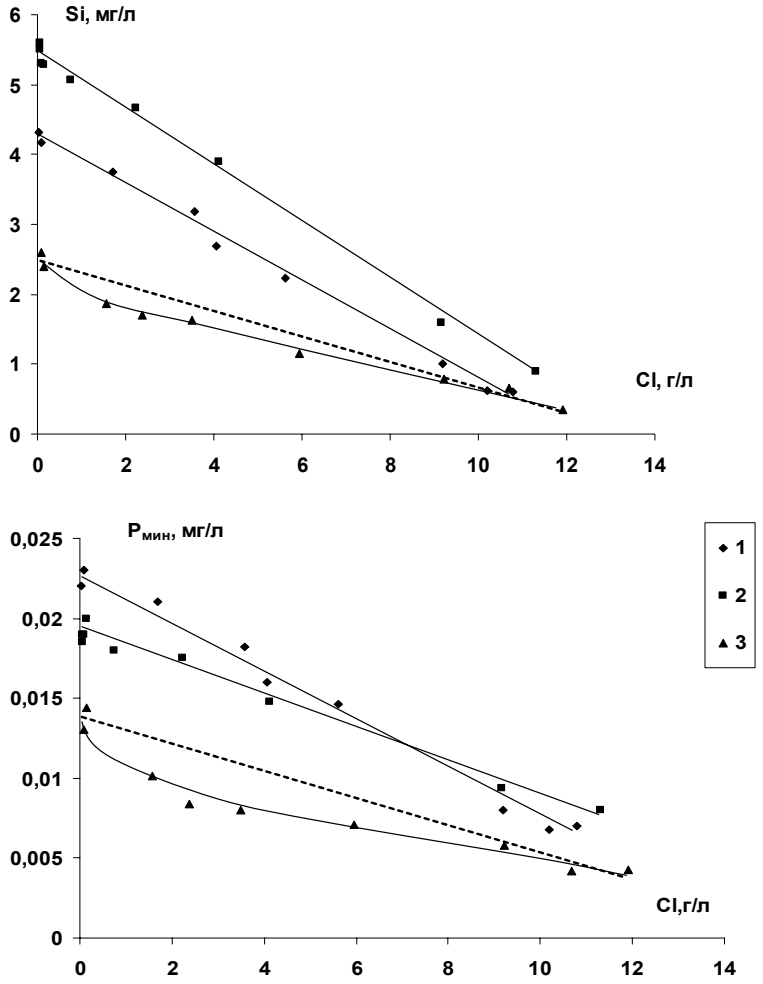


Рис. 1. Зависимости концентраций растворенного кремния и минерального фосфора от содержания хлоридов в зонах смешения вод Мезенского залива с водами рек: 1 – Семжа (январь 2006 г.), 2 – Кулой (апрель 2008 г.), 3 – Кулой (август 2007 г.). Пунктиром обозначены расчетные линии консервативного смешения.

В августе в зоне смешения вод Кулоя и Мезенского залива активно идет процесс биологического потребления кремния и минерального фосфора, обусловливающий заметное снижение концентрации этих элементов. Наибольшее потребление минерального фосфора (до 55 % от содержания в речной воде) наблюдалось при концентрации хлоридов 1,5–2,0 г/л. Поведение растворенного кремния в летний период также можно охарактеризовать как неконсервативное. Однако его потребление было ниже (около 20 % от содержания в речной воде).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 09–05–00692).

1. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

The transformation of dissolved mineral phosphorus and silicon is analyzed for the mouths of rivers flowing into the Mezen Bay. The non-conservative behavior of these biogenic elements was observed in July 2007 and was related to biological consumption. The conservative behavior of these biogenic elements is typical for the winter low water period.

В.А. Жамойда[1], Д.В. Рябчук[1], М.А. Спиридонов[1], Г.Г. Гогоберидзе[2] В.Л. Болдырев[3], В.В. Сивков[3], Б.П. Арсеньев[1], Д.В. Степанов[1],

([1]Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Vladimir_Zhamoida@vsegei.ru; [2]Российский государственный гидрометеорологический Университет (РГГМУ); [3]Атлантическое отделение Института океанологии РАН (АО ИО РАН))

Проект справочно-информационной системы «Кадастр береговой зоны Российского сектора Балтийского моря»

V.A. Zhamoida[1], D.V. Ryabchuk[1], M.A. Spiridonov[1], G.G. Gogoberidze[2], V.L. Boldyrev[3], V.V. Sivkov[3], B.P. Arseniev[1], D.V. Stepanov[1],

([1]A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St.Petersburg; [2]Russian State Hydro Meteorological University (RSHMU); [3]Atlantic Branch of P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS (ABIO RAS))

Project of Information System “Coastal Zone Cadastre of the Russian Sector of Baltic Sea”

В 2005-2008 гг. в рамках комплексных исследований по проекту «Современная оценка ресурсного потенциала, контроль геологических опасно-

стей и создание прогнозных моделей развития геологической среды в Балтийском море и его береговой зоне», выполнявшегося по заказу Регионального агентства по недропользованию по Северо-Западному Федеральному округу (Севзапнедра) Федерального агентства по природопользованию, был создан пилотный вариант справочно-информационной системы (СИС) «Кадастр берегов Российской Федерации» - на примере Российского сектора Балтийского моря.

На основе сбора данных и выполнения собственных работ было осуществлено информационное наполнение пилотного варианта СИС для всей Российской Прибалтики. Проведены обзорные маршруты в береговой зоне Российского сектора Балтийского моря, включающего восточную часть Финского залива и Юго-Восточную Балтику в пределах Калининградской области. На четырех ключевых участках в береговой зоне восточной части Финского залива (Курортный район, Большая Ижора, восточное побережье Лужской губы, Приморский) и пяти полигонах в Калининградской области (Балтийская коса, Северное побережье Самбийского полуострова, Западное побережье Самбийского полуострова, Куршская коса, устье Немана) выполнены детальные исследования, включавшие как береговые маршруты, так и морские геологические работы на прибрежных мелководьях (пробоотбор поверхностных осадков, гидролокация бокового обзора, эхолотирование).

Собрана, проанализирована и обобщена информация о состоянии геологической среды береговой зоны, выполнена типизация берегов Российского сектора Балтийского моря. Основные проблемы связаны с экзогенными геологическими процессами, часть которых относится к категории геологических опасностей, а также с интенсивным техногенезом. Ряд изменений в береговой зоне носит необратимый характер, либо требует огромных экономических затрат на охрану, восстановление и оптимизацию возникающих ситуаций. В ряду таких изменений должны быть названы: разрушение (абразия, размыв, оползание) берегов под воздействием гео- и гидродинамических факторов и техногенеза с сокращением ресурса геологического пространства; ландшафтное угнетение берегов под воздействием нарушений рельефа и комплексного загрязнения со снижением или потерей их ресурсных, промышленных, историко-архитектурных, рекреационных и социально-экономических характеристик; перепланировка, гидротехническое и другое использование (обустройство) берегов без учета лито-, морфо- и гидродинамических процессов и других факторов окружающей среды.

Суммарная (спрямленная) протяженность берегов восточной части Финского залива составляет 520 км, примерно 40% берегов постоянно находятся под воздействием опасных экзогенных процессов. Примерно 20% берегов подвержено техногенному воздействию, вплоть до принципиального изменения состояния геологической среды. В специфических условиях восточной части Финского залива, т.е. при периодическом повышении уровня мо-

ря (ветровой нагон) абразии (размыву) подвергаются почти все берега вне зависимости от их морфо-динамического типа.

В Калининградской области, особенно в курортных городах федерального значения – Светлогорске – Отрадном, Пионерском, Зеленоградске, а также на отдельных участках кос, состояние морского побережья, может быть охарактеризовано как аварийно-катастрофическое. Отмечается прогрессирующий отмыв и уменьшение ширины песчаных пляжей. Учитывая все выше сказанное, следует отметить, что на морском побережье отмечается до 10% и явлений, которые могут вызвать катастрофическую обстановку. Активизацию оползневых процессов и полное уничтожение песчаных пляжей можно приостановить при осуществлении специальных берегозащитных мероприятий по всему побережью с первоочередным укреплением аварийных участков. Современное состояние берегов как восточной части Финского залива, так и Калининградского побережья требует решения вопроса о берегозащите.

Впервые понятие Кадастра морских берегов было введено основоположниками российского учения о берегах В.П. Зенковичем и В.В. Лонгиновым в 1954 году. В работе «Кадастр берегов морей СССР» В.П. Зенкович обосновывал необходимость ведения специальных работ по составлению кадастра берегов, отмечая, что многочисленные работы в области береговедения, как отечественные, так и иностранные представляют собой, как правило, региональные описания берегов с геоморфологических позиций и не отвечают понятию «кадастра» [1]. Под Кадастром морских берегов В.П. Зенкович понимал «научное описание каждого участка берега, анализ его динамики, прогноз ожидаемых изменений берега и оценку его пригодности для практического использования» [1, с. 36]. В структуру Кадастра, по мнению В.П. Зенковича, должны были входить теоретическая часть, общая природная характеристика бассейна, прилегающей суши и берега (в том числе экономико-географические параметры), история освоения и изучения бассейна, принципы районирования берега, перечень выделенных районов. Основным блоком Кадастра должно было быть порайонное описание берега с геологических, климатических, гидродинамических, геоморфологических и экономических позиций. Именно В.П. Зенковичем были впервые поставлены вопросы исследования береговой зоны, не теряющие актуальности по сей день – необходимость объединения усилий различных организаций и специалистов смежных специальностей, организации специальных работ по составлению и наполнению кадастра берегов, а также специальной сети наблюдений [1].

В.В. Лонгинов предложил свое определение кадастра как «описания береговой зоны, раскрывающее ее содержание как объекта практической деятельности» [2, с. 44]. В своей статье В.В. Лонгинов также определил само понятие береговой зоны, ставшее классическим – «береговая зона – область взаимодействия суши и моря, в которой основным процессом являются

трансформация и рассеяние энергии волнения с материалом литосферы». В.В. Лонгинов указал на приоритетность исследования литодинамических процессов при составлении кадастра берегов.

Специалистами Института океанологии АН СССР была проделана огромная работа в области исследований береговой зоны. В результате этих работ были впервые решены многие теоретические проблемы динамики и морфологии береговой зоны, выработаны практические рекомендации по вопросам берегозащиты, предотвращения заносимости портов, дноуглубления и т.д. Проведенные исследования были обобщены в классических монографиях В.П. Зенковича «Динамика и морфология морских берегов» (1946) и «Основы учения о развитии морских берегов» (1962), В.В. Лонгинова «Динамика береговой зоны бесприливных морей» (1963), О.К. Леонтьева с соавторами «Геоморфология морских берегов» (1975) и т.д. В 1961 году А.С. Иониным, П.А. Каплиным и В.С. Медведевым была создана классификация морских берегов, которая с теми или иными изменениями применяется большинством отечественных исследователей, в том числе в целях картирования морских берегов. Однако задача по созданию Кадастра берегов морей СССР так и не была решена.

В 1993-1996 гг. разработка методики составления Кадастра морских берегов России велась в отделе Региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ. Кадастр, предложенный в «Методических рекомендациях» ВСЕГЕИ (1996), предполагал включение огромного объема данных (общая природная и экономико-географическая характеристика бассейна, геолого-геоморфологическое описание берега и подводного берегового склона, сведения о гидрологических и гидродинамических процессах и явлениях, геоэкологическое состояние береговой зоны, характеристика техногенных объектов и др.). Планировалось создание комплекта карт (геологические карты побережья с разрезами и стратиграфическими колонками, геоморфологические карты, карты тектонические, геоботанические, геоэкологические карты и целый ряд схем различного содержания), а также представление графиков, диаграмм, фотографий, материалов аэрофото- и космосъемки и т.д. Безусловно, такой подход позволял получить наиболее полную характеристику береговой зоны. Однако пользователю (неспециалисту) чрезвычайно трудно было бы ориентироваться в таком большом объеме информации. Поэтому вставал вопрос о выделении наиболее значимых информационных блоков в структуре Кадастра.

В настоящее время в России методические «кадастровые» работы выполняются в нескольких научно-исследовательских организациях. Например, в Краснодарском крае, в Международном центре по развитию общих методологий комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ), идет разработка методологии КУПЗ, адаптированной для действующей системы государственного управления и местного самоуправления [3]. Методологически подробно и полно ведутся работы по созданию Кадастра прибрежной

зоны в Тихоокеанском институте географии Дальневосточного отделения РАН [4].

Кадастр береговой зоны, разработанный в ходе данного проекта, представляет собой постоянно пополняемый и детализируемый систематизированный свод данных о береговой зоне с природно-географической, геолого-геоморфологической, экологической и социально-экономической точек зрения. Кадастр состоит из информационных блоков: административно-хозяйственного и социально-экономического; геолого-геоморфологического; ландшафтного; геоэкологического. Информация каждого из блоков представлена в виде слоев электронных карт, таблиц («паспорт» - краткая характеристика кадастрового квартала) и текстовых файлов («дело» - развернутая характеристика кадастрового квартала). По ряду участков детальных исследований в качестве примеров была реализовано пообъектное деление береговой зоны. Кадастр реализован в виде справочно-информационной системы (СИС).

Кадастр создается и ведется в целях информационного обеспечения недропользования, управления земельными и водными ресурсами, как основы комплексного управления береговыми зонами на Федеральном уровне, уровне субъектов Федерации и местных администраций, государственного контроля за использованием всех видов ресурсов и обеспечения рационального природопользования и экологической безопасности; государственной регистрации прав на пользование с теми или иными ограничениями по берегозащите, водоохране, рекреации и др. специальным причинам; экологической оценки площадей; установления режимов пользования площадями, включая недра, и обоснования платы за их использование.

Кадастр береговой зоны строится по региональному признаку. Кадастровое деление осуществляется в соответствии с принципами кадастрового деления РФ. В процессе разработки модели Кадастра рассматривались различные принципы выделения кадастровых единиц. Учитывая, что его создание должно быть направлено, прежде всего, на решение управленческих задач, в основу выделения крупных кадастровых единиц был положен принцип административно-территориального деления. В этом ряду выделяются: кадастровый округ (площадь субъекта федерации с примыкающими внутренними водами в административных границах); кадастровый район - административно-территориальная единица (уровень районов субъектов федерации). Дальнейшее кадастровое деление береговой зоны (на кадастровые кварталы и кадастровые объекты) происходит на основе геолого-геоморфологических признаков, определяющих целесообразность того или иного типа ее хозяйственного использования. Кадастровым объектом береговой зоны является участок в границах береговой зоны, характеризующийся общностью геологического строения и активно проявленных геодинамических процессов и техногенеза, определяющих тип использования.

Программно-технологическая реализация информационной системы по-

строена на основе уникальной разработки, выполненной во ВСЕГЕИ в 2007 г. В разработке использованы самые современные и принятые в мире программно-технологические решения. Построена интегрированная среда для работы с картами (GIS), базами данных, документами MS Office, растровыми материалами, фотографиями и пр. Создан пользовательский интерфейс, удобный и интуитивно понятный недропользователю. Программное приложение в локальной варианте исполнения просто копируется на компьютер пользователя (не требуется установка GIS, СУБД и других сложных программных систем) и достаточно легко трансформируется для работы в сетевом режиме (Интернет). В этом случае недропользователь может работать с Кадастром посредством стандартного браузера Internet Explorer. Программно-технологическая реализация Кадастра хорошо интегрируется с другими технологиями (например, ГИС-Атлас России) и международными системами и ресурсами.

1. Зенкович В.П. Динамическая классификация морских берегов // Тр. ИО АН СССР, 1954, т. 10.
2. Лонгинов В.В. К вопросу о составлении Кадастра морских берегов. Тр.ИО АН СССР, 1954, т. 10.
3. Yarmak L.P. Land use planning as the first step of the process of ICZM implementation in Black sea region // Conference Proceedings of the International Conference On Integrated Coastal Zone Management and its integration with Marine Science, St. Petersburg, 26-29 September, 2000. – P. 168-172.
4. Природопользование в прибрежной зоне (проблемы управления на Дальнем Востоке России) (монография) // Бакланов П.Я. (рук. авт. колл.), Арзамасцев И.С., Качур А.Н., Плинк Н.Л., Гогоберидзе Г.Г. и др. – Владивосток: Дальнаука, 2003. 251 с.

In 2005-2008, the complex multipurpose investigations within the project “Up-to-date assessment of mineral-resource potential, control over geological hazards and establishment of prediction development models of geological environment in the Baltic Sea and its coastal zone” was undertaken by the VSEGEI with participation of the RSHU and ABIO RAS specialists. The Project was funded at the Federal Agency on Mineral Resources. One of the project objectives was the creation of the information system with the model of the Coastal zone Cadastre.

А.Ю. Жилин, Н.Ф. Плотицына
(Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО), Мурманск, e-mail: zhilin@pinro.ru, nplotits@pinro.ru)

Загрязняющие вещества в донных осадках прибрежья Баренцева моря

A.Yu. Zhilin, N. F. Plotitsyna
(Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Murmansk)

Contaminants in Sediments of the Coastal Area of the Barents Sea

Для оценки состояния загрязнения донных осадков прибрежья Баренцева моря выполнено определение содержания основных групп загрязняющих веществ в пробах, отобранных в районе п-ова Средний в мае 2007 года (рисунок 1).

Рисунок 1 – Положение станций отбора проб донных осадков

Алифатические углеводороды (н-алканы). Содержание алифатических углеводородов (парафинов) в верхнем слое (3-4 см) донных осадков изменялось от 0,14 до 2,40 мкг/г сухой массы. Алканы в верхнем слое донных осадков представлены широким спектром углеводородов от C_{11} до C_{30}. Из изопреноидов были идентифицированы пристан (iC_{19}) и фитан (iC_{20}), отношение которых можно использовать как индикатор степени превращения углеводородов, их природы и условий нахождения в донных осадках. О том,

что в составе алифатических соединений донных осадков преобладают углеводороды нефтяного происхождения, свидетельствуют динамика соотношения изопреноидов пристан/фитан - ≤1, а также доминирование низкокипящих алканов. Одним из наиболее четких критериев определения нефтяных углеводородов в исследованных пробах является наличие на хроматограммах экстрактов углеводородов, выделенных из донных осадков, «горба» неразделенных газовой хроматографией соединений, которые представлены в основном циклоалканами и нафтено-ароматическими углеводородами.

Нормативы содержания *н*-парафинов в донных осадках отсутствуют, но по литературным данным природный биогенный уровень алифатических углеводородов в морских донных осадках обычно не превышает 50 мкг/г сухой массы. Содержание *н*-парафинов в исследованных донных осадках северо-восточной части Баренцева моря было значительно ниже техногенного фонового уровня, характерного для верхнего слоя донных осадков Западно-Арктического шельфа – 340 мкг/г сухой массы.

Найденные относительно низкие значения коэффициента пристан/фитан (0,6-1,2) характерны для углеводородов нефтяного, а не биогенного (свыше 1,5) происхождения.

Полициклические ароматические углеводороды. Суммарное содержание ПАУ (ΣПАУ) - 19 конгинеров, включая 16 рекомендованных для контроля Агентством по защите окружающей среды США - в верхнем слое донных осадков Баренцева моря находится в диапазоне 14,8 – 128 нг/г сухой массы.

Суммарное содержание канцерогенных ПАУ (ΣКПАУ) [бенз(а)антрацен (BaA), бенз(b)флуорантен (BbF), бенз(k)флуорантен (BkF), бенз(а)пирен (BaP), индено(l,2,3-cd)пирен (Ipy) и дибенз(a,h)антрацен (DBA)] изменялось от 1,64 нг/г (станция 8) до 39,9 нг/г (станция 1) сухой массы и составляло 11-32 % от ΣПАУ. Абсолютное значение ΣКПАУ было наиболее высоким в осадке на станции 1, а относительное - в осадке на станции 2.

Среди всех известных потенциально канцерогенных ПАУ, бенз(а)пирен является единственным соединением, для которого установленные токсикологические характеристики позволяют судить об истинном уровне канцерогенной активности. Суммарная токсичность по бенз(а)пирену Sum(BaP_{eq}) для исследованных образцов донных осадков Баренцева моря варьировала от 0,47 нг/г (станция 8) до 16,7 нг/г (станция 1) сухой массы осадка. Средние значения относительного содержания BaP_{eq} канцерогенных ПАУ в суммарной токсичности уменьшаются в ряду: DBA (61,4 %), BaP (20,0 %), BbF (7,94 %), Ipy (6,14 %), BaA (4,06 %), и BkF (0,47 %).

Сходства и различия между составом компонентов ПАУ могут использоваться для идентификации источников их поступления в окружающую среду. В донных осадках исследованной акватории на большинстве станций из индивидуальных ПАУ преобладали флуорен, фенантрен и флуорантен, в сумме составляющие от 30 % до 65 % от суммы ПАУ.

В качестве одного из критериев происхождения ПАУ в донных осадках Баренцева моря использовалось отношение суммы концентраций низкомолекулярных ПАУ (ΣНМС) к сумме концентраций высокомолекулярных ПАУ (ΣВМС), которое для большинства станций выше 1, что указывает на петрогенное (нефтяное) происхождение ПАУ. Полученные количественные результаты свидетельствуют об очень низком содержании полициклических ароматических углеводородов в донных осадках исследованных участков. В России отсутствуют нормативы содержания загрязняющих веществ в морских донных осадках. В соответствии с классификацией уровней загрязнения морских донных осадков, принятой Норвежской Государственной Инспекцией по контролю загрязнения окружающей среды (SFT), содержание ПАУ и бенз(а)пирена в донных осадках исследованных районов Баренцева моря не превышало фоновых уровней - <300 и <10 нг/г сухой массы соответственно.

Таким образом, содержание ПАУ в верхнем слое донных осадков Баренцева моря на исследованных участках соответствует фоновому уровню. Полициклические ароматические углеводороды в верхнем слое донных осадков исследованных районов имеют, в основном, петрогенное происхождение.

В настоящее время антропогенные факторы не являются определяющими в формировании ПАУ донных осадков этой части Баренцева моря. Основным источником поступления ПАУ в донные осадки исследованных участков являются процессы медленного созревания органического вещества в верхней зоне земной коры.

Персистентные хлорированные углеводороды. Конечным этапом распределения хлорированных углеводородов в морской среде являются процессы седиментации, поэтому их содержание в донных осадках наиболее достоверно отражает общий уровень загрязнения экосистемы Баренцева моря хлорорганическими соединениями.

Хлорорганические пестициды (ХОП). Суммарное содержание гексахлорциклогексана (ГХЦГ) в донных осадках исследованных районов Баренцева моря варьировало от 0,31 до 2,02 нг/г сухой массы. Увеличение относительного содержания менее стабильного изомера γ-ГХЦГ по сравнению с α-ГХЦГ (α-ГХЦГ/γ-ГХЦГ <1) указывало на недавнее поступлении гексахлорциклогексана в Баренцево море.

В донных осадках содержание гексахлорбензола изменялось от 0,05 до 0,08 нг/г сухой массы, что сравнимо с содержанием гексахлорбензола в донных осадках открытых районов Баренцева моря. В настоящее время определяются лишь остаточные количества этого токсиканта. В соответствии с классификацией уровней загрязнения морских донных осадков, принятой Норвежской Государственной инспекцией по контролю за загрязнением окружающей среды (SFT), содержание гексахлорбензола в донных осадках исследованной части Баренцева моря соответствует фоновому уровню (<0,5 нг/г сухой массы).

Из изомеров хлордана в донных осадках в незначительных количествах присутствовал только *транс*-нанохлор, содержание которого колебалось от аналитического нуля до 0,11 нг/г сухой массы.

Содержание ДДТ в верхнем слое донных осадков исследованных районов Баренцева моря варьировало от 1,40 до 3,42 нг/г сухой массы.

Согласно литературным данным в биотических и абиотических компонентах морских арктических экосистем отношение содержания изомеров p,p′-ДДТ/p,p′-ДДЕ <1 указывает на давнее поступление ДДТ в окружающую среду. Содержание изомера p,p′-ДДЕ в донных осадках превышало содержание изомера p,p′-ДДТ на всех исследованных станциях и свидетельствовало о длительном процессе трансформации ДДТ в более стойкие метаболиты, то есть о «старом» характере загрязнения.

В нашей стране отсутствуют нормативы содержания хлорированных углеводородов в морских донных осадках. В соответствии с классификацией уровней загрязнения морских донных осадков, принятой Норвежской Государственной инспекцией контроля загрязнения окружающей среды (SFT), по содержанию ДДТ донные осадки исследованной части Баренцева моря следует отнести к категориям «умеренно загрязненные» (0,5-2,5 нг/г сухой массы) и «заметно загрязненные» (2,5-10 нг/г сухой массы).

Полихлорбифенилы. Суммарное содержание полихлорбифенилов (∑ПХБ) в исследованных пробах донных осадков изменялось от 1,01 до 1,84 нг/г сухой массы. Из индивидуальных соединений ПХБ в верхнем слое донных осадков преобладали тетра-, пента- и гексахлорированные бифенилы, доминирующие в составе промышленных смесей типа Aroclor (российские аналоги – совол и совтол).

В нашей стране отсутствуют нормативы содержания полихлорбифенилов в морских донных осадках. Согласно критериям загрязненности морских донных осадков и прибрежных вод, принятым в Норвегии, суммарное содержание семи конгинеров ПХБ с номерами 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 в донных осадках исследуемых районов Баренцева моря соответствовало техногенному фоновому уровню (< 5 нг/г сухой массы).

Тяжелые металлы. Данные о содержании микро- и макроэлементов в верхнем слое донных осадков исследованных районов Баренцева моря приведены на рисунке 2. В России отсутствуют нормативы содержания тяжелых металлов в морских донных осадках. Согласно критериям загрязненности морских осадков, принятым в Норвегии, по содержанию никеля донные осадки исследованных районов Баренцева моря можно отнести к категории «умеренно загрязненные». Содержание меди, цинка, свинца, ртути и мышьяка соответствовало природным фоновым уровням.

В исследованных донных осадках наблюдалась корреляция сорбции микроэлементов с содержанием органического углерода, так как тяжелые металлы способны образовывать разнообразные комплексы с органическими веществами различного генезиса.

Максимальное содержание металлов наблюдалось в донных осадках с содержанием органического углерода, превышающим 2,5 %. Сорбция мышьяка органическим веществом донных осадков играет меньшую роль, нежели сорбция других микроэлементов. Поскольку мышьяк не дает свободных катионов, прямое комплексообразование с гуминовыми и фульвокислотами морских донных осадков исключается.

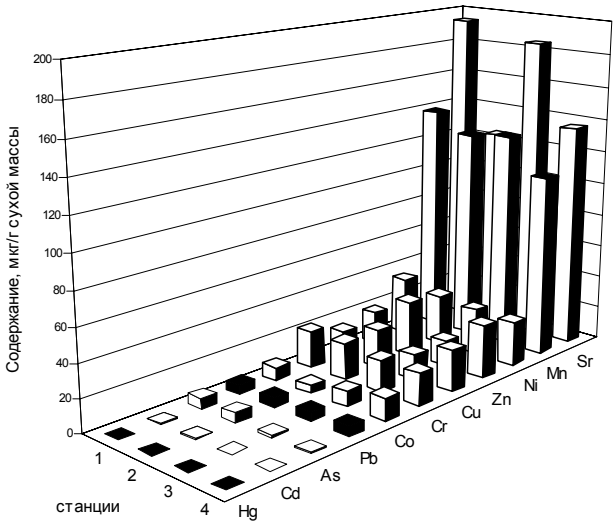


Рисунок 2 – Содержание металлов в донных осадках

Представленные результаты подтверждают низкий уровень загрязнения донных осадков исследованных районов Баренцева моря.

In general, sediment contamination levels were low for all the parameters measured. Several of the components and component groups were below the analytical detection limit. In all probability the stations sampled can be considered representative for marine areas with little influence from the coast. Sediment core studies would be necessary in order to determine to what degree the sediments in the study area are affected by anthropogenic inputs of contaminants.

Д.В. Кириевская, В.В. Иванова
(ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: vega77@yandex.ru)

Воздействие затонувших плавсредств на акваторию Финского залива по результатам исследования ВНИИОкеангеология, 2008 г.

D.V. Kirievskaya, V.V. Ivanova
(VNIOOkeangeologiya, St.Petersburg)

Influence sunken ships on water area of Gulf of Finland according to the research results of VNIOOkeangeologiya, 2008

Согласно Постановлениям Правительства Российской Федерации от 28.06.2008г № 486 «О совершенствовании деятельности по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на подводных потенциально опасных объектах», а также от 21.02.2002г. №124 «О декларировании безопасности подводных потенциально опасных объектов, находящихся во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации», МЧС России принято решение по созданию и ведению Реестра подводных потенциально опасных объектов во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации (приказ МЧС от 2.08.2001г № 347 и приказ МЧС от 29.12.2001г. №575). В этой связи МЧС России осуществляет мониторинг подводных потенциально опасных объектов.

В рамках этой программы в 2008 г ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга» проводила мониторинговые исследования потенциально опасных участков акватории Финского залива.

Воздействие затонувших судов на экологическое состояние водоёма заключается в следующем:

1. Снижение эстетики и санитарного состояния морских ландшафтов.
2. Загрязнение водоема остатками химически активных веществ, содержащихся в грузовых емкостях затонувшего плавсредства.
3. Загрязнение водоема остатками нефтепродуктов в танках и машинном отделении затопленного плавсредства.
4. Загрязнение водной среды соединениями железа и тяжелых металлов.
5. Изменение характеристик водного потока. Часто затонувшие суда создают преграду подводным течениям и деформируют их, создавая застойные зоны. Кроме того, за счет изменения динамики водного потока затопленные суда могут вызывать изменения лито-динамического режима. Это ведет к изменению форм донного рельефа.

В ходе изучения воздействия подводных потенциально опасных водных объектов на экосистему Финского залива были отобраны и проанализированы пробы поверхностных и придонных вод и донных осадков. Опробование проводилось методом конверта вокруг предварительно выделенных по данным гидролокации бокового обзора затопленных объектов различного

типа (затопленные деревянные и металлические суда и др.).

Оценку воды проводили путём сравнения содержания придонных и поверхностных вод с предельно допустимыми концентрациями вредных веществ для рыбохозяйственных водоёмов и учётом фоновых особенностей территории.

Комплексным критерием состояния донных отложений была выбрана ориентировочная шкала оценки степени загрязнения водных объектов по концентрациям химических элементов в донных отложениях, предложенная Е.П. Яниным. Также был использован аналог показателя суммарного загрязнения почв, называемый суммарным индексом загрязнения донных осадков (Опекунов А.Ю. и др., 2006).

На основе физико-химического анализа результатов по воде и донным осадкам были сделаны следующие выводы:

▪ Уровень техногенного загрязнения донных отложений в районе обследованных подводных потенциально опасных объектов высокий и очень высокий. Донные отложения, отобранные в районе объекта затопленной баржи с боеприпасами (о. Мощный) характеризуются средним уровнем техногенного загрязнения. Подводные потенциально опасные объекты различного типа оказывают различное воздействие на состояние донных грунтов.

▪ Потенциально опасными являются боевые корабли, имеющие большой боезапас и запасы жидкого топлива (Сибирь, Гангут), уровень загрязнения донных осадков на участках их местонахождениях - очень высокий. Минимальное воздействие оказывают затопленные деревянные суда. Однако воздействие подводных потенциально опасных объектов на состояние донных отложений носит локальный характер: так, например, Zn в донных отложениях уже в ста метрах от борта судна «Сибирь» снижается в 6- 7,5 раз.

In order to explore influence sunk ship on water area of Gulf of Finland were carried out sampling of water and sediment. The samples were analyzed by physicochemical methods. The analysis shows that the impact is local. Big ships have large stocks of ammunition and fuel oil is the most dangerous among the sunken ships.

Д.А. Коновалов, В.И. Петрова
(ВНИИО, Россия, Санкт-Петербург, demitryon@mail.ru)

Влияние сипинговой миграции на формирование углеводородного фона нефтегазоперспективных районов акваторий (на примере Штокмановской площади)

D. Konovalov, V. Petrova
(VNIIOceangeologia, St.- Petersburg, Russia)

Vertical migration influence to hydrocarbon background of oil and gas deposit areas' bottom sediments (sample of Stockman area, Barents Sea)

Изучению генезиса и состава рассеянного органического вещества (РОВ) донных осадков Баренцева моря посвящено большое число работ [1-4]. Была показана мозаичность распределения органического углерода (Сорг) в осадках региона, определяемая вариациями биопродуктивности и различиями в объеме и составе взвешенного терригенного материала. Исследование молекулярного состава РОВ позволило выявить его полигенетичность и региональные тренды, обусловленные спецификой литофациальных условий осадконакопления [2, 3, 5, 6, 7].

В частности, в поверхностных осадках приуроченных к району Штокмановского газоконденсатного месторождения была зафиксирована аномалия состава и распределения основных геохимических параметров растворенного органического вещества (РОВ): повышенное содержание Сорг, высокие битуминозность и ароматичность. Наиболее ярко аномалия проявлялась в характеристике полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), содержание которых превышало фоновые значения для центральной части Баренцева моря более чем в 5 раз. В составе ПАУ доминировали фенантрен и его алкилгомологи. Было высказано предположение, о связи выявленной аномалии с нижележащими продуктивными горизонтами [5]. Аналогия площадного распределения ПАУ в осадках Штокмановской площади и метана в придонных водах изученного района может быть дополнительным аргументом в пользу данного предположения. На возможность влияния вертикальной сипинговой миграции на формирование углеводородных аномалий в донных осадках акваторий указывал целый ряд авторов [8, 9, 10]. При этом Brooks и др. [8] показали, что для подобных аномалий характерно доминирование низкомолекулярных компонентов в групповом составе фракции ароматических углеводородов.

Целью данной работы являлось определение природы выявленной аномалии и верификация её связи с процессами газовой разгрузки.

Материалом исследования послужили осадочные колонки (до 200см), отобранные на Штокмановской площади в ходе рейсов ВНИИО в НИС «Гидролог», 2002 и «Иван Петров», 2006. Аналитическая процедура вклю-

чала определение элементного (Сорг, Скарб) состава осадков, группового и молекулярного состава растворимых компонентов РОВ методами препаративной жидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (алканы, цикланы и полиарены).

Изученные донные отложения были представлены алевропелитовыми и пелитовыми илами, типичными для центральной части Баренцева моря. Однако, среднее содержание в них Сорг, как и в предыдущих исследованиях, почти вдвое превышало фоновые значения (2,5 % против 1,5%), а вниз по разрезу не происходило, характерной для стадии раннего диагенеза, утраты РОВ и его растворимых компонентов.

Бимодальное распределение н-алканов, их состав (C17/29=1,2) и соотношение изопреноидов (Pr/Ph=0,9) указывали на смешанный сапропелево-гумусовый генезис РОВ, а индексы нечётности (OEP17-19=1,3, OEP27-31=3,3) на низкий раннедиагенетический уровень его трансформации. В составе тритерпанов преобладали гопены и биогопаны (ββ). Вниз по осадочному разрезу распределение н-алканов оставалось практически неизменным, за исключением некоторого снижения значений OEP27-31 (до 2,5). Наряду с этим, наблюдался значительный рост (на порядок) содержания гопаноидов при сохранении их состава. Известно, что гопены и биогопаны являются продуктом раннедиагенетической трансформации гопанолов – структурных компонентов клеточных мембран прокариот. Значительный рост их содержания может быть связан с повышенной бактериальной активностью, возможно метанотрофной, обусловленной перманентным притоком основного источника углерода.

Сопоставление характеристик алициклических УВ осадочных отложений Штокмановской площади и фоновых осадков показало генетическое сходство, содержащегося в них РОВ (C17/29=0,7, OEP17-19=1,6, OEP27-31=3,7). Однако, состав и распределение тритерпанов носит принципиально иной характер. Вниз по разрезу не происходит существенного увеличения их суммарного содержания, гопены и ββ-гопаны наблюдаются лишь в его верхней части, а в погруженных осадках присутствуют исключительно зрелые геологические αβ-гопаны.

Значимые отличия распределения ПАУ осадков фоновых участков и Штокмановской площади выражались в резком (на порядок) нарастании суммарного содержания ПАУ ниже границы обводненного слоя (40-60 см) в последних (Рис. 1).

Основным компонентом в составе полиаренов являлся перилен, продукт трансформации квиноновых пигментов микроорганизмами в восстановительных условиях осадконакопления. Его содержание превышало 55% (Рис. 2) от суммы ПАУ, что подтверждает высокую активность микроорганизмов в погруженных осадках.

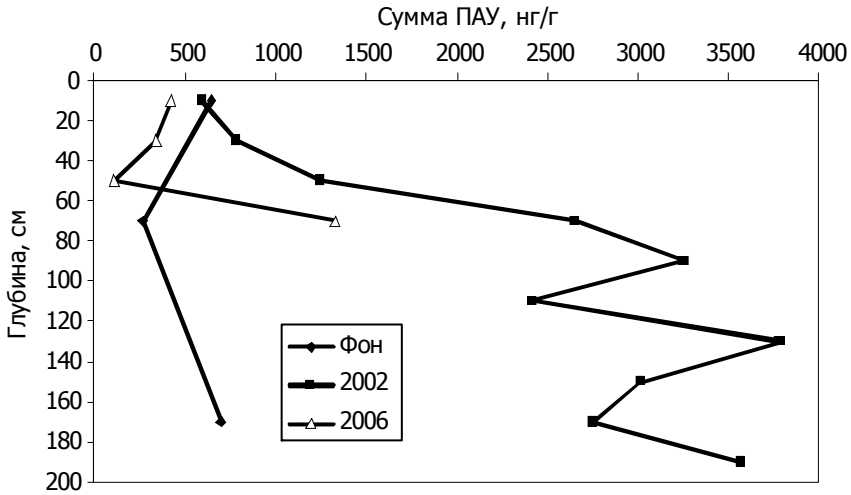


Рис. 1. Суммарное содержание полиаренов в осадках Штокмановской площади и фонового района.

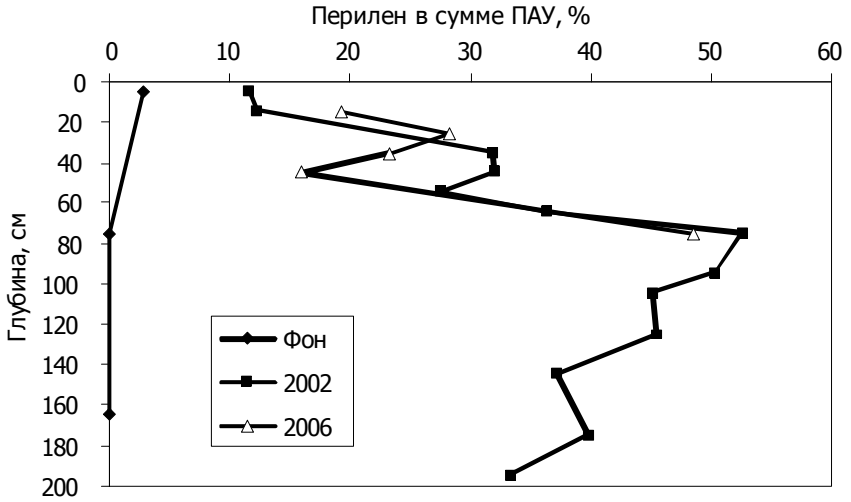


Рис. 2. Распределение перилена в осадочном разрезе Штокмановской площади и фонового района.

Для выявления возможного влияния «углеводородного дыхания» залежи на поверхностные осадки Штокмановского площади рассчитывался FFPI (Fossil Fuel Pollution Index – процентное отношение суммы нафталина, фенантрена, дибензтиофена и их алкилированных гомологов, к сумме ПАУ). FFPI – индикатор присутствия в смеси полиаренов нафтидогенных компо-

нентов [10] – показал значительное преобладание последних в поверхностных осадках, нехарактерное для фоновых станций. Более того, нетипичное для классического диагенеза распределение фенантрена и алкилфенантренов в осадочном разрезе по молекулярным массам (Рис. 3), которые определяют их относительную способность к миграции, может свидетельствовать об участии этих углеводородов в вертикальном флюидном транспорте.

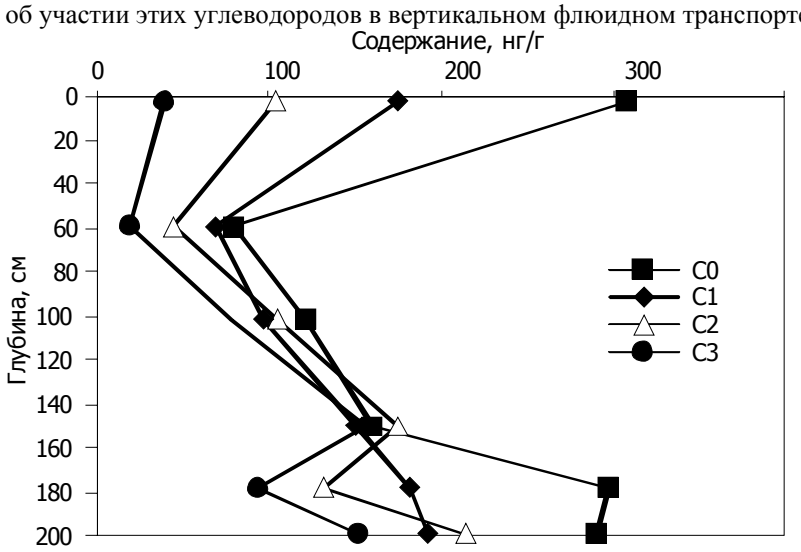


Рис. 3. Распределение фенантрена и алкилфенантренов в осадочном разрезе Штокмановской площади

Можно предположить, что поставка углеводородов осуществляется как отдельная фаза, транспортируемая флюидом в поровых пространствах осадков. Вследствие изменений физико-химических условий на границе обводненного слоя в местах газовой разгрузки происходит аккумуляции полиаренов, что оставляет геохимический след в поверхностных отложениях.

1. Биогеохимия органического вещества Арктических морей. М.: Наука, 1982.
2. Органическое вещество донных отложений полярных зон Мирового океана / Л.: Недра, 1990, 280 с.
3. Yunker M. B., Macdonald R. W., (2003) Petroleum biomarker sources in suspended particulate matter and sediments from the Fraser River Basin and Strait of Georgia, Canada Organic Geochemistry 34, 1525–1541
4. Романкевич Е. А., Ветров А. А., (2001). Цикл углерода в Арктических морях России. М.: Наука, - 302 с.
5. Петрова В. И., Батова Г. И., Галишев М. А. Корреляционная диагностика

УВ аномалий в донных осадках Арктического шельфа, Геохимия, 2000, №3, с. 301-308.
6. Dahle, S., Savinov, V., Boitsov, S., Plotitsyna, N., Zhilin, A., Savinova, T., Petrova, V., (2007). Polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in the Barents Sea sediments: Small changes over the recent 10 years. Marine Biology Research in press.
7. Dahle, S., Savinov, V., Petrova, V., Klungsoyr, J., Savinova, T., Batova G., Kursheva A., (2006). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical distribution and sources. Norwegian Journal of Geology, Vol. 86, pp. 41-50. Trondheim.
8. Brooks J. M., Kennicut M. C., II and Carey B. D., Jr. (1986). Offshore surface geochemical exploration. Oil and Gas Journal, 84, 66-72.
9. Hvoslef S., Christie O. H. J., Sassen R., Kennicutt M. C., Requejo A. G. (R) and Brooks J. M., (1996). Test of a new surface geochemistry tool for resource prediction in frontier areas. Marine and Petroleum Geology. Vol. 13., N 1, pp.. 107-124.
10. England W. A. and Fleet A. J., (1991). Petroleum migration, Geological Society, London.

PAH's geochemical anomaly was investigated in Stockman area, Central Barents Sea. Gas migration influence to hydrocarbon distribution in surface sediments was hypothesized for elucidation of phenomena. The result of the paper was the low molecular weight PAHs, as phenanthrenes, can be transported with gas phase from bottom to surface layer.

Т.Г. Коновалова
(Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, e-mail: abio@atlas.baltnet.ru)

Распределение токсичных химических элементов в донных осадках Юго-Восточной части Балтийского моря

T.G. Konovalova
(Atlantic Branch of Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad)

The toxic elements in the bottom sediments of the south-eastern part of the Baltic Sea

Район побережья Юго-Восточной части Балтийского моря характеризуется нефтеносностью среднекембрийских песчаников. (Кравцовское месторождение). В 2003 году была построена морская стационарная нефтедобывающая платформа Д-6 (рис. 1). Сотрудниками лаборатории геологии Атлантики АО ИОРАН (руководитель Е.М. Емельянов) и Морского венчурно-

го бюро (руководитель В.В. Сивков), начиная с 2003 г., проводится ежегодный мониторинг в районе этой платформы (21 станция). Выполняются: отбор проб донных осадков дночерпателями, изучение их гранулометрического и химического (содержания Cu, Cr, Cd, Pb, Hg и Ba в осадках) составов.

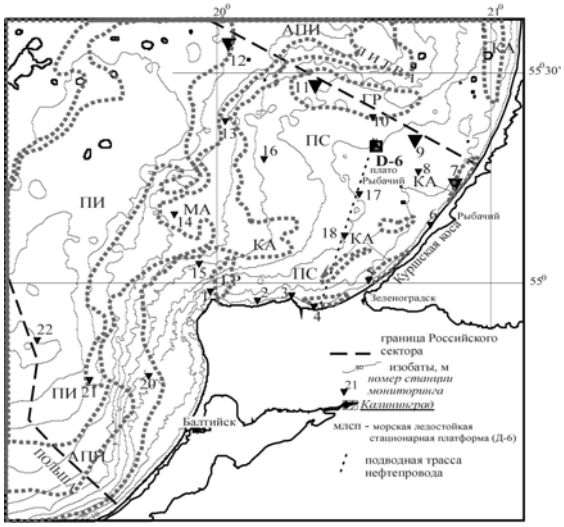


Рис. 1. Карта-схема расположения станций экологического мониторинга в районе Кравцовского месторождения (платформа Д-6) в 2003-2008 гг. Пунктирными серыми линиями показаны границы донных осадков (ГР -гравий, ПС - пески, КА - крупные алевриты, МА – мелко-алевритовые илы, АПИ - алевритово-пелитовые илы, ПИ - пелитовые илы)

Распределение типов донных осадков обусловливается в основном глубиной [1] . Пески и гравийные отложения, а также смешанные, плохо отсортированные осадки (валуны, галька, гравий, пески) накапливаются в прибрежной зоне и на банках (глубины 0 - 40 м). Лишь в районе плато Рыбачий они спускаются глубже - до 50 м. Вблизи платформы Д-6 в гравийно-песчаном осадке много гальки, имеются валуны. Вдоль Куршской косы (от уреза воды до изобат 10-19 м) пески являются кварцевыми, мелкозернистыми, с резким преобладанием в них фракции 0.25-0.1 мм.

Крупные алевриты занимают очень узкую полосу дна на склоне плато Рыбачий. За крупными алевритами следуют мелкоалевритовые илы, которые также покрывают узкие полосы дна нижней зоны склонов банок или прибрежных отмелей (глубины 50-70 м). Батиметрическое расположение крупных алевритов чаще всего совпадает с верхней границей галоклина, а мелкоалевритовых илов – с нижней его границей.

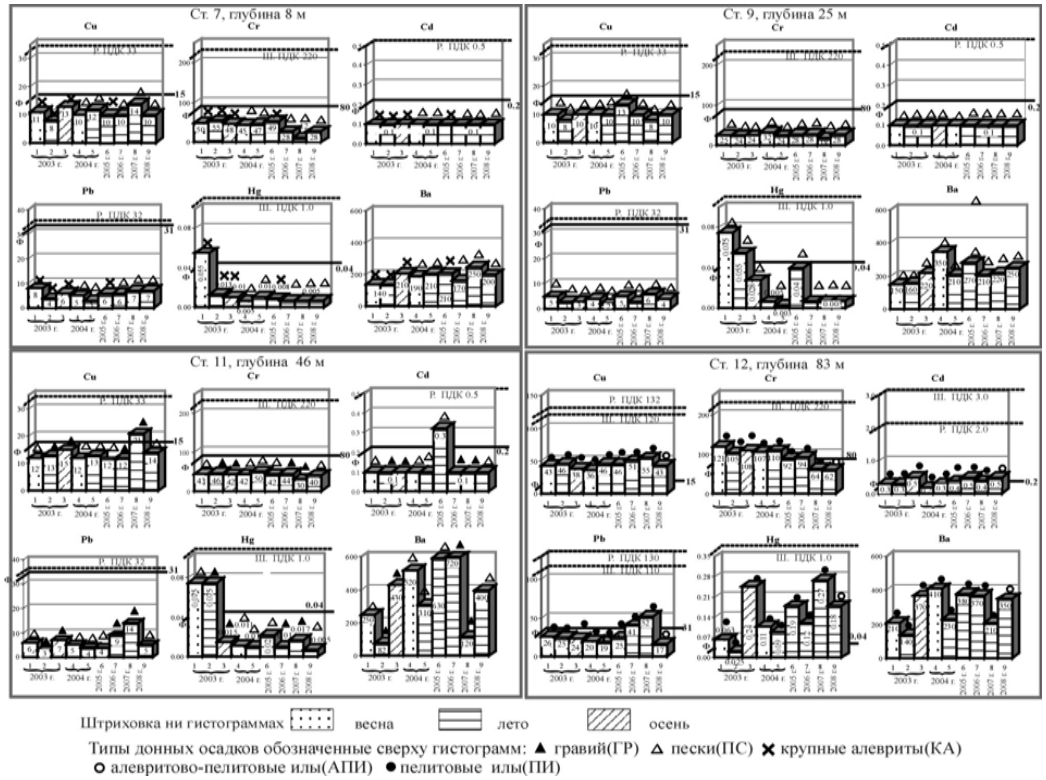


Рис. 2. Гистограммы распределения химических элементов в донных осадках (мг/кг) на станциях 7, 9, 11, 12. Представлены ПДК России(Р) и Швеции (Ш) для данного типа донных осадков. Приведены фоновые значения (Ф), средние по всему Балтийскому мору по шведским нормативам

Алевритово-пелитовые и пелитовые илы распространены в основном глубже 80 м, т.е. в центральной части Гданьского бассейна.

Особенности распределения содержаний токсичных элементов в типах донных осадках (слой 0-5 см) нами рассмотрены на примере четырёх наиболее характерных станций мониторинга.

Были построены гистограммы распределения элементов в донных осадках (рис. 2). Приведённые в табл. 1 глубины станций усреднены, так как в процессе проведения съемок в разные сезоны года или в разные годы на одних и тех же станциях глубины фиксировались разные. На станции 7 глубина менялась в пределах 6-11 м., на ст. 9 - от 23 до 29 м., на ст. 11 - от 44 до 48 м., на ст. 12 - от 79 до 85 м. Изменчивость глубин на одной и той же станции объясняется: либо 1) активной волновой деятельностью и переотложением осадков; либо 2) невозможностью точного попадания пробоотборника в одно и тоже место (используемый навигационный GPS давал точность ± 50 м).

Табл. 1. Содержания (мг/кг) токсичных химических элементов, глубин и типов осадков по станциям

Станция	Глубины, м	Тип осадка	Cu	Cr	Cd	Pb	Hg	Ba
7	6-11	КА, ПС	8-14	12-55	0.1	3-8	0.005-0.055	140-250
9	23-29	ПС	8-13	18-32	0.1	2-6	0.003-0.075	160-350
11	44-48	ГР, ПС	12-21	30-35	0.1-0.3	3-14	0.005-0.075	82-720
12	79-85	ПИ, АПИ	36-55	62-121	0.2-0.5	17-52	0.025-0.27	140-410

Типы осадка: ГР – гравий; ПС - пески; КА – крупные алевриты; АПИ – алевритово-пелитовые илы; ПИ – пелитовые илы

Станция 7 находиться в прибрежной мелководной зоне (глубина 8 м), но при этом в разные периоды наблюдений там были встречены и смешанные плохо отсортированные осадки, и пески , и крупные алевриты. Станция 9 находиться на глубине 25 метра, и из всех рассматриваемых здесь станций, наиболее приближена к платформе Д-6. Дно сложено песками. Донные осадки станции 11 представлены гравием и песками. Станция 12 является самой глубоководной, из представленных здесь станций. Донные осадки здесь представлены алевритово – пелитовыми и пелитовыми илами.

Загрязнение воды и донных осадков токсичными металлами: Cd, Cu, Cr, Pb, Hg и Ba представляет токсикологическую опасность для водорослей и фитопланктона, следовательно, и для всей экосистемы.

Табл. 2. ПДК токсичных химических элементов по нормативам России и Швеции [2]

Элемент	Нормативы ПДК	
	Россия	Швеция
Пески		
Cu	33	-
Cr	-	220
Cd	0.5	-
Pb	32	-
Hg	-	1.0
Илы		
Cu	132	120
Cd	2.0	3.0
Pb	130	120

Полученные результаты мы рассматриваем в сравнении с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) и фоновыми (средними для Балтийского моря) значениями по нормативам Швеции и России (табл. 2). Эти нормативы существуют как для россыпных (пески, крупные алевриты), так и для илистых (пелитовые и алевритово-пелитовые илы) типов осадков.

Содержание химических элементов распределено в осадках в соответствии с «правилами фракций» (Емельянов, 1986) (рис. 3), когда наибольшие содержания характерны для пелитовых илов, а наименьшее - для песков.

Сезонная изменчивость в содержании химических элементов по данным 3-х съёмок 2003 г. и 2-х съёмок 2004 г. не прослеживается.

Изменения содержаний в пробах осадков одной и той же станции, отобранных в разные годы обусловлены изменением гранулометрического состава разных проб донных осадков одной и той же станции.

Ни в одной пробе станций мониторинга, ни по одному элементу не было выявлено превышения относительно нормативов ПДК Швеции или России.

1. Емельянов Е.М. Геохимия взвеси и осадков в Гданьском бассейне и процессы седиментации// Геохимия осадочного процесса в Балтийском море. Под ред. Е.М.Емельянова и В.Н. Лукашина. М., Наука, 1986. С. 57-114.
2. Metals in Coastal and Marine Environments, Swedish Environmental Protection Agency, 2002.

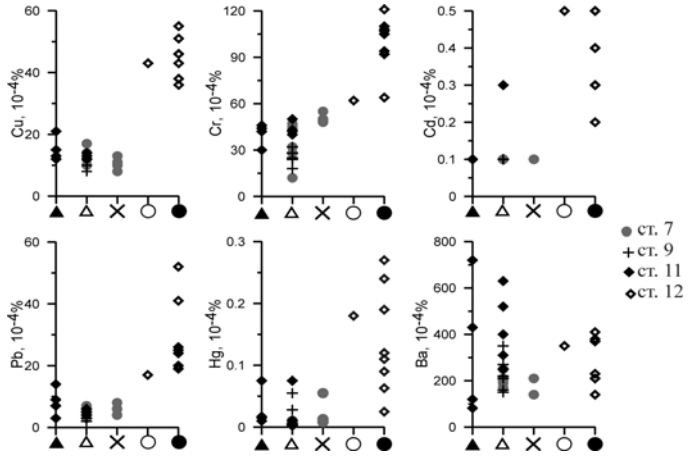


Рис. 3. Графики распределения химических элементов по типам донных осадков (горизонт 0-5 см) в районе мониторинга Кравцовского месторождения (Д-6)

The grain size distribution and toxic elements were investigated in the sediments of the oil field D-6 in the S.-E. Baltic. The results of monitoring Kravtsovsky oil-bearing deposits and toxic elements (Cu, Cr, Cd, Pb, Hg, Ba) were discussed. The chemical elements are distributed in accordance with grain size composition of the bottom sediments. Our data were compared with the mean Swedish data and standards. The sediments of monitoring area are not contaminated by the studied toxic elements.

Л.И. Копрова, В.В. Пелевин, Д.В. Хлебников
(Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, e-mail: dkhlebnikov@mail.ru)

Индекс здоровья вод открытого океана

L.I. Koprova, V.V. Pelevin, D.V. Khlebnikov
(Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow)

Index of “health” of open ocean waters

Профессор В.Н. Пелевин для оценки экологического состояния вод открытого океана впервые в 2002 г. предложил ввести так называемый индекс “здоровья” вод H_w. Этот параметр в любой точке открытого океана с координатами (φ, l) определяется следующим образом:

$$H_w(\varphi, l) = c_p(\varphi, l)/a_{ys}(\varphi, l) \qquad (1)$$

где $c_p(\varphi, l)$ – концентрация хлорофилла фитопланктона [мг/м^3], $a_{ys}(\varphi, l)$ – показатель поглощения света “желтым веществом” [м$^{-1}$] на длине волны 354 нм, который в первом приближении пропорционален концентрации “желто-

го вещества” $k_{ров\ 354}$. Т.е. индекс “здоровья” вод H_w является отношением концентрации “живого вещества” к “H_w неживому” и по существу отражает баланс, существующий в природных водах между “живой материей”, оцениваемой по концентрации хлорофилла фитопланктона и “мертвой материей”, оцениваемой по $k_{ров\ 354}$. Таким образом, индекс “здоровья” вод H_w может служить для первичной быстрой оценки экологического состояния вод или, иными словами, в качестве индикатора экологически благополучных и неблагополучных вод.

Кроме того, профессором В.Н. Пелевиным впервые введен пограничный эмпирический критерий $H_w = 2$, который указывает на смену вод с различной степенью замутненности. Если H_w в размерностях, обозначенных в (1) близко к 2 или превышает значение 2, воду можно считать “здоровой”, имеющую все условия для существования в ней фитопланктона. Если же $H_w < 2$, количество “неживой материи” неравновесно велико и можно считать, что фитопланктон угнетен, его нормальная жизнедеятельность притормаживается, напротив, усиливаются процессы его отмирания.

Оба параметра – c_p и a_{ys} можно измерять посредством любого прибора из линейки портативных флуоресцентных лидаров серии УФЛ, разработанных в Институте океанологии им. П.П.Ширшова РАН под руководством проф. В.Н. Пелевина в 2000-2005 гг. (рис. 1). С помощью этих приборов возможно дистанционно с борта движущегося судна, с высокой частотой измерять концентрации хлорофилла фитопланктона, «желтого вещества» и взвеси. Методика измерений приводится в [1].

Лидары серии УФЛ успешно применялись в двух десятках рейсов ИО РАН и других институтах в Атлантике, Черном, Балтийском, Карском, Аральском и других морях, на пресной воде в волжских водохранилищах и озере Балатон.

Рис. 1. Лидар УФЛ-7 зондирует Атлантику на НИС “Академик Иоффе”.

Основные параметры лидара УФЛ-серии: частота зондирования 2 Гц; длина волны лазера 355, 532 нм; энергия в импульсе >2 мДж; прибор выполнен единым блоком, вес 30 кг; габариты (ДхШхВ) 900x250x700 мм; корпус имеет герметичное исполнение; регистрация данных производится в автоматическом режиме с GPS-привязкой измерений. Измеряется 3 параметра водной среды: концентрации хлорофилла, РОВ и взвеси.

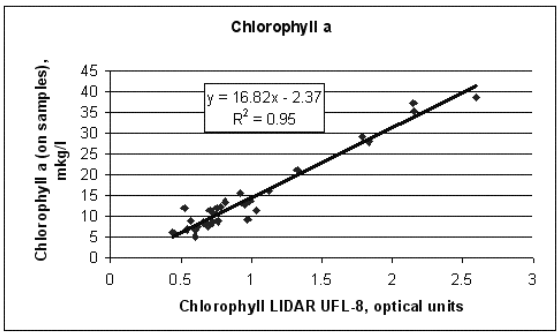


Рис. 2. Сравнение измерений лидара УФЛ с результатами измерений хлорофилла сертифицированными методами.

Нами накоплен значительный объем данных одновременных измерений указанных величин лидаром и стандартными методами. Для вод одного типа, в частности с неизменным видовым составом пигментов фитопланктона, коэффициенты корреляции между данными дистанционных лидарных и контактных измерений близки к 1 (рис. 2). Такие же результаты получены для растворенной органики (рис. 3). Для получения достоверных данных о концентрациях в весовых единицах, необходима привязка и корректировка лидарных данных к данным проб, так как из-за серьезных различий, например, в видовом составе пигментов фитопланктона или в оптических свойствах частиц взвеси, характерных для различных районов Мирового океана, прибрежных вод или пресных водоемов, ошибки в расчете концентраций могут быть очень значительными. Однако для акваторий, часто очень обширных, с условно неизменными гидрооптическими и гидробиологическими свойствами, использование флуоресцентных лидаров может дать в руки исследователей достаточно точный и крайне высокопроизводительный измерительный инструмент.

В 2002-2005 гг. под руководством профессора В.Н. Пелевина Лабораторией исследования океана аэрокосмическими средствами Института океанологии РАН (в настоящий момент Лаборатория взаимодействия океана с водами суши и антропогенных процессов) в 2002-2005 гг. на НИС “Академик Иоффе” было проведено 6 трансатлантических рейсов в Атлантическом океане, где отрабатывались методы измерений биопараметров с помощью

флуоресцентных лидаров. Работы в рейсах проводились в рамках федеральной программы “Мировой океан” по проекту “Меридиан” [2].

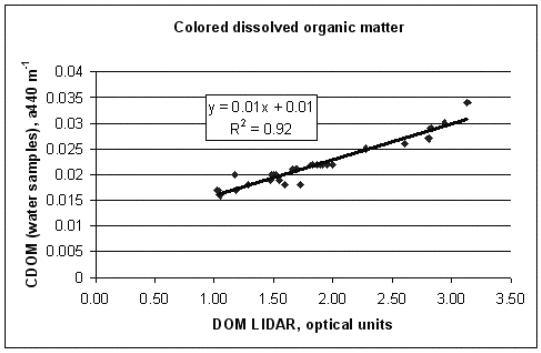


Рис. 3. Сравнение измерений лидара УФЛ с результатами измерений растворенной органики сертифицированными методами.

Рассмотрим некоторые результаты по рассматриваемой проблеме, полученные в 14-м рейсе НИС “Академик Иоффе”. Использовался флуоресцентный лидар УФЛ-7. На рис.4 приведена совмещенная карта оптического индекса вод m (карта прозрачности вод) и карта течений поверхностных вод Атлантического океана [3]. Здесь же показан маршрут 14-го рейса НИС “Академик Иоффе”. Подробный анализ этих карт сделан в работе [3]. Здесь лишь отметим, что гидрологическая ситуация вдоль маршрута – это чередование различных гидрологических ситуаций вдоль “косого” меридионального разреза от западных берегов Европы до Ушуайя (Аргентина), которым соответствовали различные гидрооптические ситуации.

На рис. 5 показана трансатлантическая изменчивость индекса “здоровья” вод $H_{w,}$ зависящая от измерений концентраций хлорофилла фитопланктона c_p и растворенного “желтого вещества” a_{ys} по данным прямых лидарных измерений вдоль маршрута НИС “Академик Иоффе”.

Отметим, что широтно-долготный ход параметров c_p и a_{ys} по лидарным измерениям и измерения этих параметров путем спектральной обработки проб воды, взятых в рейсе, совпадают [4]. Анализ рис.5 в связи с гидрологической ситуацией по маршруту 14-го рейса НИС “Академик Иоффе” показывает, что воды североевропейских морей весьма “угнетены”, возможно, вследствие воздействия антропогенных загрязнений (H_w<2). Рассматривая дальнейший ход индекса “здоровья вод” и его составляющих по маршруту, мы видим, что в водах открытого океана, в целом, наблюдается благополучие ((H_w>2). В Канарском апвеллинге наблюдается многократное увеличение $k_{ров\ 354}$, что связано с обильным поступлением биогенов в приповерхностный слой океана. Только для вод Ла-Платы и района влияния Ла-Платы индекс “здоровья” вод падает до чрезвычайно малых величин – меньше 1.

Вероятно, это связано с большим стоком континентальных вод, имеющих высокую концентрацию растворенной органики $k_{ров\ 354}$ с южноамериканского материка. В Южном океане значения H_w достигают чрезвычайно больших величин – 7..10 и более. Это происходит в силу малых значений $k_{ров\ 354}$ и больших концентраций хлорофилла в циркумполярном Течении Западных ветров.

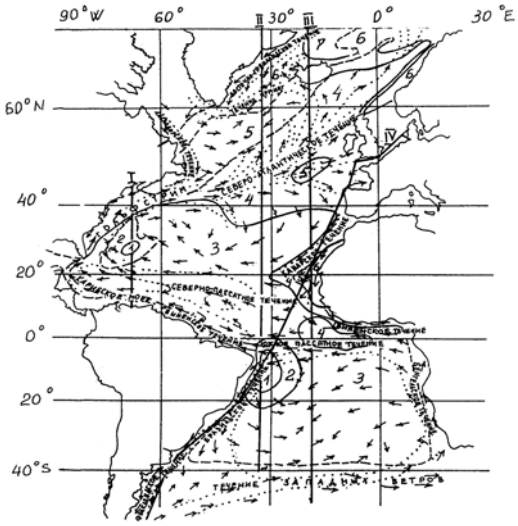


Рис. 4. Маршрут 14-го рейса НИС “Академик Иоффе в Атлантике в 2003 г.

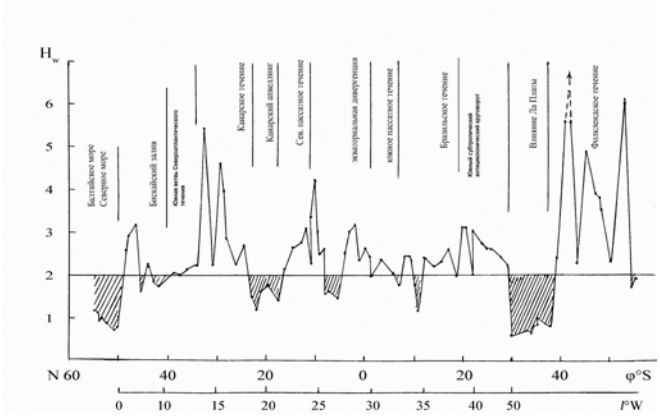


Рис. 5. Трансатлантическая изменчивость индекса “здоровья” вод H_w по маршруту 14-го рейса НИС “Академик Иоффе”.

Таким образом, как видно из исследований, индекс “здоровья” вод H_w, полученный по лидарным измерениям, является информативным для предварительной экспрессной оценки экологического состояния вод открытого океана.

1. 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.
2. Комплексные исследования Мирового океана. Проект “Меридиан“. ч. 1 Атлантический океан. М. Наука. 2008. / Под ред. М.В. Флинта. 334с.
3. Пелевин В.Н., Копрова Л.И. О связи между циркуляцией поверхностных вод Атлантики и их оптическими характеристиками. Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17. № 8. С. 666-670.
4. Б.В. Коновалов, В.Н. Пелевин, В.А. Матюшенко, В.В. Пелевин, Д.В. Хлебников, Г.Г. Карлсен, В.В. Ростовцева, А.Б. Грабовский. Хлорофилл и растворенное “ желтое вещество в поверхностных водах Атлантики “ Комплексные исследования Мирового океана. Проект “Меридиан“. ч. 1 Атлантический океан. М. Наука. 2008. / Под ред. М.В. Флинта. С. 205-215.

The introduced by professor V. Pelevin index of “health” of open ocean waters that is result from division of concentration of a chlorophyll into indicator of absorption of light by “yellow substance” on wavelength of 354 nm has been applied to the analysis of researches during 14 cruise of R/V “Academik Ioffe” through Atlantic. This index has appeared informative for express-estimation of an ecological condition of open ocean waters.

В.Б. Коробов, А.А. Еремеева
(ГУ «Поморский государственный университет», Архангельск, e-mail: korobov@atknet.ru)

Оценка инженерно-экологических изысканий при освоении нефтегазовых месторождений в прибрежной зоне Арктических морей как источника информации об окружающей среде

V.B. Korobov, A.A. Eremeeva
(Pomorsky State University, Arkhangelsk)

Estimation of engineering-ecological researches at oil-and-gas deposits development in a coastal zone of the Arctic seas as a source of the environment information

Разработка нефтяных и газовых месторождений и создание транспортной инфраструктуры для их доставки в места переработки относится к

опасным видам деятельности, поскольку попадание нефтяных углеводородов в окружающую среду и воздействие добывающего комплекса на ее компоненты, особенно в условиях Арктики, может привести к тяжелому ущербу природным комплексам. Поэтому при реализации такого рода проектов природоохранным законодательством требуется проведение большого комплекса изысканий с целью тщательного исследования особенностей компонентов природной среды, чтобы, во-первых, получить надежные характеристики, необходимые для обеспечения безопасной эксплуатации сооружений и жизнедеятельности персонала, и, во-вторых, оценить возможные негативные последствия от намечаемой деятельности.

Под инженерными изысканиями понимается широкий комплекс исследовательских и экспедиционных работ, включающих в себя сбор и обобщение сведений из фондовых и литературных источников, разработку комплекса математических моделей, отбор проб и проведение измерений в полевых условиях. На основании собранных материалов и разработанных моделей рассчитываются требуемые характеристики и производится экологическая оценка ситуации и возможных последствий.

При этом процедура проведения изысканий жестко не регламентирована. Состав и объем работ определяется индивидуально для каждого проекта в соответствии с его особенностями. Не последнюю роль играет и изученность природных условий в районе производства работ, включая зону потенциального воздействия. Вполне может быть, что имеющейся информации вполне достаточно для проектирования и требуется только ее небольшое уточнение. Такая ситуация возникает, когда на действующем промысле необходимо построить одно-два сооружения, или новый комплекс находится поблизости с действующими, что, учитывая пространственно-временную изменчивость природных процессов и состояние социальной сферы, позволяет воспользоваться результатами уже проведенных изысканий.

Но значительно чаще информации все же не хватает. Тогда приходится выполнять все виды перечисленных работ. В этой ситуации вызывает интерес, в какой степени эти работы пополняют наши знания о природных условиях региона? Это тем более актуально, что в настоящее время финансирование крупных исследовательских тем, какими еще относительно недавно были, например, работы по созданию справочных пособий и атласов, существенно сокращено или прекращено совсем.

В качестве примера рассмотрим сводную пояснительную записку «Охрана окружающей среды с оценкой воздействия (морские сооружения)» в составе «Технико-экономического обоснования строительства Варандейского нефтяного отгрузочного терминала» в юго-восточной части Баренцева моря.

В отчете дается характеристика природных условий района строительства и современного состояния окружающей среды, определяются факторы и виды воздействия объектов Варандейского терминала на окружающую сре-

ду, рассмотрены последствия аварийных ситуаций на объектах, определены мероприятия по ликвидации аварий, приводятся предложения по организации производственно-экологического контроля и организации экологического мониторинга.

Данный отчет интересен тем, что его реализация затрагивает воздействие на все геосферы, и он является типичным для такого рода проектов.

Сведения об источниках информации для получения характеристик природной среды в рамках этого проекта приведены в таблице. Вопросы социальной сферы в нее не включены, поскольку место размещения терминала находится в слабо населенном районе и мало затрагивает коренное население.

Таблица. Источники информации о компонентах природной среды

Характеристики среды	**Источники информации**		
	Литературные и фондовые	**Натурные**	**Модельные**
1. Климат	Данные наблюдений на ГМС Варандей. Литературные источники.	Данные попутных судовых наблюдений.	
2. Загрязнение атмосферного воздуха	Среднегодовое содержание в осадках загрязняющих веществ – по данным ГМС Нарьян-Мар. Литературные источники.		Метеорологический потенциал атмосферы.
3.Геолого-геоморфологические условия 3.1.Инженерно-геологические условия	Литературные источники.	Бурение, пробоотбор, лабораторное определение физико-механических свойств, засоленности грунтов, изучение осадков, выполненных АМИГЭ в 2001–2003 г.г.	Расчеты сейсмической интенсивности, выполненные для района Приразломного нефтяного месторождения.
3.2. Морфо- и литодинамика	Литературные источники, навигационные карты масштаба 1:100000.	Данные АМИГЭ.	

3.3. Опасные морфодинамичес-кие процессы и явления	Литературные источники. Свидетельства местных жителей.	Данные ААНИИ и АМИГЭ и более ранних отчетов других организаций.	
4. Гидрологический режим и динамика вод 4.1. Температура, соленость, плотностная структура	Литературные источники, данные ГМС Варандей.	Информационный отчет АМИГЭ, 1999 г	Расчет общей схемы плотностных течений; максимальных скоростей ветровых течений; средней величины и экстремальных колебаний уровня моря; характеристики режима волнения.
4.2. Ледовый режим	Литературные источники, данные ГМС Варандей, материалы наблюдений УГМС	Материалы площадной аэрофото-съемки 1993 г.	Расчет торосистости ледяного покрова.
4.3. Гидрохимический режим	Литературные источники, фондовые материалы	Оценка качества морской среды основана на отчетах ЗАО «Нордэко- Евразия», 2003 г.	
5. Морская биота	Литературные источники.	По результатам наблюдений 2003 г. По данным исследований 1990-х годов.	

Примечание: ГМС – гидрометеорологическая станция, АМИГЭ – Арктическая морская инженерно-геологическая экспедиция; ААНИИ – Научно-исследовательский институт Арктики и Антарктики; МУГМС – Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

На основании рассмотренных материалов можно сделать следующие выводы.

1. Для оценки воздействия на окружающую среду объектов нефтетранспортного комплекса в прибрежной зоне используются все источники

информации: фондовые, литературные и результаты моделирования.

2. При получении сведений о сухопутных участках достаточно проведения локальных исследований. Этот вывод можно распространить и на участки берегов.
3. Исследование морской среды, ввиду ее большой подвижности, даже для точечных объектов требует создания комплекса математических моделей для значительной акватории. Результаты моделирования морской акватории могут использоваться для обновления существующих режимно-справочных пособий, а сами модели – для создания новых.
4. Исследования воздушной среды в проектах добычи и транспортировки нефти занимает своеобразное промежуточное положение между морской средой и комплексами суши. Если метеорологические характеристики необходимы для моделирования полей течений, нагонных колебаний уровня и волн, они также моделируются на обширных участках и могут использоваться для создания режимно-справочных пособий. Когда они необходимы для оценки качества состояния атмосферного воздуха в окрестности объектов, достаточно проведения локальных исследований.

On an example of one of the projects of oil transport infrastructure creation in a coastal zone, the necessary information for an estimation of influence on an environment is analysed. It is drawn a conclusion on an opportunity of its usage for creating new and specificating applicable local and regional regime handbooks.

А.Н. Кузнецов, Ю.А. Федоров
(Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: fizgeo@sfedu.ru)

Распределение нефтяных компонентов в системе вода – взвешенное вещество – донные отложения устьевой области р. Дон

A.N. Kuznetsov, Yu.A. Fedorov
(Southern Federal University, Rostov-on-Don)

Distribution of Oil Components in the System Water – Suspended Matter – Bottom Sediments of the Don River Mouth Reach

Устьевая область р. Дон, включающая придельтовый участок Нижнего Дона, дельту и Таганрогский залив, является барьерной зоной взаимодействия реки и моря и играет роль важнейшего регулятора литодинамических и биогеохимических процессов. На протяжении длительного времени эта уникальная экосистема подвергается мощному антропогенному давлению. В ряду загрязняющих веществ приоритетными являются нефть и нефтепродукты. По имеющимся оценкам, в настоящее время ежегодно со стоком р. Дон в Азовское море выносится 1,3–1,6 тыс. т нефтяных компонентов [2]. За последние два десятилетия объем перевозки нефтепродуктов через Азово-Донскую магистраль достиг порядка 4 млн. т в год, оказывая серьезное воздействие на экосистему. С другой стороны, существенно сократилось поступление нефтесодержащих сточных вод от промышленных предприятий.

Мониторинг нефтяного загрязнения рассматриваемых водных объектов осуществляется с 1970 г. сотрудниками АзНИИРХ, Донской устьевой станции Росгидромета, Южного федерального университета и ряда других организаций [1, 2, 4, 5]. Согласно этим данным, на рубеже 1980-х – 1990-х гг. в устьевой области р. Дон произошло существенное сокращение содержания суммы нефтяных компонентов с 10 до 1–3 ПДК в воде и с 0,8–1,3 до 0,2–0,5 мг/г сухого вещества (с.в.) в донных отложениях. В последующем уровень нефтяного загрязнения стабилизировался, и даже наметилась слабая тенденция к его росту.

В летне-осенние периоды 2006–2008 гг. в устьевой области р. Дон и Азовском море авторами были организованы и проведены пять комплексных научно-исследовательских экспедиций (рис. 1), в ходе которых изучалось распределения содержания нефтяных компонентов в водной толще, взвешенном веществе и донных отложениях. Уникальность выполненных исследований заключается в том, что впервые для рассматриваемых водных объектов с помощью ударной грунтовой трубки были отобраны и послойно опробованы колонки донных отложений мощностью 0,2–1,0 м с параллельным определением в пробах активности радиоизотопов ^{137}Cs, ^{241}Am и ^{210}Pb

для их последующей датировки [3, 6]. Также впервые в ходе суточных экспериментов производилось синхронное опробование поверхностного и придонного горизонтов водной толщи, взвеси и донных отложений с последующим определением в них содержания нефтяных компонентов. Достаточное для анализа количество взвешенного вещества было собрано с помощью седиментационных ловушек оригинальной конструкции. Анализ проб осуществлялся с использованием комплекса аттестованных хроматографических, оптических и весовых методов, позволяющих определять содержание главных нефтяных компонентов (углеводородов, ПАУ и смолистых соединений), а также присутствие углеводородов современного биологического происхождения. Радиологическое исследование проб производилось с помощью гамма-спектрометрического метода.

Рис. 1. Станции комплексных исследований в устьевой области р. Дон.

Как показали результаты исследований, содержание суммы нефтяных компонентов в водной толще устьевой области р. Дон варьирует от следовых значений до 0,55 мг/л (11 ПДК) при среднесезонных концентрациях 1–4 ПДК. Наиболее высокий уровень загрязнения традиционно фиксируется в р. Дон ниже впадения загрязненных вод протоки Аксай, р. Темерник, водовыпусков очистных сооружений канализации Ростова-на-Дону и Азова, а также в зоне смешения донских вод с азовскими в восточной части Таганрогского залива. Существенные различия содержания нефтяных компонентов в поверхностном и придонном горизонтах водной толщи отмечены не были, что является следствием хорошего вертикального перемешивания. Для межсезонной динамики свойственны повышенные значения в летние месяцы, когда интенсивность судоходства максимальна. Однако именно в это время наиболее активно протекают процессы естественной деструкции загрязнения, благодаря которым его уровень может существенно снижаться. Значительное увеличение загрязненности водной толщи в Таганрогском

заливе обычно связано со штормами, вызывающими взмучивание донных отложений.

В поверхностном слое донных отложений **к**онцентрации нефтяных компонентов изменялись в пределах 0,05–0,81 мг/г с.в. при средних значениях 0,36–0,43 мг/г в р. Дон и 0,21–0,26 мг/г в Таганрогском заливе. Повышенные значения были отмечены в главных рукавах дельты – Старый Дон и Каланча, на участках, где донные отложения представлены илом и заиленным песком, а также в центральном и восточном районах Таганрогского залива, где дно сложено мелкоалевритовым илом, активно происходит коагуляция и осаждение взвешенных частиц с сорбированными углеводородами в условиях снижения влияния стока р. Дон.

Соотношение между основными нефтяными компонентами – углеводородами и смолистыми соединениями – варьировало в достаточно широких пределах. В пробах донных отложений, отобранных в местах интенсивного хронического загрязнения от береговых источников (г. Таганрог, устье р. Дон), велико содержание устойчивых к трансформации смолистых компонентов (до 80% и более). В большинстве районов Таганрогского залива, напротив, наблюдалось преобладание углеводородов, что характерно для загрязнения сырой нефтью или легкими нефтепродуктами. Судя по особенностям люминесценции тонкослойных хроматографических пластинок под ультрафиолетовым светом, значительная часть углеводородов в этих пробах представлена соединениями современного биологического происхождения. Концентрации ПАУ в донных отложениях не превышали 3 мкг/г с.в.

Результаты обследования колонок донных отложений показали, что основная масса нефтяных компонентов сосредоточена в их верхнем слое: в Таганрогском заливе это слой мощностью 10–15 см, в дельте и низовьях Дона обычно больше, до 25 см, что обусловлено более высокими скоростями осадконакопления (рис. 2). Данные радиологического анализа свидетельствуют, что этот слой образовался в течение последних 40–50 лет, т.е. в период наиболее мощного техногенного воздействия на экосистему. В нижеследующих горизонтах содержание нефтяных компонентов быстро падает на фоне увеличения доли углеводородов современного биологического происхождения. На большинстве станций обнаружено существенное увеличение концентраций нефтяных компонентов в толще донных отложений на глубине 5–10 см, т.е. в слое, который образовался в конце 1970-х – середине 1980-х гг., когда уровень нефтяного загрязнения р. Дон и Азовского моря был существенно выше, чем в настоящее время.

Данные о распределении нефтяных компонентов в водной толще, взвешенном веществе и донных отложениях, полученные в ходе суточных экспериментов на станции у Чумбурской косы в восточной части Таганрогского залива и на двух станциях в дельте р. Дон, свидетельствуют о повышенном уровне нефтяного загрязнения донных отложений дельты и переносимого рекой взвешенного материала (рис. 3). Согласно этим данным, основ-

ная часть нефтяного загрязнения, поступающего со стоком р. Дон, находится преимущественно во взвешенной форме и осаждается в пределах дельты и устьевого взморья, не достигая Чумбурской косы. Преобладание смолистых соединений в составе нефтяных компонентов взвеси (68–77%) говорит о длительном преобразовании загрязнения и может объясняться его поступлением, главным образом, с ливневым стоком. Содержание растворенных углеводородов как в поверхностном, так и в придонном горизонтах, напротив, было выше в восточной части Таганрогского залива. Этот факт может объясняться бурным цветением воды, которое наблюдалось во время отбора проб и происходит ежегодно во второй половине лета – начале осени. На справедливость этого вывода указывают люминесцентные характеристики проб. Впрочем, ввиду близости Азово-Донского морского канала, не исключается присутствие свежего загрязнения, связанного с судоходством.

Работа выполнена при поддержке грантов Президента РФ НШ-4983.2008.5, МК-2574.2008.5 и гранта РФФИ № 09-05-00337.

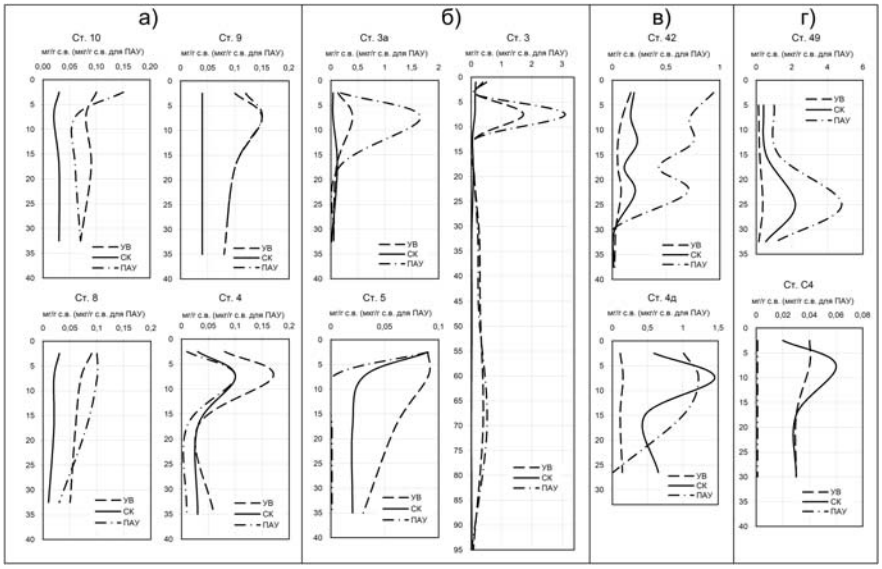


Рис. 2. Вертикальное распределение содержания предельных и моноароматических углеводородов (УВ), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и смолистых нефтяных компонентов (СК) в колонках донных отложений устьевой области р. Дон: а – западный и центральный районы Таганрогского залива, б – восточный район Таганрогского залива, в – дельта Дона, г – придельтовый участок Дона.

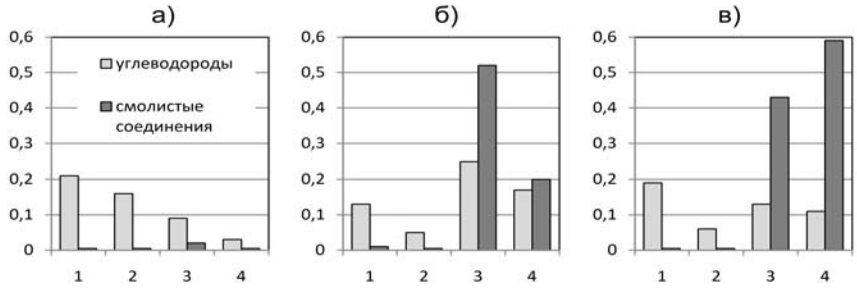


Рис. 3 Содержание нефтяных компонентов в водной толще (мг/л, 1 – поверхностный слой, 2 – придонный), взвешенном веществе (3, мг/г с.в.) и верхнем слое донных отложений (4, мг/г с.в.) в устьевой области р. Дон: а – восточная часть Таганрогского залива (район Чумбурской косы, станция 2), б – рукав Старый Дон (станция 42), в – гирло Старое (станция 4д).

1. Бронфман А.М. и др. Характерные особенности самоочищения вод и грунтов мелководного взморья (на примере Азовского моря) // Океанология. 1976. Т. 16. № 1. С. 91–97.
2. Кленкин А.А. и др. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар, 2007. 324 с.
3. Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А., Ленец Е.Н. Распределение нефтяных компонентов в колонках донных отложений Азовского моря // Геология морей и океанов. Материалы 17-й Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Т. 2. М.: Геос, 2007. С. 245–247.
4. Семенов А.Д., Павленко Л.Ф. Загрязнение морской среды при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе Черного и Азовского морей // Тез. 2-й Всесоюзной конференции по рыбохозяйственной токсикологии. СПб., 1991. С. 159– 160.
5. Федоров Ю.А. и др. Нефтяное загрязнение и его трансформация в водных экосистемах районов интенсивного судоходства и дампинга грунтов дноуглубления // Материалы международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». С.-Пб.: РГГМУ, 2005. С. 97–98.
6. 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 АН. 2008. Т. 423. № 2. С. 262–263.

The distribution of hydrocarbons, polysiclic aromatic substances and asphaltic components in water column, suspended matter and bottom sediments of the Don River mouth reach is studied. The cronology of oil pollution during the last half a century is revealed using the data on the vertical distribution of oil components and some radioisotopes in the sediment cores.

А.В. Куршева, И.В. Литвиненко, В.И. Петрова
(ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга» Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: petrovavi@mail.ru)

Эколого-геохимическое картирование ароматических углеводородов (на примере донных осадков западного сектора Арктики)

A.V. Kursheva, I.V. Litvinenko, V.I. Petrova
(I.S. Gramberg VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia)

Environmental-geochemical mapping of aromatic hydrocarbons (on the example of bottom sediments of western Arctic)

Основой эколого-геохимических исследований является метод картирования компонентов геологической среды, позволяющий установить пространственные закономерности распределения и взаимосвязи природной и техногенной составляющей геохимического поля, а также выявить источники загрязнения. При этом следует учитывать, что ряд природных соединений, таких например как ароматические углеводороды (АУВ) по составу и свойствам близки к составу и свойствам техногенных нефтепродуктов и даже их аномально высокие концентрации не всегда являются следствием антропогенной нагрузки. Для оценки выделенных в процессе картирования ареалов повышенных содержаний АУВ необходимо учитывать особенности формирования локального геохимического фона донных осадков: литологические, морфодинамические и фациальные условия осадконакопления, основные источники поступления, зоны преимущественного депонирования, особенности постседиментационное преобразования осадочного вещества и всех его компонентов.

Работа по картированию АУВ в донных отложениях западного сектора Арктики была разделена на две части. Целью первой, оценочной, стадии являлось определение фоновых концентраций и выделение зон с аномальным содержанием суммы углеводородов в донных осадках. На второй, корректционной, стадии было осуществлено детальное геохимическое изучение состава и содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в выделенных зонах аномалий.

Материалом исследования послужили пробы донных осадков (более 1100 образцов), отобранные в ходе научно-исследовательских экспедиций, осуществленных ФГУП «ВНИИОкеангеология» в 1971-2008 гг. в западном секторе Арктического региона (Белое, Печорское, Баренцево моря). Суммарное содержание АУВ определялось методом спектрофлуориметрии на анализаторе «Флуорат-Панорама-02». Содержание и молекулярный состав ПАУ определялся методом ГХ-МС (Agilent 5973/6850 GC-MS System).

При обработке данных геохимических исследований использовались современные программные средства – пакет статистического анализа MS

Excel и система моделирования поверхностей Surfer 8.0.

По результатам геохимического картирования АУВ, в донных осадках СЗ и СВ частей Баренцева моря, выделяются две зоны повешенных концентраций углеводородов (район Шпицбергена и ЗФИ). Спектрофлуориметрический анализ АУВ и ГХ-МС анализ ПАУ показали преобладание соединений нафтидогенного генезиса. Пирогенные компоненты играют подчиненную роль. Это согласуется с данными о генетической связи ОВ донных отложений с основными источниками сноса осадочного материала – обогащенными углистыми образованиями различного генезиса и катагенного уровня преобразования [1].

В осадках ЮЗ части Баренцевоморского региона, по результатам картирования, отчетливо выделяются ареолы повешенных содержаний АУВ и ПАУ в районе Кольского залива и ряде районов Белого моря. Данные аномалии обусловлены композиционным составом исходного ОВ, обусловленного влиянием седиментационного режима, к особенностям которого относятся приток атлантических вод, береговой сток, абразия берегов и аэрозольный поток. Углеводороды имеют преимущественно пирогенный генезис и связаны, очевидно, с техногенными источниками [2,3].

В донных отложениях Печороморского региона повышенные содержания АУВ приурочены к зонам нефтяных месторождений (район Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ) и шельфовая зона о. Колгуев, где ведутся интенсивные нефтедобычные работы). В составе ПАУ доминируют компоненты смешанного генезиса, что, по-видимому, обусловлено природными эндогенными процессами, зафиксированными на ПНМ и содержанием значительной доли продуктов сгорания в составе УВ осадков шельфа острова Колгуев по сравнению с другими районами печороморского региона.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что в выделенных аномальных зонах состав и распределение углеводородов в донных осадках западного сектора Арктики является преимущественно фоновым и обусловлен, в основном, природой ОВ исходного осадочного материала.

Вместе с тем, в ряде районов южной части изучаемого региона отмечаются повышенные содержания АУВ в донных осадках, обусловленные их приуроченностью к зонам интенсивного освоение нефтегазовых ресурсов.

1. Petrova V.I. Correlation diagnostics of hydrocarbon anomalies in bottom sediments of the Arctic shelf / Petrova V.I., Batova G.I. & Galishev M.A. // Geochemistry. 2000. N. 3. P. 301–308.
2. Dahle S., Savinov V., Petrova V. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical distribution and sources // Norwegian J. of Geology. 2006. Vol. 86. P. 41–50.

3. Savinov, V.M., Savinova, T.N., Carroll, J., Matishov, G.G., Dahle S. & K. Næs. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Sediments of the White Sea, Russia. Marine pollution Bull. 2000. Vol. 40. P. 807-818.

Work has been done on mapping the distribution of aromatic hydrocarbons in bottom sediments of the western Arctic. The aim of the first, assessment stage was to determine the background concentrations and the allocation of zones with anomalous contents of hydrocarbons in bottom sediments. In the second, corrective stage was carried out a detailed geochemical study of the composition and content of aromatic hydrocarbons at the molecular level (GC-MS) in selected areas of anomalies.

В.В. Мотычко, В.В. Николаев, Ю.Г. Самойлович, Г.Н. Соколов, В.И. Слинченков, В.А. Щербаков, В.М. Константинов

(ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург, e-mail: okeangeo@vniio.ru) **Геоэкологическая ситуация в северной части Обской губы Карского моря**

V.V. Motichko, V.V. Nikolaev, Yu.G. Samoilovich, G.N. Sokolov, V.I. Slinchenkov, V.A. Scherbakov, V.M. Konstantinov

(VNIIOkeangeologiya, St.Petersburg)

Geoecological situation in the north part of Obskaya Guba Gulf, the Kara Sea

Увеличение объемов нефтегазодобычных работ на севере Западной Сибири приводит к многостороннему воздействию на естественные природно-территориальные комплексы, включающему загрязнение компонентов среды, воздействие на воды, почвы и растительность, активизацию геокриологических процессов. Особое место в системе охраны окружающей среды на севере Западной Сибири занимает Обская губа, являющаяся конечным бассейном стока огромной территории этого региона.

В соответствии с Государственным контрактом от 25 апреля 2005 г. с Федеральным Агентством по недропользованию Комплексной партией ФГУП ВНИИОкеангеология было проведено изучение фонового состояния среды северной части Обской губы - района предполагаемых месторождений углеводородов. В процессе морских экспедиционных работ 2005 и 2006 гг. осуществлялось донное опробование и опробование водной толщи названной акватории по сети 10х20 км. На площади более 22 000 кв.км выполнено 130 станций отбора донного грунта, а также на 65 станциях прове-

дено зондирование водной толщи с опробованием приповерхностного и придонного горизонтов. На борту судна определялись водородный показатель (pH), а также содержание кремния, фосфора, нитратов, нитритов, нефтяных углеводородов в водной толще.

В рамках этих работ были проведены геофизические исследования методом высокочастотного акустического профилирования. Максимальная глубинность по разрезу составила 25 м, диапазон частот регистрации составлял 2-10 кГц, что обеспечивает разрешение по грунтам около 10 см. В процессе работ выполнено 22 профиля общей протяженностью около 850 км. Основная часть профилей проходит, как правило, через точки пробоотбора, достаточно равномерно покрывая весь участок работ. В результате получены новые данные о геологическом разрезе донных отложений и геоморфологических особенностях донной поверхности, установлено наличие участков развития многолетнемерзлых пород (ММП), определены глубины залегания кровли ММП.

В камеральный период были обобщены результаты геологических и геохимических исследований, составлены карты масштаба 1:1 000 000: геолого-геоморфологическая, геохимические донных осадков, гидрогеохимические придонных вод, геокриологического районирования, гидрогеологического районирования, оценки геоэкологической ситуации с проявлениями опасных геологических процессов (ОГП) и обстановками осадконакопления. Построены моноэлементные карты-схемы содержания элементов и соединений в донных отложениях и придонных водах. Перечисленный комплект карт готовится к изданию в виде атласа.

В результате была создана геологическая и геохимическая информационная основа рационального и экологически безопасного освоения минерально-сырьевых ресурсов северной части Обской губы. Установлены литодинамические, гидрогеохимические и геохимические (для донных грунтов) фоновые характеристики акватории губы, изучена современная геокриологическая обстановка района работ. Было выявлено два комплексных литогеохимических барьера: (1) в районе впадения Тазовской губы и (2) в северной части Обской губы на контакте морских и речных вод (барьер «река-море»). Барьеры характеризуются условиями устойчивой аккумуляции тонкодисперсного осадочного материала. Особенность водообмена между Карским морем и Обской губой состоит в том, что сток речных пресных Обь-Тазовских вод происходит в основном вдоль гыданского берега, в то время как внедрение морских вод приурочено к западному – ямальскому берегу. Это отражается в минерализации воды, которая на 5-10% выше у п-ова Ямал. Соотношение между содержаниями металлов во взвешенной и растворенной формах значительно отличаются. Одна группа металлов (Cr, Mn, Fe,Co, Pb) тяготеет к взвеси, другая (Cd,Tl, Hg) – к растворенной форме, для третьей (Ni,Zn, Cu, As) они равнозначны.

Поведение многих компонентов существенно зависит от минерализации

вод губы. Так, если в пресных водах взвешенная форма Co и Mn преобладает над растворенной в 30-40 раз, то при минерализации 10-30 ‰ роль взвешенной формы понижается до 2-6 раз. В целом, средние содержания металлов в придонных водах Обской губы в 2-50 раз выше фоновых значений для Западно-Арктического шельфа. Однако повышенный относительно открытого моря геохимический фон является типичным явлением для всех устьевых зон крупных рек и связано это, в первую очередь, с природными факторами. В Обской губе придонные воды имеют минерализацию естественного происхождения и практически мало затронуты техногенным загрязнением. То же можно сказать и в отношении донных отложений. По своему происхождению углеводороды в водах Обской губы можно отнести к смешанному автохтонно-аллохтонному типу, образовавшемуся преимущественно из производных высших растений.

Анализ распределения содержаний других органических соединений свидетельствует о возможном незначительном загрязнении полихлорбифенилами и ароматическими углеводородами (АУВ) донных отложений в южной части исследованного полигона. Вероятными источниками поступления этих загрязняющих веществ является крупный Пур-Тазовский нефтегазодобывающий комплекс, расположенный к юго-востоку от района работ, а также многочисленные предприятия, расположенные в бассейне р. Обь. Однако групповой состав АУВ и распределение алкановых углеводородов показывают их связь с терригенным гумусовым материалом, а устойчивость качественных и количественных характеристик во времени свидетельствуют о стабильности в целом экосистемы Обской губы.

Такие загрязнители воды, как фенолы и хлорорганические пестициды, содержатся либо ниже чувствительности метода (0,001 и 0,0001 мг/кг соответственно), либо незначительно превышают его. Лишь на одной из станций, в южной части района работ, отмечено повышенное содержание фенолов - 0,19 мг/кг.

В качестве одного из показателей количественной меры определения загрязнённости воды и придонных осадков был принят индекс Zc. Он представляет собой суммарный коэффициент концентрации (отношение содержания химического элемента в оцениваемом объекте к его фоновому содержанию) за минусом числа химических элементов, входящих в изучаемую ассоциацию. Для анализа взята ассоциация 11 химических элементов, оказывающих наиболее неблагоприятное воздействие на окружающую среду – As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V, Zn.

Получилось в итоге, что суммарная загрязненность воды и донных отложений веществами, содержащими «экологически опасные» химические элементы изменяется в широких пределах - от 24 до 694 единиц. Следует отметить, что наиболее весомый вклад (около 90%) на величину Zc в воде оказывают 4 элемента – Fe, Co, Mn, Ni (для донных отложений это Fe и Mn). Придонные воды с наименьшими значениями Zc (менее 100 ед.) находятся в

центральной части района. На юге участка отмечаются повышенные значения индекса – до 200 ед., что вероятно обусловлено непосредственным влиянием речных вод Оби и Таза. Наиболее высокий индекс загрязненности придонных вод (как и для донных отложений) порядка 500-600 ед. находится в северной части участка – в пределах барьера «река-море».

Устанавливается пространственная зависимость между ореолами повышенных содержаний ртути в составе взвеси и газоконденсатными месторождениями, расположенными по берегам Обской губы. Предполагается, что наиболее высокие концентрации ртути во взвеси (до 1 г/т) в северной области губы могут быть обусловлены наличием там крупных месторождений газа.

Расчеты Zc для донных отложений изученной части Обской губы показывают, что их загрязнение здесь невелико и может считаться имеющим природный характер. Самые низкие индексы загрязненности отмечены в центральной и южной частях района работ. Естественно при этом, что в поле накопления пелитовых и алевропелитовых илов (преобладают на севере изученного участка) концентрация металлов выше, чем в поле песчаных осадков. Содержания природных Ra226, K40, Th232 и техногенного радионуклида Cs137 в илах Обской губы гораздо ниже, чем, например, в осадках соседней Байдарацкой губы и Енисейского залива.

Известно, что значительную аварийную опасность при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений создают процессы, обусловленные мерзлотными явлениями. Многолетнемерзлые породы (ММП), слагающие восточное побережье п-ова Ямал и север Гыданского п-ова, имеют высокую объемную макрольдистость (более 20%) и содержат повторно-жильные льды мощностью до 10-12 м. Широко распространены инъекционные и пластовые льды. Процессы термоабразии затрагивают, прежде всего, береговую зону: так в районе п-ова Явай отступание берега идет со скоростью до 10 м/год. Процессы протаивания и солифлюкции развиты во всех долинах рек, впадающих в Обскую губу, вследствие чего ширина долин достигает 20-30 км В целом породы характеризуются низкой эрозионной устойчивостью. Потенциальная величина просадок при оттаивании десятиметрового слоя ММП может достигать 5-6 м. И это только за счет льдистости, а при вытаивании полигонально-жильных льдов просадка увеличивается ещё больше. Не только на суше, но и на дне губы (по данным акустического профилирования) отмечены явления термокарста. На отдельных участках сейсмограмм отмечены места с возможным проявлением во временных разрезах кровли ММП, выявлены нарушения донной поверхности, предположительно обусловленные торошением придонных ледовых полей. По характеру сейсмозаписи фиксируются места выходов свободного газа в водную толщу,

Оценивая современную экологическую ситуацию района работ – северной части Обской губы, можно констатировать, что фоновые значения всех

основных геолого-геоморфологических и геохимических показателей говорят об относительном благополучии здесь морской акватории. Однако следует иметь в виду неустойчивость и большую уязвимость Арктики ко всем видам техногенного воздействия на природную среду.

As a result of research of water horizons and sea-floor sediment samples jointly high-frequency acoustic profiling (obtained in expeditions of 2005-2006, Obskya Guba Gulf of the Kara Sea) we have established lithodynamic, hydrogeochemical and geochemical background characteristics for gulf area, have picked up information about actual geocryology situation.

И.А. Немировская[1], В.В. Сивков[2], Е.В. Булычева[2], А.Д. Гаврилова[1]
([1]Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва; e-mail: nemir@ocean.ru; [2]Атлантическое отделение Института океанологии РАН, г. Калининград, e-mail: . sivkov@kaliningrad.ru; elena321@mail.ru)

Мониторинг углеводородов в районе Кравцовского месторождения в Балтийском море

I.A. Nemirovskaya[1], V.V. Sivkov[2], E.V. Bylucheva[2], A.D. Gavrilova[1]
([1]Institute of Oceanology RUS, Moscow; [2]AB Institute of Oceanology RUS, Kaliningrad)

Monitoring of hydrocarbons in the region of Kravchovsky oilfield of the Baltic Sea

С целью определения загрязненности Балтийского моря нефтяными УВ в районе платформы Д-6 – (Кравцовское месторождение, рис. 1) было проведено изучение концентраций и состава алифатических углеводородов (АУВ) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в фильтрационной взвеси, выделенной на стекловолокнистые фильтры GF/F и в поверхностном слое донных осадков (исследования проводили с марта по август 2008 г.). Определение проводили методами, принятыми при анализе нефтяных и природных УВ: АУВ – методом ИК-спектрофотометрии, ПАУ – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, $C_{орг}$ – методом сухого сожжения.

Во взвеси концентрации УВ изменялись в интервале 2.1–35.5, средняя – 16.7, σ (стандартное квадратичное отклонение) – 15.7 мкг/л весной и 1.1. – 45.5, средняя – 21.5, σ – 10.5 летом. Полученные величины концентраций значительно ниже ПДК для нефтяных УВ (50 мкг/л) и соответствует среднему углеводородному уровню в прибрежных морских акваториях – 20–22 мкг/л. Низкие значения σ могут свидетельствовать, о том, что УВ в доста-

точной степени трансформированы или о незначительном их поступлении с нефтяным загрязнением. Существование связей между распределением $C_{орг}$, липидами, АУВ и взвесью: r(вз-лип)=0.84; r(вз-АУВ)=0.69; r(вз-$C_{орг}$)=0.85; r(АУВ-$C_{орг}$)=0.54, может также указывать на преимущественно природный биогенный генезис органических соединений. Более высокие величины концентраций в придонном горизонте, видимо, обусловлены ресуспензированием УВ из донных осадков. Показательны в этом плане данные, полученные на ст. 22, где как весной, так и летом на горизонте 106 м их концентрации выше, чем на горизонте 90 м. Примечательно, что десятилетний мониторинг в районе калининградского шельфа установил снижение концентрации УВ в растворенном состоянии в последние годы. Их средний уровень в придонных водах с 2006 по 2008 г снизился с 50 до 10 мкг/л.

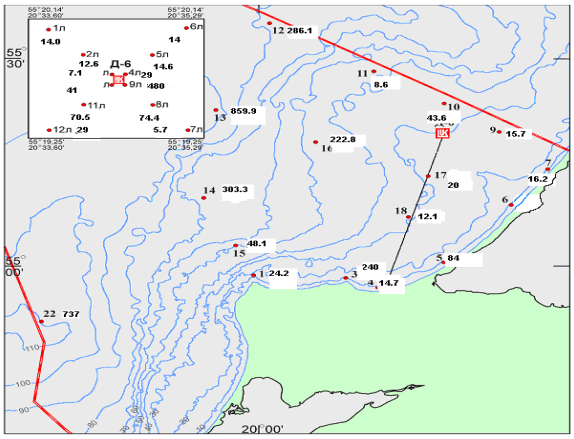


Рис. 1. Схема отбора проб и концентрации АУВ (мкг/г) в поверхностном слое донных осадков.

Содержание ПАУ во взвеси (2–5 нг/л) находится на уровне чувствительности метода их определения. В их составе идентифицированы в основном фенантрен и хризен, имеющие природное происхождение. Бенз(а)пирен обнаружен в следовых концентрациях.

Напротив, в песчанистых донных осадках, с влажностью в основном 8–20%, содержание АУВ было очень высоким (рис. 1). Обычно содержание $C_{орг}$ и АУВ в песчанистых осадках значительно ниже, чем в илистых, так как распределение органических соединений зависит от степени их дисперсности. Согласно нашим данным, полученным при изучении поверхностного слоя песчанистых осадков в различных акваториях, фоновое содержание АУВ не превышает 20 мкг/г. В частности, в песчанистых отложениях Белого моря, где исследования были проведены в 2001 по 2006 г.г. во время летней межени, среднее содержание АУВ изменялось в интервале 16–18

мкг/г. Между концентрациями $C_{орг}$ и УВ и влажностью осадков, определяющихся их дисперсностью, существует жесткая зависимость и значения r>0.8. Илистые отложения (особенно при доминировании фракции <0.1 мм) легко поглощают органические соединения, в том числе и загрязняющие вещества из водной толщи с взвесью.

В песчанистых осадках в районе платформы Д-6 (рис. 1) содержание АУВ изменялось от 5.7 до 480 мкг/г, при средней 68.4, σ=131.5 мкг/г. В непосредственной близости от платформы средняя концентрация составила 128.5, σ=167.9 мкг/г, а на периферии полигона почти в 8 раз меньше – 16.3, с меньшим разбросом данных – σ=7.7 мкг/г. Такая изменчивость концентраций на сравнительно небольшой площади, в осадках одного литологического типа, скорее всего, обусловлена существованием дополнительного источника УВ. На ст. 9л с максимальной концентрацией АУВ в осадке были видны черные прослойки. При этом в составе $C_{орг}$ доля АУВ достигала – 83%, т.е. ОВ осадков состояло практически из УВ.

Характерной чертой алканов осадков полигона является отсутствие низкомолекулярных соединений до C_{17} и нафтеноароматического «горба», максимум приурочен к калканам н-C_{22}-C_{24}. В составе УВ осадка на ст. 9л доминировали нефтяные гомологи (рис. 2а). Низкотемпературный максимум при н-C_{20}. имеющий микробиальное происхождение, свидетельствует о степени трансформации АУВ, так как нефтяные УВ могут способствовать интенсификации биохимических процессов.

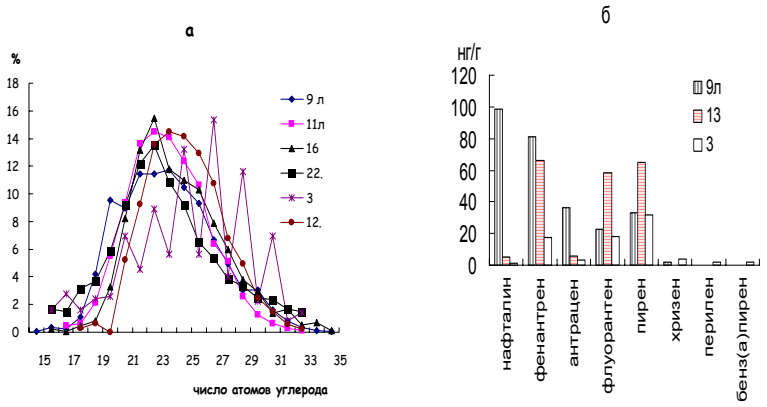


Рис. 2. Распределение алканов (а) и ПАУ (б) в донных осадках. Расположение станций приведено на рис. 1.

В составе ПАУ осадка ст. 9л доминировал нафталин, что также подтверждает нефтяное происхождение УВ (рис. 2б). Нафталин наиболее лету-

чий арен, который легко разлагается в воде, поэтому в составе ПАУ донных осадках он относится к минорным компонентам, особенно летом. Видимо, поэтому в остальных пробах его содержание низкое. Из-за высоких концентраций флуорантена (ФЛ) и пирена (П) и низкого значения отношения ФЛ/П, которое в большинстве проб <0.5, можно было бы предположить влияние на состав ПАУ пирогенных процессов. Видимо нельзя однозначно использовать эти маркеры при интерпретации генезиса полиаренов.

За пределами полигона платформы Д-6 повышенные концентрации определены в прибрежных песчанистых осадках станций 3, 5 и 22: 80–737 мкг/г (рис. 1). В составе $C_{орг}$ доля АУВ снизилась, но оставалась еще достаточно высокой, достигая 44%. Конфигурация спектров алканов указывала на преимущественно нефтяной генезис УВ (станции 12, 16, 22). Однако в отдельных пробах (в частности ст. 3) в их составе доминировали наиболее устойчивые терригенные компоненты: индекс нечетности (CPI) повышался с 1.14 до 3.81, а отношение низкомолекулярных гомологов к высокомолекулярным понижается с 1.16 до 0.60.

В илистых, сравнительно глубоководных осадках станций 12, 13 и 14, содержание $C_{орг}$ достигало величин, характерных для сапропелевых илов - 3.6–5.3%. При довольно высоких концентрациях здесь АУВ (286–860 мкг/г), их доля в составе $C_{орг}$ колебалась в интервале 0.6–1.8%, то есть оказалась значительно ниже, чем в районе платформы Д-6 и в прибрежных осадках. Дифференциация осадочного материала в зонах повышенной гидродинамической активности приводит к тому, что при понижении дна происходит образование илистых отложений с высоким содержанием ОВ и УВ. В частности на ст. 12 при содержании $C_{орг}$ 4.12% и АУВ 286 мкг/г осадок пах сероводородом, конфигурация спектра алканов указывала на их нефтяной генезис.

Согласно имеющимся данным в морских донных осадках доля АУВ обычно < 1%, а в донных осадках Балтики при высоких концентрациях $C_{орг}$ – лишь незначительно превышала 1%. В биологических объектах их относительное содержание еще ниже: в $C_{орг}$ планктона – 0.14%, в фитобентосе – 0.048%, в высших наземных растениях (листья деревьев) – до 0.01%. Поэтому столь высокое содержание АУВ, наряду с составом алканов в осадках, несомненно, обусловлено поступлением нефтяных УВ. Для сравнения, в загрязненных нефтепродуктами песчанистых осадках дельты Волги, доля УВ достигала 62% ($C_{орг}$=0.58%, УВ=4558 мкг/г), а в осадках устья Северной Двины во время паводка в районе нефтебазы – 74.5% (концентрации $C_{орг}$ и АУВ соответственно 0.073% и 544 мкг/г).

Содержание АУВ до 10 мкг/г в песчанистых 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 некоторых прибрежных станциях (станции 4, 7. 9 и 11) концентрации АУВ соответст-

вуют этому фоновому уровню. На других станциях, расположенных поблизости, наблюдалось превышение фона в 5–46 раз (станции 3, 5, 12, 22).

Несмотря на преимущественно нефтяной генезис УВ в осадках, судить об их происхождении довольно сложно, из-за различного состава нефтепродуктов, поступающих с загрязнением, и их быстрой трансформацией не только под влиянием физико-химических процессов и при седиментации, но и в пограничном слое вода—дно, и в поверхностном слое донных осадков. Кроме того, в этом районе, возможно, поступление УВ с флюидными потоками из осадочной толщи.

Исследованиями установлено несколько тысяч мест естественного высачивания нефти, их локализация охватывает разные регионы Мирового океана, где распространены нефтегазовые бассейны. В частности, в проливе Санта-Барбара (Калифорния, США) на участке протяженностью около 1.5 км ежедневный поток УВ оценивается в 10-15 т в день. Столь большое поступление УВ обусловлено небольшими глубинами залегания нефтеносных пластов, благоприятной тектонической и литологической ситуацией. Например, в Мексиканском заливе выходы нефти связаны с диапирами соли (отложений триаса и юры с глубиной залегания 6-9 км), а глубина залегания купола не превышает 200 м. В осадках этого района были обнаружены так же, как на полигоне Д-6, полужидкие нефтяные комки в поверхностном слое и их прослойки в вертикальном разрезе до 2 м. По последним данным количество УВ, поступающих со дна, оценивается в 600 тыс. т (46% от суммы – 1.3 млн. т), Считается, что количество УВ, поступающих со дна Балтийского моря, в общем углеводородном балансе достигает 11% (5.3 при суммарном поступлении 50 тыс.т.) и локализовано в акваториях месторождений. Эта оценка проведена на основании изучения состава нефтяных агрегатов, отобранных на пляжах Балтики. Сведения о составе и фоновых концентрациях этих высачивающихся УВ довольно противоречивы. Ранее в донных осадках юго-восточной части Балтийского моря в пределах газотурбированных акустически аномальных участков был встречен аномальный состав УВ, который так же, как в районе платформы Д-6, характеризовался проявлением гомологов нефтяного ряда. Механизм столь глубоких изменений УВ остается пока неизвестным, так как их состав принципиально не соответствовали составу добываемых в этих районах нефтей. Представляется возможным существование природной дистилляции (фракционирования) нефти, при которой низкомолекулярные компоненты выносятся в придонную воду, а на горизонтах донных осадков с резким изменением Eh, как это наблюдается в осадочной толще в районе флюидов, происходит избирательное накопление высокомолекулярных алканов.

Следовательно, столь высокие концентрации в песчанистых донных осадках в районе платформы Д-6 при фоновых уровнях в воде могут быть обусловлены их поступлением из осадочной толщи. Поэтому в качестве основных источников нефтях УВ в донных осадках этого района наряду с

нефтяным загрязнением нужно рассматривать природные флюидные потоки.

Работа выполнена при финансовой поддержке ООО «ЛУКОЙЛ-КМН», РФФИ (грант 08-05-00094а, 09-05-13510-офи_ц); Программы № 17 фундаментальных исследований Президиума РАН.

It is shown, that high concentration hydrocarbons in the bottom sediments (up to 480 μ/g in sandy and up to 860 μg/g in pelit), alongside with background concentrations in water (middle 21 μg/l) are caused by fluid flax from sedimentary thickness and oil pollution.

А.В. Савенко[1], О.С. Покровский[2], Ф.А. Романенко[1]
([1] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, e-mail: Alla_Savenko@rambler.ru; [2] Университет имени П. Сабатиера, Тулуза, Франция, e-mail: oleg@lmtg.obs-mip.fr)

Миграция растворенных форм микроэлементов в устьевых областях малых рек водосбора Карского моря

A.V. Savenko[1], O.S. Pokrovsky[2], F.A. Romanenko[1]
([1] Moscow M.V. Lomonosov State University; [2] P. Sabatier University, Toulouse, France)

Migration of the dissolved forms of microelements in the mouth areas of small rivers discharging into the Kara Sea

Несмотря на большой интерес, проявляемый к изучению Российской Арктики, сведения о химическом составе вод и процессах, происходящих в устьевых областях малых рек этого региона, весьма ограничены. В связи с этим нами было проанализировано распределение растворенных форм 18 микроэлементов (Rb, Sr, Ba, V, Cr, As, Al, Ti, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Mo, U) в устьевых областях рек Яраяха (западный берег полуострова Ямал) и Оюяха (восточный берег Югорского полуострова), впадающих в Байдарацкую губу Карского моря.

Материалом для исследования послужили пробы воды, отобранные по разрезам вдоль зоны смешения речных и морских вод 14–16 августа 2006 г. из поверхностного горизонта в фазу отлива. Сразу же после отбора проб проводилась их фильтрация через мембранный фильтр 0.45 мкм в полипропиленовый флакон с предварительно внесенной туда аликвотой 5 N азотной кислоты марки о.с.ч. (0.6 мл на 30 мл пробы). Концентрации микроэлементов определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, содержание хлоридов – объемным меркуриметрическим методом с весовым разбавлением высокоминерализованных проб.

Согласно полученным результатам, среди изученных микроэлементов консервативное поведение наблюдалось только для рубидия, стронция, мо-

либдена и урана, концентрации которых линейно увеличивались с ростом содержания хлоридов, с высокими коэффициентами корреляции описываясь общими уравнениями связи для устьев обеих рек:

$$[\text{Rb, мкг/л}] = 1.26 + 5.21\times 10^{-3}[\text{Cl, мг/л}], \quad r = 0.999,$$
$$[\text{Sr, мкг/л}] = 29.7 + 0.362[\text{Cl, мг/л}], \quad r = 0.999,$$
$$[\text{Mo, мкг/л}] = 0.069 + 5.13\times 10^{-4}[\text{Cl, мг/л}], \quad r = 0.996,$$
$$[\text{U, мкг/л}] = 0.036 + 1.56\times 10^{-4}[\text{Cl, мг/л}], \quad r = 0.997.$$

Микроэлементы с неконсервативным типом поведения можно разделить на три группы в зависимости от характера изменения их концентраций в зоне смешения речных и морских вод.

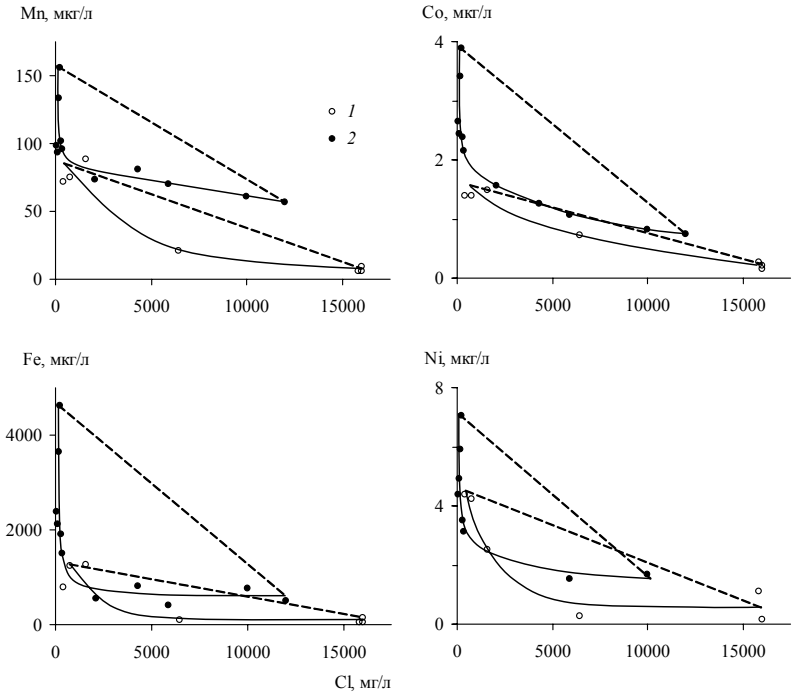
Для микроэлементов первой группы, в которую вошла основная часть тяжелых металлов (Mn, Fe, Co, Ni, Pb), наблюдалось резкое снижение концентраций на начальном этапе смешения с морской водой, постепенно замедляющееся по мере приближения к морской границе устьевых областей (рис. 1). Для микроэлементов второй группы, которую также составляют тяжелые металлы (Cu, Zn, Cd), концентрации при смешении речных вод с морскими сначала резко снижались, а затем плавно возрастали до величин, превышающих содержание этих элементов в речной водной массе (рис. 2). При этом в устье Оюяхи концентрации микроэлементов как первой, так и второй групп были в несколько раз выше по сравнению с водами устья Яраяхи и существенно превышали типичные значения для речного стока [1, 2].

Для микроэлементов третьей группы, в которую входят оксианионы (V, Cr, As), а также барий, алюминий и титан, характерно принципиальное различие распределения в устьевых областях изученных рек: в устье Яраяхи концентрации этих элементов слабо увеличивались с ростом содержания хлоридов при относительно низких концентрациях в речной водной массе, тогда как в устье Оюяхи наблюдалось резкое снижение их концентраций на начальных стадиях осолонения с минимумом при содержании хлоридов около 2 г/л при повышенных (от нескольких раз до нескольких порядков величины) концентрациях в речных водах (рис. 3).

Воды р. Оюяхи сильно окрашены, что свидетельствует о повышенном содержании в них растворенного органического вещества, которое, как известно, образует прочные органо-металлические комплексы. При смешении с морской водой происходит переход растворенного органического вещества во взвешенное состояние в результате его коагуляции и флоккуляции, что приводит к выведению связанных с ним микроэлементов из раствора.

Это позволяет предположить, что причиной резкого снижения концентраций микроэлементов в устьевых областях изученных рек, по-видимому, является их извлечение из раствора с гуминовыми кислотами в процессе коагуляции и флоккуляции коллоидов, наибольшая интенсивность которого отмечается на начальных стадиях осолонения [1, 2 и др.]. При этом в устье Оюяхи с повышенным содержанием растворенного органического вещества

эффективность извлечения микроэлементов из раствора максимальна, тогда как в устье Яраяхи снижение концентраций тяжелых металлов менее выражено, а элементов третьей группы (V, Cr, As, Ba, Al, Ti) – вообще отсутствует.



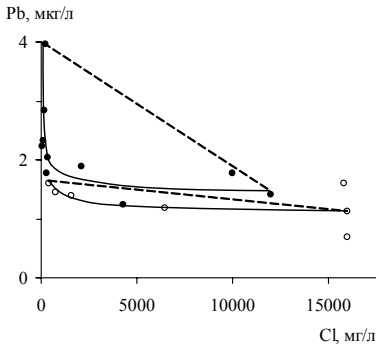


Рис. 1. Зависимости концентраций растворенных форм марганца, железа, кобальта, никеля и свинца от содержания хлоридов в устьевых областях рек Яраяха (*1*) и Оюяха (*2*) водосбора Карского моря. Здесь и на рис. 2 и 3 пунктиром обозначены расчетные линии консервативного смешения

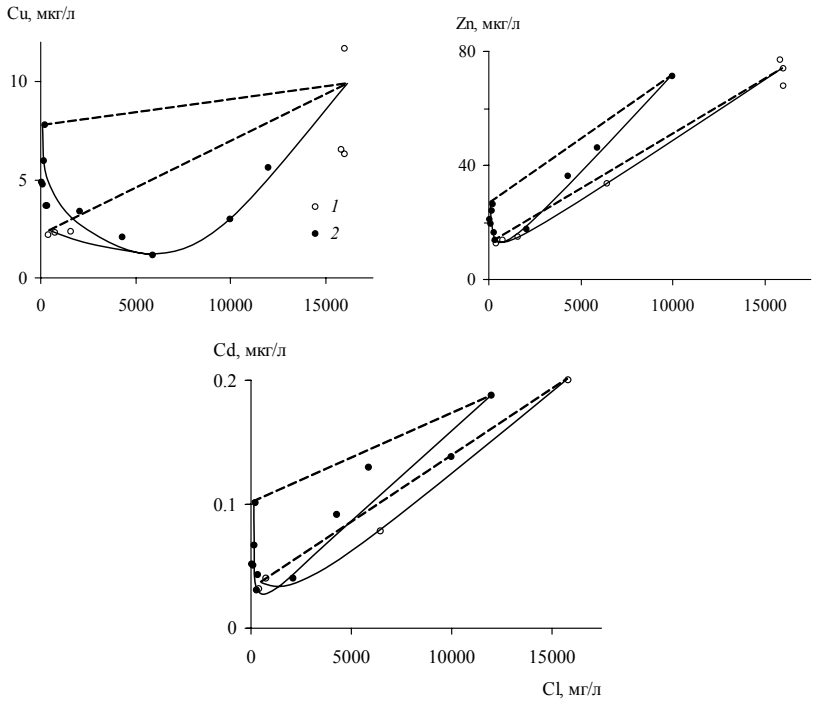


Рис. 2. Зависимости концентраций растворенных форм меди, цинка и кадмия от содержания хлоридов в устьевых областях рек Яраяха (*1*) и Оюяха (*2*) водосбора Карского моря

Увеличение концентраций микроэлементов второй группы (Cu, Zn, Cd) в морской части устьевых областей может быть обусловлено снижением доли их сорбированных форм вследствие комплексообразования с хлоридами и сульфатами.

Таким образом, в ходе гидрохимических исследований устьевых областей малых рек Яраяха и Оюяха водосбора Карского моря было установлено консервативное поведение рубидия, стронция, молибдена и урана и неконсервативное поведение тяжелых металлов (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb), оксианионов (V, Cr, As), бария, алюминия и титана, миграция которых контролируется, по-видимому, процессами коагуляции и флоккуляции растворенного органического вещества, а также явлениями комплексообразования с хлоридами и сульфатами морской воды.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты №№ 09–05–00692 и 08–05–00932).

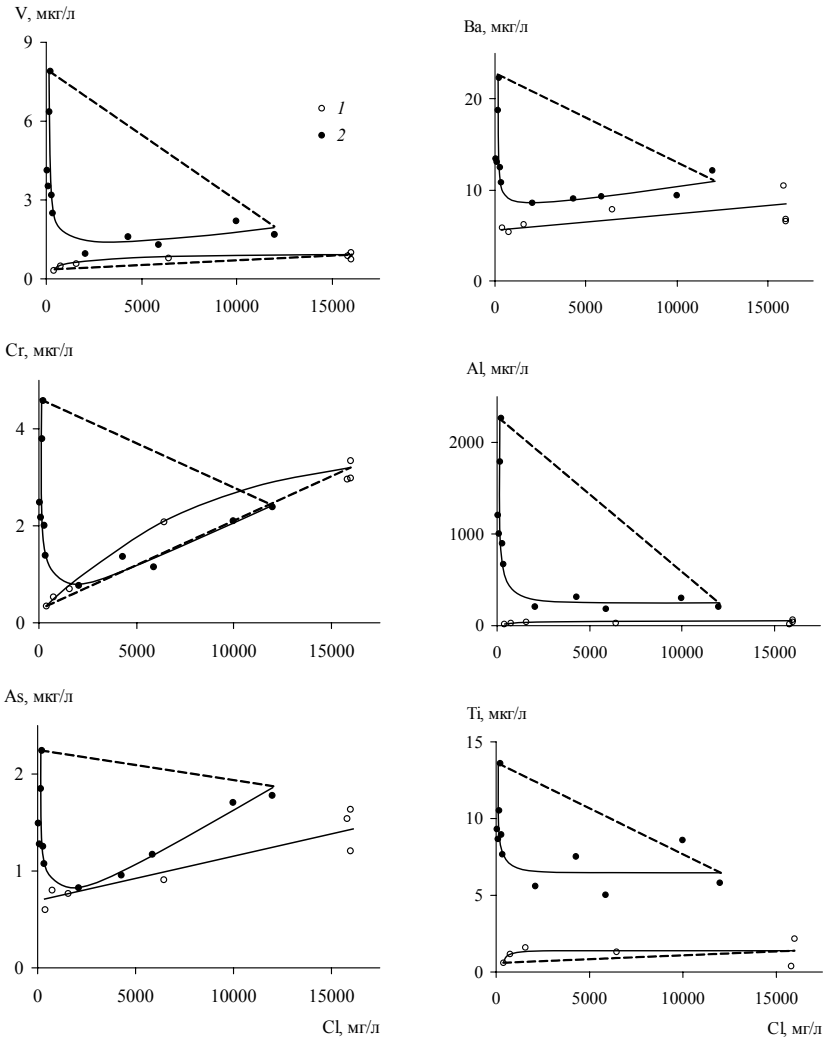


Рис. 3. Зависимости концентраций растворенных форм ванадия, хрома, мышьяка, бария, алюминия и титана от содержания хлоридов в устьевых областях рек Яраяха (*1*) и Оюяха (*2*) водосбора Карского моря

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.

Migration of the dissolved forms of microelements in the mouth areas of small rivers Yarayakha and Oyiyakha discharging into the Kara Sea was studied. It was established the conservative behavior for Rb, Sr, Mo, and U. The non-conservative behavior caused, apparently, by the processes of coagulation and flocculation of dissolved organic matter, and also the phenomena of complex formation with chlorides and sulfates of seawater was found for heavy metals (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb), oxyanions (V, Cr, As), and Ba, Al, Ti.

Л.Э. Скибинский
(Северо-западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Архангельск, e-mail nwdioras@atnet. ru)

Экологический мониторинг Долгинского нефтяного месторождения (Печорское море)

L.A. Skibinskiy
(North-western Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Arkchangelsk)

Ecological monitoring Dolginskoe oil deposit

Усиливающееся развитие морской нефтегазодобычи на шельфе арктических морей создает принципиально новую экологическую ситуацию на шельфе морей Европейского Севера России. Это выражается как в интенсификации существующих опасных факторов (воздействие геологоразведочных работ на морскую среду и биоту, буровые работы на шельфе, танкерные перевозки и др.), так и в появлении новых источников воздействия: стационарных буровых платформ, подводных трубопроводов, рейдовых перегрузочных комплексов, береговых резервуарных парков и т.п. В условиях легкоуязвимых северных экосистем, имеющих низкий потенциал самовосстановления, особенно важно выявить и пресечь неблагоприятные воздействия на окружающую среду на начальных этапах. Эту задачу выполняет система экологического мониторинга.

Экологический мониторинг в настоящее время стал обязательной процедурой при строительстве и эксплуатации крупных промышленных объектов на территории Российской Федерации. Такой мониторинг необходимо проводить на всех стадиях реализации запланированной хозяйственной деятельности, что позволяет зафиксировать имеющиеся фоновые условия и различные эффекты, возникающие за счет техногенного воздействия. Определение с помощью мониторинговых исследований возникновения негативных тенденций позволяет принять оперативные меры по их устранению.

Цель настоящих тезисов проанализировать информацию об исследовательских работах, выполненных в период июля по ноябрь 2008 года в Печорском море для оценки состояния морской экосистемы в районе строи-

тельства буровой платформы для бурения поисково-разведочной скважины № 2 Долгинского месторождения. Эти работы были выполнены в соответствии с договором № 33600/84-08 от 27 июня 2008 г. между ГУ Северо-Западным отделением института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (СЗО ИО РАН) и ООО «Газфлот».

Главной целью настоящего мониторингового исследования явилось получение полного объема исходных данных, необходимых для оценки воздействия бурения поисково-разведочной скважины на экосистемы прилегающих акваторий.

Основными задачами исследований явилось:

- проведение экспедиционных океанографических, гидрохимических, гидробиологических, орнитологических исследований, включая определение загрязняющих веществ в воде, донных осадках и биоте;
- обработка собранного экспедиционного материала и оценка на его в свете современного состояния отдельных элементов экосистемы Печорского моря;
- оценка воздействия бурения поисково-разведочной скважины на экосистемы прилегающих акваторий.

Долгинский лицензионный участок ООО «Газфлот» ОАО «Газпром» расположен в юго-восточной части шельфа Баренцева моря. Здесь в период с июля по ноябрь 2008 года производилось разведочное бурение скважины № 2. Бурение осуществлялось с арендованной самоподъемной буровой установки (СПБУ) «Energy Exerter» (рис. 1), завод строитель - CFEM, Dunkerque, Франция, год постройки - 1982.

Рис. 1. Самоподъемная буровая установка «Energy Exerter»

Параметры установки: длина – 74,75 м, ширина – 86,30 м, три опоры (ноги) длиной по 133,65 м, максимальная глубина пенетрации опор -7 м. Глубина моря в точке бурения - 42 м. Превышение от стола ротора над уровнем моря -32 м. Вид скважины - вертикальная, способ бурения - роторный. Проектная глубина скважины 3532 м.

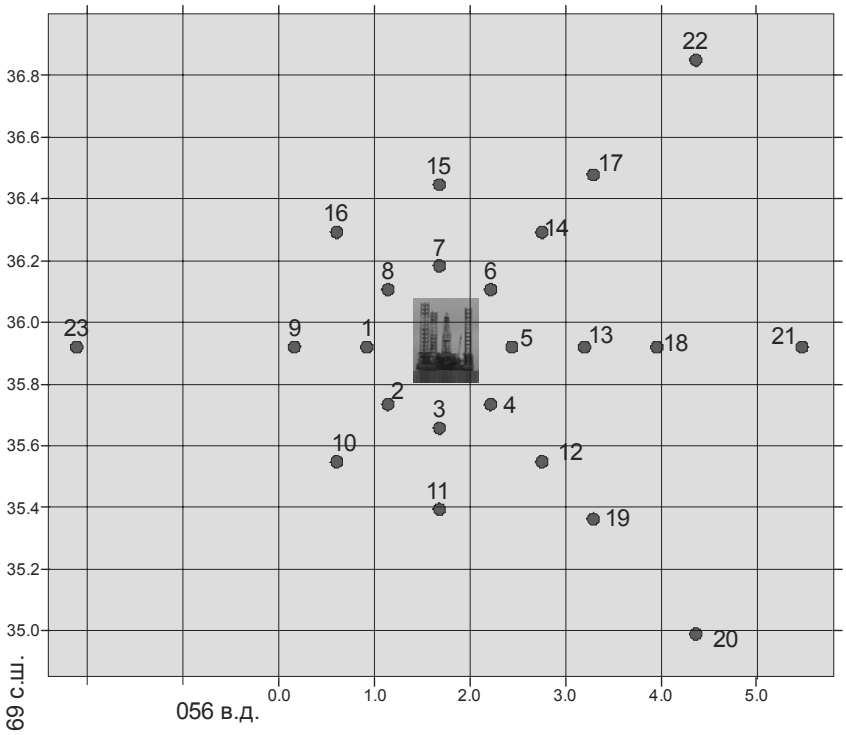


Рис. 2. Расположение станций наблюдений.

Экологические исследования Печорского моря в районе размещения буровой платформы проводились по сетке специализированных станций, предусмотренной Программой работ. Программа работ была согласованна в территориальных органах Росприроднадзора и Федерального агентства по рыболовству и утверждена Заказчиком. Сеть станций (рис. 2) представляет собой две окружности по 8 станций на расстоянии 500 и 1000 м от буровой платформы. 6 станций вынесены в направлении переноса потенциального загрязнения (3 станции на удалении 1500 м от скважины и 3 станции на 2500 м). Станция №23 является фоновой и находится за пределами потенциального воздействия.

Сроки проведения экспедиционных работ определялись этапами проведения буровых работ. В процессе выполнения работ выполнены 3 этапа по-

левых экспедиционных исследований:

- до начала строительных работ (12 – 21 июля 2008 г.);
- в период бурения скважины (29 августа – 7 сентября 2008 г.);
- после окончания строительных работ (8-18 ноября 2008 г.).

Для выполнения морских экспедиционных исследований были задействованы научно-исследовательские суда (НИС) «Иван Петров» и «Виктор Буйницкий». НИС - однотипные, принадлежат системе Роскомгидромета. В комплекс экспедиционных работ входили гидрометеорологические, орнитологические, зоологические (за мллекопитающими), ихтиологические наблюдения, а также гидрологические, гидрохимические, геохимические, гидробиологические исследования.

По результатам проведенных работ сделаны следующие выводы:

- Анализ данных по загрязнению тяжёлыми металлами не выявил ухудшения состояния водной среды, за исключением эпизодических превышений значений ПДК по свинцу и железу. Увеличения содержания нефтяных и полициклических ароматических углеводородов не выявлено.
- Накопления нефтяных углеводородов и тяжелых металлов в донных отложениях за время проведения буровых работ не выявлено.
- Структура планктонных сообществ (фито-, зоо- и ихтиопланктон) характерна для исследуемой акватории. Их численные и качественные характеристики не обнаруживают признаков негативного антропогенного воздействия.
- За период работы не выявлено изменений макрозообентоса на прилегающих к буровой установке участках дна. Уровень содержания загрязняющих веществ в пробах тканей зоомакробентоса и рыбы не выходит за уровень известных по литературе фоновых для акватории Печорского моря концентраций.
- Влияние буровых работ на акватории центральной части Печорского моря сказывается на одном виде чайковых птиц — бургомистре (*Larus hyperboreus*), который концентрируется вокруг буровой. На видовой состав и численность всех остальных птиц влияние буровой не выявляется.
- Среди морских млекопитающих региона наибольший интерес представляет атлантический *морж.* Численность моржа, обитающего в Печорском море, точно неизвестна. Этот район на протяжении столетий был одним из основных районов моржового промысла. *Морской заяц или лахтак* относится к числу обычных обитателей Печорского моря. Точных оценок численности этого вида для Печорского моря нет. По нашим оценкам, по результатам учетов в сентябре 2003 г., средняя плотность морских зайцев в центральной части Печорского моря может достигать 1 экз на 100 км². *Белуха* регулярно встречается в Печорском море на протяжении всего года, наибольшие их концентрации отмечены зимой и в начале лета. Район буровой не может рассматриваться как ключевое место обитания ни для одного из охраняемых видов птиц или млекопитающих.

Таким образом, проведенные в 2008 г. мониторинговые исследования в Печорском море не выявили значительного негативного воздействия на компоненты окружающей среды при строительстве и эксплуатации поисковой (разведочной) скважины № 2 Долгинского нефтяного месторождения. Полученная в результате мониторинга информация может служить – фоном для последующих работ на этой акватории, а также позволяет достаточно детально оценить сезонную изменчивость по основным характеристикам исследуемой части Печорского моря.

This thesis covered dynamics, thermohaline structure, chemical composition, structures of phytoplankton, zooplankton, benthos, suspender matter and others of the Pechora Sea waters (Dolginskoe oil deposit). The researchers estimated the average value of the chemistry characteristics and pollutions and give the date of polluting substances in sediments of ecological conditions in the area of monitoring.

А.Н. Соловьев, А.Ф. Кулешов
(Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, e-mail: abio@atlas.baltnet.ru)

О светорассеянии на взвеси в водах Калининградского залива Балтийского моря после обильных дождей

A.N. Solov`ev, A.F. Kuleshov
(Atlantic Branch of Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad)

On lightscattering by suspended matter in Kaliningrad bay of Baltic Sea waters after abundant rains

24-25 июня 2009 г. с катера АО ИО РАН нами были проведены очередные мониторинговые наблюдения в 25 фиксированных точках Калининградского залива, судоходного канала и р. Преголи (рис. 1). Использовали два многоканальных прибора: гидрофизический зонд «Idronaut» и зондирующий фильтр-флуориметр [1], у которого один из каналов был настроен на измерения интенсивности рассеяния света на водной взвеси (нефелометрия под углом 90°). Получен массив вертикальных (до дна) профилей разнородных величин в упомянутых точках за 1.5-суточный интервал в дневное время. Наблюдения были начаты по окончании дождливого периода с грозой и ливнями.

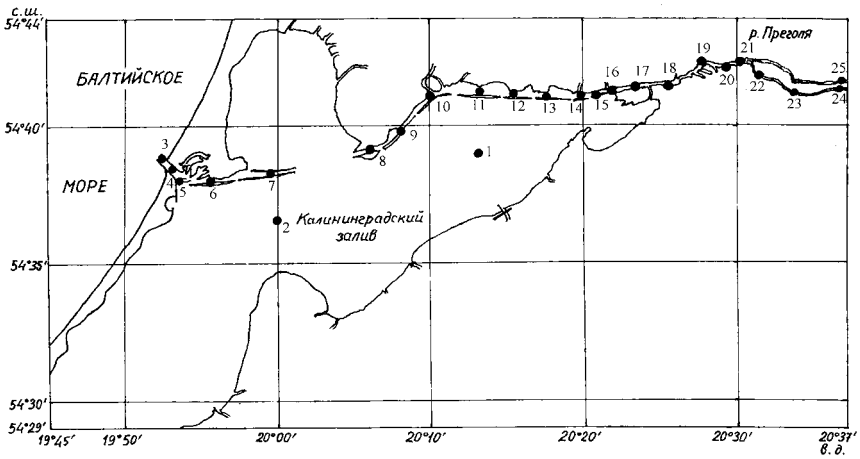


Рис. 1. Положение точек наблюдений.

Привлекли внимание особенности профилей интенсивности светорассеяния (ИС), отражающих распределение мелкого взвешенного материала. В канале и реке уровни ИС (в условных единицах) часто были так велики, что прибор «зашкаливал». При этом визуально было отмечено загрязнение водной поверхности различными плавающими частицами до самого выхода в открытое море. В предшествующий и два последующих срока мониторинга (за 22 суток до, 34 и 54 суток после рассматриваемого) уровни ИС в точках наблюдений были в среднем на порядок ниже. Естественно предположить, что загрязнение акватории явилось следствием быстрого смыва веществ с суши. На доминирование во взвеси косного вещества, по-видимому, указывает отсутствие корреляции ИС с распределением флуоресценции фотосинтетических пигментов фитопланктона, измерявшейся синхронно и в едином с ИС объеме воды.

По особенностям хода по глубине полученные профили ИС можно разделить на 10 подгрупп (типичные образцы профилей подгрупп с указанием номера подгруппы и точки наблюдения (в скобках) представлены на рис. 2):

1 – прибор «зашкаливает» во всей зондируемой толще воды (на рис. 1 соответствуют точкам №№ 18 и 19);

2 – прибор «зашкаливает» в толще воды до дна, за исключением верхнего слоя низких значений ИС, не превышающего по толщине четверти нижнего (точки №№ 5, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17);

3 – прибор «зашкаливает» от поверхности до перехода к придонному слою с низкими ИС (точки №№ 1, 6);

4 – профили как и в подгруппе 2, но с дополнительным слоем низких ИС, делящим слой с «зашкаливающими» ИС на две части (точки №№ 4, 12, 16);

5 – распределение с многослойной структурой и средними уровнями ИС(точка № 3);
6 – профиль с низкой ИС при небольшом повышении у поверхности и у дна (точка № 2);
7 – постепенное нарастание ИС с глубиной до начала «зашкаливания» прибора в слое до дна (точки №№ 21 и 23);
8 – основная толща воды имеет невысокую ИС, но прибор «зашкаливает» в придонном слое (точки №№ 22 и 24);
9 – тонкий слой средних ИС между тонким верхним и основным нижним слоями, в которых прибор «зашкаливает» (точка № 20);
10 – профиль с низкими ИС и с почти «чистой» прослойкой (точка № 25).

Прозрачность воды по диску Секки для большинства точек наблюдений находилась в пределах 0.55-0.8 м, а максимальную величину 2.3 м получили в точке № 3 у выхода в море. В р. Преголе прозрачность постепенно возрастала от точки № 19 (0.9 м) до точки № 25 (1.6 м). Очевидно, что наблюдения с диском Секки в сложившихся условиях оказались малоинформативны.

Распределения гидрофизических величин были обычными для вод бассейна Калининградского залива при отсутствии нагона с моря: придонный более соленый слой и верхний – распресненный и более теплый, при сглаженной структуре по глубине, контрастирующей с профилями ИС. Сложная структура поля ИС требовала более подробного изучения, но мониторинговые наблюдения проводятся в сжатые сроки и не предусматривают отвлечения от основной задачи на обследование тех или иных встречающихся особенностей.

1. Соловьев А.Н. О возможности дифференциации природных вод по данным многополосной флуориметрии растворенных органических веществ // Океанология. 2006. Т. 46. № 3. С. 471-477.

The measurements with submersible hydrophysical and optical devices in the basin of Kaliningrad bay at 25 fixed points were done. The results shows distribution of the lightscattering intensity, as well as the fine suspended matter, with depth in each point.

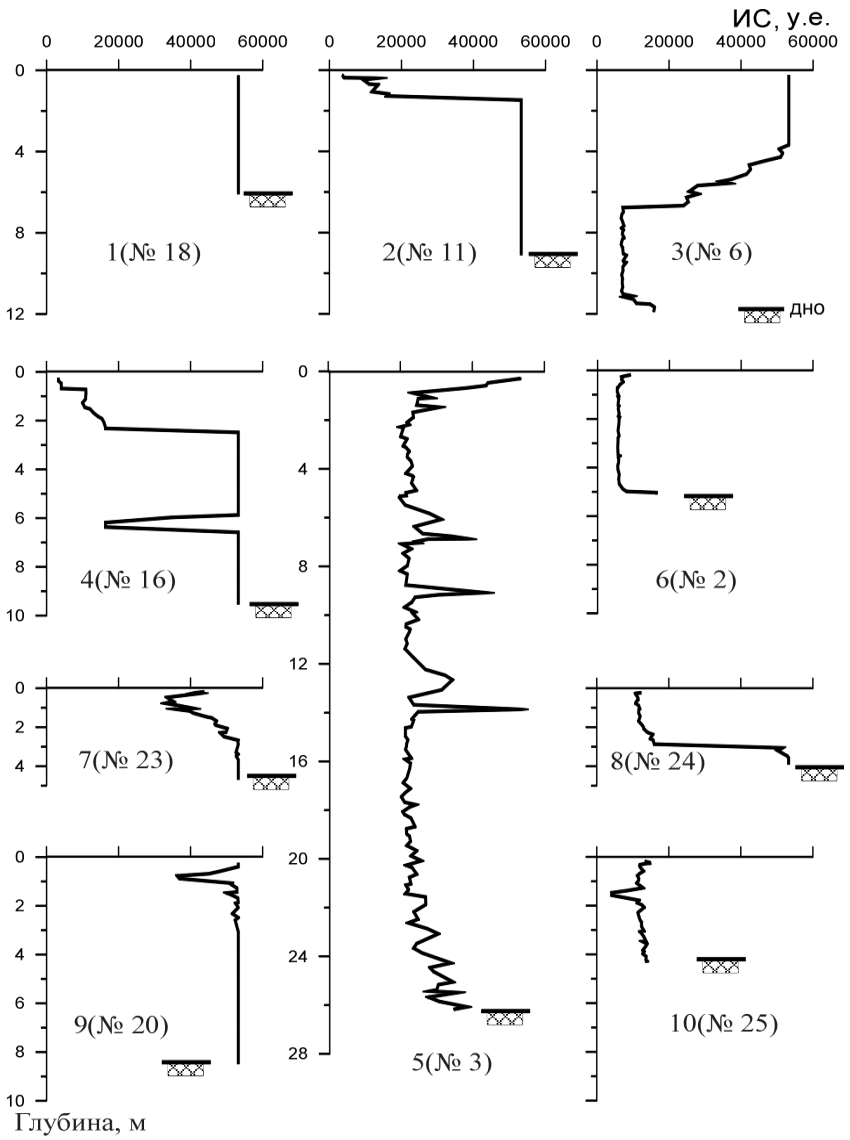


Рис. 2. Типичные вертикальные профили ИС (ИС – в условных единицах).

Ю.Ю. Ткаченко
(ГУ «Краснодарский краевой центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», г. Краснодар, yuyut@kubanmeteo.ru)

Гидрологические и гидрохимические факторы, способствующие эвтрофированию Анапской бухты

Освоение прибрежной зоны Черного моря привело к увеличению объемов сбрасываемых в море промышленных и хозяйственно-бытовых стоков, содержащих, несмотря на различные способы очистки большое количество органики и минеральных форм азота, фосфора и углерода. Интенсивные формы сельскохозяйственной деятельности способствуют поступлению в море пестицидов и удобрений в результате смыва их с прибрежных полей и виноградников. Концентрации биогенных элементов (в первую очередь азота и фосфора) в речном стоке увеличились за 30 лет в 4-5 раз.

Увеличилось содержание биогенных веществ в азовских водах, поступающих из Керченского пролива, под влиянием которых происходит формирование гидрохимических полей на севере восточной зоны Черного моря. В районе Тамань-Анапа в результате затока азовских вод в верхнем 5-метровом слое содержание валового фосфора достигает до 2,0 мкг-атР/л, валового азота до 47,0 мкг-ат/л.

Интенсивно развивается в последнее десятилетие на шельфе нефте- и газодобыча. Строятся новые нефтяные и газовые терминалы в районах Тамани, Ю.Озереевки, и происходит активизация портовой деятельности в Анапе и Геленджике. С перегрузкой работают порты Новороссийск и Туапсе, что периодически приводит к аварийным ситуациям и поступлению значительного количества нефти в прибрежную зону моря

Отрицательное влияние нефти и ее соединений проявляется в гибели гидробионтов, при длительном воздействии - в исчезновении естественных поселений моллюсков, водорослей. В результате в настоящее время в прибрежной зоне восточной части Черного моря фоновые значения НУ составляют 0,03-0,1 мг/л. (В районе Анапы – 0,03 мг/л.)

Индикатором интенсивности загрязнения моря сточными водами можно считать синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), которые входят в состав многочисленных и разнообразных моющих средств, широко применяются в промышленности и быту. В распределении СПАВ отчетливо прослеживается влияние прибрежной зоны конвергенции - за пределами 3 - 5 мильной зоны концентрации СПАВ составляют практически нулевые значения.

Летом концентрации СПАВ в поверхностном слое возрастают. Очаги повышенных значений в основном связаны с крупными городами на побережье. В районе Анапы значения СПАВ изменяются от 1,7 до 10 мкг/л.

Показателем антропогенного влияния деятельности сельского хозяйства на моря являются хлорорганические пестициды (ХОП), составляющие

большую группу искусственно созданных веществ, применяемых в промышленности и в сельскохозяйственном производстве. Все пестициды токсичны и вызывают быстрое отравление организмов. ХОП отличаются высокой устойчивостью, благодаря чему широко распространены в море. «Плавное» поступление данной группы ЗВ в море и слабая степень их трансформации в течение длительного времени, обусловливают особенность их равномерного распределения.

Способность аккумулироваться в гидробионтах и передаваться по трофической цепи делает их опасными не только для отдельных групп организмов, но и для всей морской экосистемы. В летний период максимальные концентрации хлорорганических и фосфорорганических пестицидов были определены в воде района Адлера (ХОП и ФОП до 3.0 мкг/л). С уменьшением хозяйственной деятельности на побережье концентрации пестицидов в морской воде уменьшились. На остальной акватории концентрации ХОП не превышали 0-1мкг/л. В 2008 году ХОП в районе Сочи – Анапа не регистрировались.

Проведенные исследования показали, что прозрачность вод Черного моря за последние 50 лет уменьшилась примерно в 2 раза, что является результатом длительного загрязнения воды. Следствием ухудшения качества морской среды является уменьшение воспроизводственных возможностей прибрежной части моря.

Признаки эвтрофирования морской воды наиболее сильно проявляются в акваториях с высокой антропогенной нагрузкой. Примером могут служить Анапская, Новороссийская, Геленджикская бухты. Визуально это проявляется следующим образом: происходит бурное развитие быстрорастущих нитчатых водорослей, к середине лета цветение фитопланктона на мелководье заканчивается гниением отмирающей массы водорослей.

Если на открытом побережье моря в результате высокой динамики вод процесс отмирания водорослей не вызывает серьезных проблем, так как большой частью они сносятся течениями и волнением, то в условиях Анапской бухты, где динамика вод значительно отличается от открытой части моря, «признаки эвтрофирования» остаются на берегу. Береговая линия создает ограничение для движения воды, что приводит к слабой промываемости бухты. Кроме этого, в условиях мелководья происходит интенсивный прогрев всей толщи воды в теплый период года, что при интенсивном поступлении органики вместе с речным стоком и ливневыми сбросами приводит к бурному развитию водорослей. Несмотря на продолжающееся антропогенное воздействие, море не деградирует, благодаря существующим механизмам самоочищения, в том числе, в Анапской бухте:

1. Сгонно-нагонные явления. Причиной, вызывающей сгон поверхностной воды в открытое море, является северо-восточный ветер со скоростью 15 м/с и более, который наблюдается каждый раз, когда районы европейской территории России и Украины занимает антициклон, а над юго-

востоком Черного моря - циклон. На участке сближения антициклона с севера и циклона с юга в районе Анапа-Туапсе создается большой барический градиент, следствием которого и является сильный северо-восточный ветер - бора. При установившемся северо-восточном ветре со скоростью 11-15 м/с и более течения на поверхности моря устанавливаются уже через 2-3 часа после начала действия ветра.

Повторяемость сгонов на восточном побережье составляет в среднем 21 раз в году. Причем, наибольшее количество (18) приходится на холодный сезон и всего 3 на теплый (с апреля по август). Чаще всего продолжительность действия северо-восточного ветра составляет от 1 до 3 дней (76 %). В 22 % случаев отмечена длительность от 4 до 8 дней и совсем незначительное число (2 %) приходится на ветер с продолжительностью 10 дней и более. Наиболее часто скорость ветра составляет 11-15 м/с (61 %), скорость дрейфового течения 25-27 см/с. В 20 % случаев наблюдается ветер 16-20 м/с, течение - 34-36 см/с, и в 19 % случаев наблюдается ветер более 21 м/с (более 40 м/с в районе Новороссийска), скорости дрейфовых течений составляют более 45-56 см/с. При скоростях ветра 20 - 25 м/с скорости поверхностного течения составляют 0,4 - 0,5 м/с.

Горизонты, с которых происходит подъем вод, равны 50 – 55 м. С выходом глубинных вод на поверхность происходит перестройка полей гидрологических характеристик в поверхностном слое. Особенно ярко это прослеживается в летнее время. С подъемом холодных вод происходит разрушение термоклина, возникновение горизонтальных градиентов температуры, солености, плотности. Минимальные значения температуры – 15,3° С наблюдали в районе Высокого берега.

Однако, редкая повторяемость данного явления в период цветения водорослей не способна серьезно повлиять на улучшение экологической обстановки в районе бухты.

2. Ветровые течения возникают в течение короткого промежутка времени, после начала ветрового воздействия и трансформируются при изменении скорости и направления ветра, причем интервал времени, необходимый для установления течения, зависит от глубины. Чем меньше глубина, тем меньше времени требуется для формирования устойчивого течения. Но в случае бухты ветра западной и северной четверти способствуют не очищению бухты, а наоборот блокированию загрязненных вод у берега и накоплению водорослей в пляжной зоне. От ветров южной четверти бухта закрыта мысом, а течения, которые генерируются при этих ветрах, также не способствуют промыву бухты.

Бризовая циркуляция, часто повторяющаяся в теплое время года, формирует слабые течения (до 10 см/с), которые направлены как от берега (ночной бриз) так и к берегу (дневной бриз). В этом случае происходит перемещение вод, но оно ограничивается размерами бухты и тоже не приводит к существенному очищению вод бухты.

Наряду с механизмами самоочищения моря необходимо выделить основной фактор, который ограничивает процессы вертикального перемешивания и способствует накоплению загрязняющих веществ в поверхностном слое в летнее время - сезонный термоклин.

Формирование его происходит тогда, когда высокие температуры воздуха (в период июля-августа температура воздуха в приземном слое превышает как правило в последние годы 35° С), способствуют прогреву поверхностных вод до 27 – 28,5° С и формированию слоя скачка с градиентом температуры до 5° С/м. Высокие температуры воды и отсутствие перемешивания являются идеальными условиями для массового развития водорослей.

Таким образом, во вторую половину лета в Анапской бухте складываются неблагоприятные гидролого-гидрохимические условия, которые способствуют накоплению органики и бурному цветению водорослей.

Рассматривая изменения среднегодовых температур верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) на восточном побережье Черного моря на протяжении от Сочи до Анапы, можно отметить, что существует слабо выраженная положительная тенденция. В первую очередь это конечно связано с положительной тенденцией в изменениях температуры воздуха в приземном слое, которая способствует увеличению поступления тепла из атмосферы в море. Следовательно, избыток тепла расходуется на увеличение теплоемкости ВКС моря и подпитки энергетики циркуляционных процессов. Анализируя изменчивость мощности ВКС в летний период в восточной части моря, можно выделить плавное увеличение ВКС за последние 10 лет (в последние годы максимальные значения верхнего однородного слоя достигают 30-35 м). Как следствие происходит заглубление термоклина и возрастание вертикальных градиентов температуры в слое скачка, достигая значения до 5° С/м.

Анализ многолетних изменений солености в Анапе, Геленджике, Новороссийске, Туапсе и Сочи показывает наличие отрицательных тенденций на фоне положительного тренда в среднегодовом суммарном стоке кавказских рек. Выполненная корреляция суммы годовых стоков кавказских рек со среднегодовыми значениями солености в пунктах наблюдений показала устойчивую связь. Коэффициенты корреляции стока Кавказских рек с соленостью в Сочи равны – 0,77, Туапсе – 0,68, Геленджике – 0,65, Новороссийске и Анапе – 0,62 и – 0,58 соответственно.

Наименьший коэффициент корреляции солености в Анапе с суммарным речным стоком связан с влиянием на формирование поля солености в этом районе азовских вод, которые имея меньшую соленость, также оказывают распресняющее действие на воды в районе Анапы - Тамани.

На основании анализа многолетнего изменения речного стока и солености можно сделать вывод о положительных тенденциях в распреснении поверхностного слоя всего Черного моря.

В долгосрочной перспективе, как показывают проведенные исследова-

ния, роль сезонного термоклина (пикноклина) как фактора, блокирующего процессы вертикально перемешивания в прибрежной зоне, особенно в бухтах (пример – Анапская) будет возрастать, и связано это будет с изменениями среднегодовой температуры и солености на восточном побережье Черного моря. Соответственно, будут сохраняться все условия, благоприятные для продолжающегося эвтрофирования Анапской бухты.

Одним из наиболее реальных способов смягчения антропогенного воздействия на воды бухты являются искусственные рифы, которые способны восстановить биологическое разнообразие, а, следовательно, повысить способность моря справляться с загрязнением. Восстановление донных биоценозов, прежде всего мидий, позволит восстановить мощный механизм самоочищения моря.

Ю.А. Федоров, А.А. Зимовец, И.В. Доценко, А.Э. Овсепян
(Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, mir-zagadka@yandex.ru)

Физико-химическая обстановка как один из факторов, оказывающих влияние на формы нахождения ртути в окружающей среде бассейна р. Северная Двина

Yu. A. Fedorov, A.A. Zimovec, I.V. Dotsenko, A.E. Ovsepyan
(South Federal University, Rostov-on-Don)

Physicochemical situation as one of the factors influencing the forms of mercury compounds located in the basin of river Severnaya Dvina environment

В настоящей работе предпринята попытка обобщения и анализа данных по величинам pH и Eh за пятилетний период исследований с целью установления их влияния на миграционные процессы и формы нахождения тяжелых металлов, на примере ртути, так как проблема ртутного загрязнения актуальна для устьевой области р. Северная Двина [1, 2]. Большая часть устьевой области реки подвержена антропогенному влиянию, что приводит к возрастанию содержания ртути во всех компонентах [3, 4] и изменению природного круговорота форм нахождения и миграции.

В ходе пятилетних экспедиций в устьевую область Северной Двины в различные сезоны осуществлялся отбор проб снега, льда, воды, донных отложений и почв. Район исследований включал в себя приустьевой участок Северной Двины (от устья р. Пинега до г. Архангельск), дельту реки, состоящую из рукавов Никольский, Мурманский и Корабельный, а также устьевой взморье. Методика отбора и подготовки проб исследуемых компонентов, проведения метеорологических и гидрологических наблюдений, а

также определения в них значений pH и Eh и содержания ртути описана в работах [3, 4].

Для атмосферных осадков (снег, лед) в основном характерна слабокислая реакция среды (рис. 1). Величины окислительно-восстановительного потенциала снега были положительными и варьировались в широких пределах. Значения pH поверхностного слоя почвы изменялись от кислой до слабокислой реакции, тогда как Eh были в пределах +45 до +506 мВ. Наблюдалась некоторая тенденция к снижению значений редокс – потенциала почв зимнего периода по отношению к летнему, а также с глубиной отбора проб. Речные воды характеризовались значениями pH от 6,1 до 7,9 и Eh –-6…+472 мВ, изменяясь по стволу реки в зависимости от расстояния от морского края дельты, глубины, приливно-отливных явлений, а также времени года и степени загрязненности. Отдельные относительно низкие значения редокс–потенциала в воде свидетельствовали о возможности возникновения зон гипоксии на границах раздела «вода – лед» в поверхностном и «вода – донные отложения» придонном слое воды [5, 6]. Значения pH донных отложений варьировались в пределах 6,3-8,0, при значениях Eh – -275 – +73 мВ (в среднем -95 мВ). Они зависели главным образом от литологического состава донных отложений, глубины залегания по разрезу, содержания органического вещества, степени антропогенного воздействия и времени года. В целом выявлены следующие тенденции изменения средних значений водородного показателя и ОВП: значения pH возрастали в ряду почва→ атмосферные осадки → донные отложения → речная вода, а Eh - донные отложения → речные воды→ почва → атмосферные осадки. Общей закономерностью для значений Eh является их относительно низкие величины во всех компонентах окружающей среды и, особенно, речных водах, что связано с влиянием растворов, поступающих из торфяных болот. Так, по экспериментальным данным [7], торф характеризуется высокой восстанавливающей способностью и может при равновесном состоянии с раствором, снизить его редокс – потенциал до - 200мВ.

Величины pH–Eh компонентов окружающей среды были нанесены на диаграмму (рис. 1), где они расположились в четырех областях.

В первой области оказались фигуративные точки значений pH-Eh почвенного покрова исследуемого региона со значениями pH ниже 7,0 и Eh в основном выше +50,0 мВ. При таянии снега, содержащего ртуть главным образом в виде элементной, она будет проникать через границу раздела в почву. Во время инфильтрации атмосферных осадков по мере их продвижения вниз по профилю на фоне снижения значений водородного показателя и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) элементарная ртуть переходит в хлориды и гидрокомплексы ртути. Слабокислая и кислая реакция почв должна способствовать усилению миграционной активности неорганических и органических (в виде фульватных комплексов) соединений

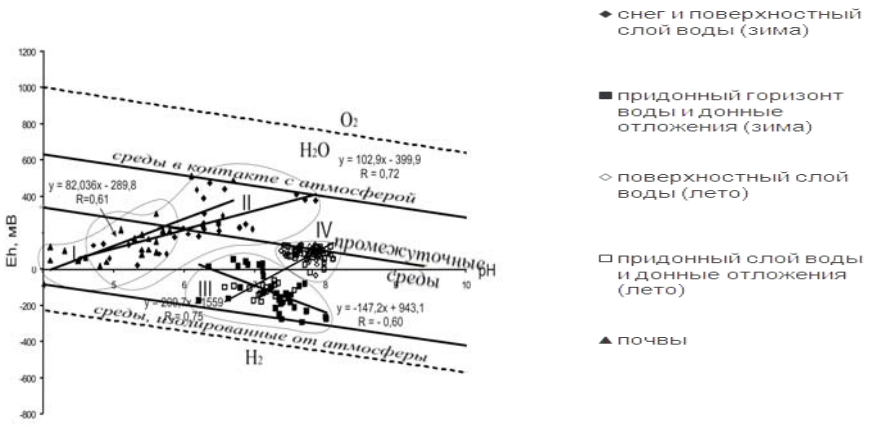


Рис. 1. Диаграмма pH-Eh атмосферных осадков, воды, донных отложений и почв устьевой области Северной Двины. I.Почвенный покров (лето); II.Атмосферные осадки и поверхностный горизонт воды (зима); III.Придонный слой воды и донные отложения (зима); IV.Поверхностный горизонт воды (лето).

ртути в почвенных растворах. Однако параллельно с этим идет противоположно направленный процесс - связывание ртути гуминовыми кислотами и пылеватыми частицами, а также возможно вследствие образования её сульфида, поскольку в заболоченных почвах может происходить бактериальное восстановление сульфатных ионов. В местах с застойной гидродинамической обстановкой и восстановленными условиями наряду с образованием сероводорода протекает бактериальная генерация метана. Наличие свободных метильных групп будет способствовать образованию в транзитном слое с переходной физико-химической обстановкой как метана, так и металлорганических соединений ртути. Известно, что ряд почвенных микроорганизмов способен метилировать неорганические соединения ртути с выделением её летучих форм. Эмиссия элементарной, метил - и диметилртути возможна как путем диффузии, так и конвективным - вследствие их захвата газовой фазой, выделяющихся пузырьков восстановленных газов, прежде всего метана [6].

Во второй области величины pH изменяются в интервале от 4,5 до 8,0 и Eh от +50,0 до + 500,0 мВ и выше. Эта область частично перекрывает область I. Сюда входят снег и поверхностный слой речных вод. Расчет уравнений регрессий для кластера фигуративных точек области показал наличие прямой зависимости между значениями pH и Eh. Для речных вод подобное

распределение объясняется сезонной активностью протекания и аддитивным воздействием таких конкурирующих процессов, как фотосинтез, химическое и бактериальное окисление, а также разложение органических веществ, контролирующих содержание кислорода, диоксида углерода и метана. Наблюдаемая зависимость для снега объясняется с одной стороны подщелачивающим эффектом, вызванным трансформацией карбонатной системы в направлении образования гидрокарбонатных ионов, а с другой – симбатным возрастанием содержания молекулярного кислорода. Матрица почвы оказывает влияние на значения pH - Eh снега, что проявляется в снижении этих величин при приближении к границе раздела двух сред. Существующий градиент значений водородного показателя и ОВП оказывает существенное влияние на массоперенос ртути в транзитной зоне.

Третья область включает в себя значения придонного слоя воды и донных отложений, характеризующиеся значениями pH от 6,5 до 8,0 и Eh от -275 до + 70 мВ. Здесь отмечается обратная зависимость между значениями pH и Eh. Вероятнее всего, это связано с тем, что в зимний период снижается интенсивность поступления и биодеградации ОВ. Отметим, что в летний период наблюдается противоположная картина. Для донных отложений и придонного слоя воды в теплый сезон отмечается прямая пропорциональная зависимость между показателями pH и Eh. Это, скорее всего, связано с тем, что в теплое время года кислород расходуется на окисление интенсивно осаждающегося органического вещества, приводящее к симбатному изменению значений pH и Eh. С другой стороны на физико-химическую обстановку транзитной зоны оказывают влияние такие процессы как сульфатредукция и метаногенез, когда имеет место редукция сульфатных ионов и диоксид углерода. Образующиеся сульфидные соединения способны понизить значения водородного показателя, в то время как редукция диоксида углерода приводит к прямо противоположному результату. В каждой из этих областей можно выделить отдельные кластеры. Так, отчетливо проявляется группировка значений поверхностного слоя воды летнего периода, которые характеризуются более высокими значениями pH, чем зимой, что трактуется усилением активности фотосинтезирующих организмов.

Четвертая область представлена значениями pH и Eh проб, отобранных в основном в летнее время из придонного слоя воды и донных отложений. Она располагается в виде кластера выше области III и может рассматриваться как продолжение группировки точек, отвечающих значениям физико-химических параметров проб воды, взятых также в летнее время. Оба эти кластеры описываются прямо пропорциональной зависимостью, что свидетельствует об общности и направленности процессов, контролирующих значения pH и Eh.

Анализ нанесенных физико-химических параметров природных компонентов района исследования на диаграмму [8], выявил, что они в основном (рис. 1) располагаются внутри областей нахождения соответствующих сред.

Значения pH – Eh заболоченных почв, как и поверхностный слой воды (лето) локализовались как ниже, так и выше линии «промежуточная среда». Это вполне согласуется с их статусом в качестве границ раздела и перманентной изменчивостью физико-химической обстановки.

Биогеохимический круговорот ртути в компонентах окружающей среды совершается с участием микроорганизмов при изменяющихся значениях водородного показателя и редокс-потенциала, температуры, солености, содержания хлора, сероводорода, органического вещества и других ингредиентов [6, 7, 9]. Поэтому выявить индивидуальное воздействие физико-химических параметров среди множества других природных и антропогенных факторов очень сложно. И все же, выполненные нами исследования позволяют с определенным допущением, говорить о поведении ртути и её форм нахождения в различных средах и на границах их раздела.

Ртуть, попавшая с атмосферными осадками в почвы и поверхностные воды главным образом в виде элементарной, под влиянием химических и биологических процессов подвергается окислению, образованию ионных форм, комплексных неорганических и органических соединений. В нейтральных или слабощелочных богатых органическим веществом водах р. Северная Двина с относительно невысокими значениями Eh на фоне смешения с кислыми и более насыщенными кислородом атмосферными осадками происходит связывание неорганической ртути в фульватные комплексы и сорбция на гуминовых кислотах, а также метилирование и диметелирование [5, 9, 10]. Наибольшего развития процессы метилирования достигают в самом верхнем слое донных отложений и придонном слое воды, где наблюдается переход от окислительной обстановки к восстановительной. Поэтому, именно они является основным эмитентом самой токсичной формы нахождения ртути. Нечто подобное имеет место в болотистых почвах на границе раздела с атмосферой, где в метилировании наряду с микробным пулом бактерий участвуют некоторые разновидности грибов. Эмиссия метил- и демитилртути из воды и болотистых почв сопровождается их трансформацией в элементарную. Таким образом, осуществляется круговорот ртути. Часть ртути выводится из этого цикла и депонируется в более глубоких слоях почв и донных отложений в сорбированном виде на пелитовых частицах и гуминовых кислотах, а также в форме сульфидов. Механическое воздействие или смена физико-химической обстановки может привести к её мобилизации из этих компонентов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-4983.2008.5, Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-4983.2008.5, проекта РФФИ № 09-05-00337 и госконтракта № 02.740.11.0334.

1. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Овсепян А.Э., Кузнецов А.Н. Основные результаты экспедиционных исследований на Северной Двине и Двинской губе Белого моря // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2005. № 3. с. 95– 100
2. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Зимовец А.А., Хромов М.И. Комплексная эколого-геохимическая экспедиция в устьевой области Северной Двины в зимний сезон 2008 г. // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2009. №1. с. 110-114
3. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э. Ртуть и ее связь с физико-химическими параметрами воды (на примере рек Севера ЕТР) // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2006. № 2. с. 82-89
4. Федоров Ю.А., Овсепян А.Э., Доценко И.В. Ртуть в донных отложениях устьевой области Северной Двины и Двинской губы Белого моря.//Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Науки о Земле. Спецвыпуск, 2007, с.31-36.
5. Фёдоров Ю.А., Хансиварова И.М., Предеина Л.М. Особенности распределения ртути и свинца в донных отложениях Таганрогского залива и юго-восточной части Азовского моря. // Водное хозяйство. 2003 т. 5, №6 – с.51–58.
6. Фёдоров Ю.А. Ртуть и метан: особенности образования и распределения в поверхностных водах // Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии. Сборник научных статей. Ростов-на-Дону: изд-во СКНЦ ВШ АПСН, 2004. с.200-213.
7. Лисицын А.К. Гидрогеохимия рудообразования. М.: Недра, 1975. - 248с.
8. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Изд-во «Мир», 1968. - 368 с.
9. Фёдоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Овсепян А.Э. Ртуть в водных экосистемах Севера ЕТР и её биогеохимические особенности распределения, миграции и трансформации // Сборник трудов II научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». Ростов-на-Дону, 2005. С. 121-124.
10. Fedorov Yury A. Mercury in suspended material of water ecosystem. 4th European Meeting on Environmental Chemistry. Plymouth, England, 10-13 December, 2003. p.60.

The results of complex ecology and geochemical researches in Northern Dvina estuary are presented. The characteristic feature of spatial distribution and vertical differentiation of pH and Eh for melted snow, water, soil and bottom sediments of Northern Dvina are determined. The influencing of pH and Eh the forms of mercury compounds located in the basin of river Severnaya Dvina environment are revealed.

Н.К. Федорова, О.Ю. Корнеев, Д.П. Фокин, Е.В. Корнеева, А.Е. Рыбалко
(ФГУНПП «Севморгео», e-mail rybalko@sevmorgeo.com)

Геоэкологическая ситуация в Российской части Балтийского моря (по данным Государственного мониторинга 2008-2009 гг.)

N.K. Fedorova, O.Ju. Korneev, D.P. Fokin, E.V. Korneeva, A.E. Rybalko
(State company "Sevmorgeo")

Geoecological situation in the Russian part of the Baltic Sea (according to the State monitoring 2008-2009)

К задачам государственного мониторинга геологической среды шельфа (ГМГСШ) относится регулярный контроль над эндогенными и экзогенными процессами, которые существенно влияют на состояние донных отложений и верхней части четвертичного разреза, включая водообмен между поверхностными и грунтовыми водами, а также устойчивость береговой зоны. В Балтийском море районами проведения ГМГСШ являются российская часть Финского залива и акватория в пределах экономической зоны России вокруг Калининградского шельфа. В соответствии с контрактом с Роснедра, начиная с 2008 года, основное внимание уделялось фиксированию проявлений эндогенных процессов, а также условиям взаимодействия подземных и поверхностных вод.

Восточная часть Финского залива испытывает интенсивное техногенное воздействие, связное как с влиянием мегаполиса Санкт-Петербург, так и возросшего судоходства, в частности танкерного, и строительства новых портов в Усть-Луге, Высоцке и Приморске. Особое внимание к геоэкологическим процессам было привлечено в связи с проектированием подводного газопровода «Северный поток» от побережья Выборгского залива до г. Грейсфальд в Германии. Анализ данных, полученных в рассматриваемый промежуток времени, свидетельствует, что наибольшее влияние на характер экзогенных геохимических процессов оказали интенсивные гидротехнические работы в Невской губе, которые существенно повлияли не только на изменение геохимической структуры осадков, а в ряде случаев привели и к расширению полей алевропелитовых осадков (см. доклад А.Е. Рыбалко и Н.К. Федоровой на настоящем совещании), но и существенно влияли на гидрохимию придонных вод. Даже в 2008 в Невской губе фиксировались высокие концентрации Cu (до 9 мкг/л), Zn (до16 мкг/л). Эти факты, а также высокий уровень ИЗВ (индекса загрязненности воды) более, чем на половине станций – все это позволяет говорить, что качество вод в Невской губе к осени 2008 не было восстановлено. Загрязнение толщи вод, а также наличие

«гидрогеологических окон», возникших в результате дноуглубительных работ и вскрытия водоупорных горизонтов, ставит на повестку дня вопрос о возможном загрязнении горизонтов грунтовых вод в районе Санкт-Петербурга, чему в немалой степени способствует и существующая на территории города депрессионная воронка.

Выполненные геофизические исследования с использованием высокочастотного профилографа и локатора бокового обзора, показали, что имеющиеся представления о пассивном состоянии геологической среды в регионе не совсем верны, особенно в северо-западной части района, в зоне распространения кристаллических пород Балтийского щита. Были выявлены районы относительно пересеченного рельефа, где явно проявлены современные геодинамические процессы. Доказательством тому являются наличие гравитационных процессов, разновысотное положение участков морского дна с четкими линейными контурами. Однако, и в равнинных участках зафиксированы зоны конседиментационных поднятий, фиксирующихся по отсутствию современных донных осадков. Особое внимание привлекают участки локального выхода газов, сопровождающиеся формированием на дне моря воронкообразных углублений диаметром до 30-50м. Столб газовых выделений здесь четко линейный и уходит на глубину, что говорит в пользу его глубинного происхождения. Выявленные признаки позволили сопоставить описываемые образования с так называемыми поп-маками, которые ранее наблюдались только в открытой Балтике и связаны с проявлением эндогенной геодинамики.

Береговые работы, выполненные на северных берегах Финского залива, показали наличие участков активного размыва береговой линии и отступания берега, связанных с нарушением условий безопасной добычи строительных песков. Относительное погружение берега местами привело к вскрытию подземных водоносных горизонтов. Так, в районе мыса Флотский были обнаружены выходы вендских глин, прорезаные тремя водотоками, впадающими в Финский залив. Глубина вреза их составляет от 0.5 до 0.8 метров, ширина русла до 0.5 м. По-видимому, в питании этих ручьев принимают участие слабоминерализованные воды гдовского водоносного горизонта, который широко эксплуатируется для хозяйственно- питьевого водоснабжения в пределах Курортного района Санкт-Петербурга. Геодинамические процессы привели к частичному уничтожению покровного горизонта водоупоров, что сделало данный горизонт незащищенным. Минерализация водотоков в этом районе составляет 0.2-0.3 г/л. Общий химический состав гидрокарбонатный кальциево-натриевый. По падению кровли водоносного горизонта в южном направлении происходит увеличение минерализации и уже в районе Сестрорецка она достигает 1 г/л и состав меняется на хлоридно-натриевый. Содержание большинства микрокомпонентов очень невысокое, значительно ниже ПДК. Исключение составляют медь и ртуть, концентрации которых выше ПДК и они загрязняют прибрежные воды. Литодина-

мические процессы в южной части залива более вялые, что во многом связано с относительным подъемом берега, что обусловило менее интенсивное воздействие волновых процессов на устойчивость береговой линии. В южной части Балтийского моря наиболее интересные данные были получены при мониторинге береговой зоны. В северной части Самбийского полуострова были установлены глубокие линейные врезы, связанные с активизацией разломов во время Калининградского землетрясения в 2006 году. Это привело, в свою очередь к активизации размыва берега и связанных с этим гравитационных процессов. При этом оказались частично вскрыты горизонты подземных вод, о чем говорит их обогащение такими микроэлементами как кадмий, ртуть и медь. Именно с этим связаны локальные и короткоживущие аномалии кадмия, которые были обнаружены и в толще прибрежных вод, и связаны, по нашему мнению, с инфильтрацией подземных вод.

На собственно акватории наибольший интерес представляет оценка состояния геологической среды в районе Кравцовского месторождения нефтеуглеводородов. Выполненные анализ донных осадков и придонных вод свидетельствуют о сохранении устойчивой ситуации и об отсутствии явных признаков загрязнения, связанного с деятельностью буровой платформы. В тоже время по данным мониторинга выявлены зоны существования потоков осадочного материала, с которыми часть загрязняющих веществ, поступающих со стороны берега, перемещается в глубоководную часть Гданьской котловины. В тоже время, большая часть изменения концентраций тяжелых металлов в донных осадков определяется природными факторами седиментогенеза.

Intensive hydraulic engineering works in the Neva Bay were a major factor of worsening of a geoecological situation in the Eastern Gulf of Finland. Geophysical researches have allowed to reveal zones of manifestation of the geodynamic processes, accompanied gravitational processes and forming of areas of nonsedimentation of recently deposits. The tectonic zones which are become more active as a result of the Kaliningrad earthquake in 2006 have been established on Sambijsky peninsula. They have strengthened of the abrasion processes and have opened horizons of underground waters therefore in coastal waters local anomalies of some heavy metals were generated.

Г.С. Харин[1], С.Г. Харин[2], Д.В. Ерошенко[1]
([1]Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П.Ширшова, РАН, г. Калининград, e-mail: kharin@atlas.baltnet.ru; [2]ООО «Геоид», г. Калининград)

Геоэкология и геологические критерии устойчивости берегов Юго-Восточной Балтики

G.S. Kharin[1], S.G. Kharin[2], D.V. Eroshenko[1]
([1]P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Atlantic Branch, Kaliningrad; [2]«Geoid», Kaliningrad)

Geoecological and geological criterions of the south-eastern Baltic shores stability

Наиболее трудные геоэкологические проблемы в Калининградской области сейчас связаны с морским побережьем, протяженность которого около 160 км. Если учитывать и протяженность побережья Куршского и Калининградского заливов, отгородженных от моря песчаными косами, то цифра возрастет более чем в 2 раза. Проблема с морскими берегами заключается в том, что он подвержен разрушению, особенно сильному во время штормов, частота и сила которых сейчас возрастают.

Защита морского побережья имеет давнюю историю. Еще в позапрошлом веке на наиболее разрушаемых участках стали строить многочисленные буны, подпорные стенки, каменные накидки. Затем стали возводить защитные валы из старых автошин, тетраподов, вести подпитку пляжей песком. Но все это мало помогало, а после сильных штормов разрушалось и смывалось. Разрушение и отступление берега сейчас ежегодно достигает десятков метров. Одной из причин малой эффективности берегозащитных сооружений является то, что при их сооружении не учитывались геоэкологические и ниженерно-геологические особенности прибрежной зоны.

Как известно, рассматриваемая область, находясь на ЮЗ окраине древней Восточно-Европейской платформы, контактирует через ряд тектонических линий и глубинных разломов с молодой Западно-Европейской платформой. Это уже определяет ее более подвижный и неустойчивый тектонический режим. Об этом наглядно свидетельствуют данные геологического картирования, выявившего фрагментарность площадного распространения формаций палеогена и неогена, особенно развитую на Самбийском полуострове, представляющим собой блок земной коры с восходящим движением 1,2 мм/год [1]. Имеются данные [2] о том, что через Калининградскую область проходит из Днепровско-Донецкой впадины в направлении грабена Осло тектоническая линия Карпинского, состоящая из системы разломов, к которой приурочены многочисленные проявления щелочно-базальтового магматизма. Современная тектоническая активность названных и других древних разломов, скорее всего, обусловлена, так называемым, изостатическим выравниванием блоков земной коры, происходящим на уровне верх-

ней мантии в результате снятия ледниковой нагрузки. Сейсмическая активность глубинных разломов линии Карпинского и грабена Осло проявляется приуроченностью к ней сильных (M>4,5) землетрясений.

В Балтийском регионе за 12 тыс. последних лет произошло 54 крупных сейсмических событий, причем 16 из них сопровождались цунами с высотой волны до 20 м [3]. Доказательством значительных подвижек блоков земной коры в Калининградском регионе служат находки выброшенных на высоту 2-3 м над уровнем моря донных лагунных илов, содержащих морскую фауну с возрастом по C^{14} = 2340 и 2820 лет. Этот факт отмечен вблизи Самбийского полуострова на Вислинской косе [4]. Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 г. показало, что сейсмический потенциал Восточно-Европейской платформы и нашей области недооценен. Имеющиеся данные [5] позволяют считать Калининградскую область территорией, где возможны разрушительные землетрясения силой 7-8 баллов, а исторические изыскания показали, что землетрясения до 6-7 баллов в Восточной Пруссии происходили неоднократно.

Другим природным катаклизмом является глобальное повышение уровня океана, связанное с парниковым эффектом и потеплением. Таяние ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии может значительно повысить уровень океана и привести к затоплению обширных низменных районов на нашей планете. Такая ситуация неоднократно повторялась в истории Земли и хорошо известна геологам. Уровень Мирового океана и связанного с ним Балтийского моря постепенно повышается. Найдет ли человек какие-то меры защиты от этого явления или оно прекратится само по себе – пока неизвестно. Но при освоении низменных территорий суши, прилегающей к морю, его необходимо учитывать. Совершенно ясно, что возводить дорогостоящие сооружения, рассчитанные на долговременную службу на таких площадях опасно. Не исключено, что в случае опасного развития ситуации, связанной с эвстатическим повышением уровня океана, возникнет необходимость строительства в Датских проливах плотин, регулирующих уровень Балтийского моря [6]. Локальными геоэкологическими особенностями, которые необходимо учитывать при инвестициях в строительство являются: 1 – разрушающиеся берега Балтийского моря, Куршского и Калининградского заливов; 2 – избыточное увлажнение почвы и высокий уровень грунтовых вод; 3 – погодные и климатические аномалии; 4 – наличие погребенных торфов, плывунов, обводненных осадков и других аномалий, ослабляющих несущую способность грунтов. Существующие очень активные вдольбереговые течения уносят осадочный материал размываемых калининградских берегов на север и юг, в сторону Литвы и Польши, где превалируют берега аккумулятивного типа. Малая эффективность защиты калининградского побережья от размыва часто зависит от того, что не учитывают геологические особенности конкретного участка, а при строительстве придерживаются раз и навсегда разработанного шаблона. Например, возводят подпорные

стенки и каменные наброски в сетках на песках без углубления до устойчивого основания. В результате – песок вымывается волнами из-под таких сооружений и они опрокидываются. Детальные инженерно-геологический исследования, проведенные ООО «Геоид» в г.г. Зеленоградске, Светлогорске, Янтарном, Куршской косе и других участках Калининградского побережья, выявили ряд особенностей их геологического строения, влияющих на устойчивость приморской зоны. Приведем несколько примеров таких эталонных участков. В г. Зеленоградске развиты гляциодислокации, в результате которых морские толщи слюдистых и глауконитовых литифицированных песков полеогена-неогена залегают на ледниковых моренных осадках. Следует подчеркнуть, что это далеко не единичный случай. Эти, так называемые отторженцы, сложенные мезозойскими и палеогеновыми породами и осадками и перенесенные ледником, встречены в различных районах Калининградской области, в удалении на десятки километров от своего первичного залегания, обычно находящегося на дне Балтийского моря. Некоторые из них имеют площадь до 5 км^2 и толщину до 50-60 м. Безусловно, это сильно нарушенные и ослабленные участки и их нужно детально изучать, прежде чем начинать какое-либо строительство. В г. Светлогорске и его окрестностях широко развиты древние песчаные дюны, заросшие сосновым лесом. При интенсивном строительстве в этой курортной зоне лес вырубается, дюны подсекаются. Тем самым нарушается их устойчивость. При массовой застройке и подсечке таких дюн и уничтожении растительного покрова дюнный песок начнет двигаться, что создаст катастрофическую ситуацию для федерального курорта. В пос. Янтарном разворачиваются строительство и большие дорогостоящие проекты по освоению пляжа и склоновой зоны, прилегающей к морю. Опасными здесь являютя следующие моменты: 1 – строительство берегозащитных сооружений без выполнения требований об их устойчивости (о чем говорилось выше), т.е. строительство проектируется на песке; 2 – строительство крупных сооружений (гостиниц, концертных залов, игровых клубов и т.д.) проектируется на склоновых и присклоновых зонах, в местах отвалов из старых (немецких) карьеров, где возможно возобновление оползней; 3 – не учитываются данные о многочисленных подземных выработках (пустотах) от старых (немецких) шахт, штолен, штреков, пройденных среди слабоустойчивых янтареносных отложений «голубой земли». А здесь, время от времени возникают провалы, т.к. выработки остались незабутованными, а крепления гниют.

На Куршской косе, на территории национального парка «Куршская коса», который в настоящее время официально находится под защитой Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО, правительством РФ в 2006 г. было принято решение о создании Особой экономической зоны туристско-рекреационного типа. В пос. Морской проектировалось построить 5-ти звездные гостиницы, конгресс-холлы, культурно-развлекательные и сервисные сооружения на 2 тыс. место/чел.

Нужно учитывать, что Куршская коса является с геологической точки зрения эфемерным образованием. Природа ее очень хрупкая, инженерно-геологические условия не способны выдержать массированного крупномасштабного строительства. Давно известно, что Куршская коса это песчаная пересыпь, но лишь после разбурки трассы газопровода от г.Зеленоградска до пос. Лесной и изучения данных бурения стало понятно, что слабым местом косы являются не только подвижные песчаные дюны, но и довольно крупные залежи торфа и сапропелей, мощностью дор 10 м, которыми заполнены проливы и промоины, недавно разделявшие косу на отдельные острова . При повышении уровня моря и даже сейчас, при современном уровне, при штормах залежи торфа размываются и открывают дорогу наступающему морю.

Доказано, что Куршская коса при повышении уровня моря мигрировала вслед за отступающими и разрушающимися берегами Самбийского полуострова и затопленного сейчас плато Рыбачий [7]. Возникнув 8 тыс. лет назад за счет материала разрушающихся берегов, транспортируемого вдольбереговыми течениями, она за первые 3 тыс. лет, когда уровень Балтийского моря повышался, переместилась на 30-50 км. 5 тыс. лет назад местоположение косы более или менее стабилизировалось, т.к. уровень моря был относительно стабильным. Она приняла современный вид, объединив собой ряд мелких песчано-гравийных островов и моренных банок. В наше время Куршская коса снова вступает в период миграции вслед за повышающимся уровнем моря. Опасность Куршской косе грозит и со стороны Куршского залива. Его воды подмывают песчаные дюны, материал которых, а также выносы рек Неман, Матросовка, Дейма вдольбереговыми течениями переносится на север. Северная часть Куршского залива, через который проходит сток речных вод, заносится и мелеет. Судоходство здесь уже практически невозможно. Сток воды из залива сокращается и через 30-40 лет по расчетам литовских геоэкологов прекратится. Уровень воды в заливе начнет повышаться, что усилит размыв берегов косы. Возможно возникнут прорывы косы, особенно в тех участках, где раньше были проливы, заполненные сейчас торфом и сапропелем.

Учитывая отмеченные выше геоэкологические и геологические особенности Юго-Восточной Балтики, очевидно, что проектирование и строительство в Калининградской области и особенно в прибрежной зоне нужно вести дифференцированно – в зависимости от срока службы и назначения сооружения. В крупные, высотные, жилые, промышленные, развлекательные и другие объекты, рассчитанные на длительный срок эксплуатации, нужно закладывать строительство антисейсмических устройств (опояски, монолитные плиты и т.д.). Эти сооружения нельзя располагать в следующих районах: 1 – на участках возможного затопления при глобальном повышении уровня океана Балтийского моря, Куршского и Калининградского заливов т.к. мер надежной защиты от этого возможного природного катаклизма

нет; 2 – на Куршской и Вислинской косах, т.к. эти эфемерные геологические образования (пески, торф) неустойчивы и могут быть разрушены даже при незначительном повышении уровня моря и изменениях природной среды; 3 – на склонах, подверженных разрушениям и оползням; 4 – над зонами тектонических разломов в фундаменте и осадочном чехле и над залежами нефти, газа, угля, крупными водоносными горизонтами, т.к. здесь могут возникнуть потенциально опасные сейсмические очаги, вызывающие разрушительные землетрясения; 5 – над старыми подземными выроботками, проведенными еще в позапрошлом веке при выемке янтареносных отложений.

1. Географический Атлас Калининградской области. Калининград: изд-во КГУ, 2002. 276 с.
2. Харин Г.С., Ерошенко Д.В. Базальтоиды Балтики – возможное связующее звено между магматизмом грабена Осло и Припятско-Донецкого авлакогена (геохимия, генезис, эволюция) // Щелочной магматизм Земли и его рудоносность. Мат. междунар. совещания. Киев: НАН, 2007, С. 238-243.
3. Mörner N.A. Tsunami events within the Baltic // Polish Geological Institute. Special Papers. 2008. Vol. 23. P. 71 – 76.
4. Bitinas A. Boldyrev V., Damašyte A. et al. Lagoon sediments in the central part of the Vestula Spit: geochronology, eviranment of sedimentation // Polish Geological Institute. Special Papers. 2008. Vol. 23. P. 9 – 20.
5. Никонов А.А. Фенноскандия – недооцененная сейсмогенерирующая провинция // Геофизика XX столетия. М.: изд-во Научный мир. 2003. С. 206-214.
6. Харин Г.С., Харин А.Г. Природопользование и экология // Калининград: изд-во БИЭФ. 2006. 137 с.
7. Харин Г.С., Харин С.Г. Геологическое строение и состав Куршской косы // Литология и полезные ископаемые. 2006. № 4. С. 254-362.

In work the data of the geological mapping of the Baltic Sea Bottom and adjacent land are considered with the purpose of the definition pf geoecoclogical pecularites engeneer-geological researches, oil search and hydrogeological drilling are considered also.

Г.Д. Хоменко
(Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Архангельск, e-mail: grigory_kh@inbox.ru)

Состояние поверхностных водных объектов о. Колгуев в районе нефтедобычи летом 2007 года

G.D. Khomenko
(North-western Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Arkchangelsk)

State of surface water objects of island Kolguev in the area of oil production by the summer of 2007

В августе 2007 г. автором производилось обследование водных объектов на территории Песчанозерского нефтегазоконденсатного месторождения (ПНГКМ). Эти работы были выполнены в соответствии с договором № 40 от 7 августа 2007 г. между Северо-Западным отделением института океанологии им. П.П. Ширшова РАН и ООО «Севергеолдобыча».

В состав работ вошли маршрутные наблюдения с описанием состояния водных экосистем, источников и признаков загрязнения и отбор проб поверхностных вод и донных отложений с их последующим лабораторным химико-аналитические исследованием.

ПНГКМ расположено на о. Колгуев Ненецкого автономного округа Архангельской области в 250 км к северо-западу от г. Нарьян-Мар. Остров расположен в юго-восточной части Баренцева моря в 85 км от материка. Площадь 5,2 тыс. км^2. Сообщение с островом в летнее время осуществляется морским путем от г. Мурманска, и круглогодично авиационным транспортом.

В гидрологическом и геохимическом плане район ПНГКМ интересен многообразием условий, существующих на относительно небольшой территории.

Восточный блок Песчанозерского месторождения расположен к востоку от оз. Песчаное, между озером и морем. Южная часть блока расположена в мелководном лагунообразном заливе, отделенном от моря узкой песчаной косой. Воды залива соленые, донные отложения – песок с большими содержанием органического вещества. К северу и западу уровень повышается и ландшафт сменяется плоскими приморскими засоленными лугами (маршами) В рассматриваемом районе по своим размерам резко выделяется озеро Песчаное. Это эстуарный водоем, гидрологический режим которого связан с влиянием морских вод. Благодаря высокой минерализации его воды не перемерзают в зимний период. Большое количество мелководных озер различных размеров располагается между морским берегом и озером Песчаным. Подавляющее большинство из них имеет соленые воды, донные отложения представляют собой мощные слои иловых отложений (сапропель).

Западный блок расположен в более островной части, в пределах возвышенной холмистой равнины, с типичным тундровым ландшафтом. Озер мало. Водотоки протекают по глубоко врезанным V-образным долинам. Воды пресные, донные отложения преимущественно песчанно- галечниковые.

Визуальное обследование производственных объектов месторождения выявило значительное количество нарушений в сфере охраны окружающей среды. Среди наиболее часто встречающихся:

- Нефтезагрязнение территории производственных площадок, водосборных площадей и непосредственно водных объектов;
- Захламленность территории металлическими отходами;
- Нарушение гидрологического режима водотоков путем сооружения дамб (создание искусственных озер с целью водоснабжения);
- Нарушения почвенно-растительного покрова в местах прохождения транспортных средств. Особенно значительный урон наносится почвенно-растительному покрову приморских маршей.

Анализ солевого состава показал, что на территории месторождения встречаются как морские (хлоридные) высокоминерализованный, так и пресные (гидрокарбонатные) воды, а также воды промежуточного типа возникшие в результате смешения. Преобладающим катионом для морских вод является Na^{2+}, пресные воды относятся как к кальциевой, так и натриевой группе. Как и следовало ожидать, поверхностные воды на территории восточного блока месторождения являются преимущественно высокоминерализованными водами хлоридно-натриевой группы. На западном блоке преобладают воды гидрокарбонатно–натриевой и гидрокарбонатно-кальциевой групп. Отмечается высокая изменчивость в концентрациях главных ионов (табл. 1).

Высокое содержание солей, часто свидетельствует о загрязнении поверхностных вод буровыми растворами и их компонентами. В настоящее время на территории месторождения не производится буровых работ. Визуальный осмотр территории водосборов не выявил мест складирования и хранения компонентов буровых растворов. В данном случае такая изменчивость вызвана природными факторами- эффектами смешения морских и поверхностных вод суши и эоловым переносом солей с поверхности моря на сушу.

В процессе исследования выполнялась оценка загрязнения поверхностных вод тяжелыми металлами и нефтепродуктами (табл. 2).

Концентрации меди, ртути, и мышьяка, кадмия во всех пробах воды не превышали точности метода определения. Цинк, в количествах превышающих ПДК, присутствует в морских водах. В пресноводных водоемах цинк отсутствует, за исключением озера, использующегося для водоснабжения поселка БРП, где его концентрация достигает 10 ПДК.

Таблица 1. - Изменчивость концентраций главных ионов в поверхностных водах Песчанозерского месторождения, мг/л

Определяемый показатель	Максимальное значение	Минимальное значение
Хлориды	16217	18,7
Сульфаты	5248	1,8
Кальций	373	4
Магний	1226	4,9
Натрий	27812	12,8
Калий	420	0,3
Гидрокарбонаты	376	61

Таблица 2. - Изменчивость концентраций загрязняющих веществ в водных объектах Песчанозерского месторождения, мг/л

Определяемый показатель	В поверхностных водах		В донных отложениях	
	максимум	минимум	максимум	минимум
Медь	<0,05		8,5	0,5
Цинк	0,18	0,05	166,6	4,6
Свинец	0,027	0,005	8,7	0,6
Кадмий	0,001	0,0005	0,486	0,018
Никель	0,04	0,01	48,2	1,3
Железо	5,313	0,117	34263	866
Ртуть	0,0001	0,0001	0,21	0,003
Мышьяк	0,071	0,071	11,9	0,8
Нефтепродукты	0,16	0,006	1946	3,9

Свинец присутствует в большинстве отобранных проб, но концентрации его в большинстве случаев невелики. При этом в морских или осолоненных водах содержание свинца больше чем в пресных водных объектах.

Высокие концентрации железа характерны для заболоченных водосборов тундры. Не являются исключением и водные объекты о. Колгуев. Концентрации железа достаточно велики. Однако по отношению к фоновым значениям (1,0 – 1,2 мг/л) выделяются водные объекты с особо высокими концентрации железа от 2,2 до 5,3 мг/л. Такие концентрации являются, преимущественно, результатом техногенного воздействия.

Нефтепродукты присутствуют во всех пробах воды. В большинстве случаев их концентрации не превышают ПДК. Однако имеются водные объекты, где влияние хозяйственной деятельности ощутимо. Особенно часто это заметно при сравнении фоновых и контрольных точек.

Как и в воде, концентрации загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов, варьируют в широких пределах. Уровень загрязнения на территории месторождения колеблется от слабого до очень сильного. Основной вклад в загрязнение донных отложений вносят нефтепродукты и железо.

Необходимо отметить, что пробы донных отложений с наиболее сильным загрязнением отобраны в болотных мочажинах, со слабым водообменном и малой способностью к самоочищению. Обращает на себя внимание тот факт, что высокое содержание загрязняющих веществ в донных отложениях не всегда совпадает с высокими концентрациями в воде. Это свидетельствует о долговременном накоплении загрязняющих веществ в донных отложениях данных водных объектов.

Анализ результатов экологического обследования восточного и западного блоков Песчаноозерского месторождения позволяет утверждать, что состояние водных объектов на большей части территории в настоящее время характеризуется как фоновое и соответствует показателям, характерным для региона в целом. Однако имеются локальные загрязненные участки, расположенные в непосредственной близости от производственных структур месторождения.

При этом нужно учитывать, что скважины восточного блока приурочены к низким приморским террасам, часто затопляемым морскими водами в нагоны и приливы. Поэтому загрязняющие вещества с этих площадок, расположеных, как правило, на очень низких отсыпках, периодически смываются в море. Кроме того, с таянием льда и снега разлившиеся нефтепродукты также попадают в море.

На западном блоке, напротив, скважины приурочены к верхним элементам рельефа, и загрязняющие вещества, стекая по склонам, попадают в ручьи, протекающие в близлежащих каньонах (логах).

It is considered the modern state and level of contamination of water and sediments of surface water objects in the area of oil production on isl. Kolguev on results the ecological monitoring.

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

О содержании тяжелых металлов в снежном покрове Вислинской и Куршской лагун (Балтийское море)

V.A. Chechko, V.Yu. Kurchenko
(Atlantic Branch of P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Kaliningrad)

On the concentration of heavy metals in snow pack in the Vistula and the Curonian Lagoons (Baltic Sea)

В течение ряда в лет в береговой зоне юго-восточной Балтики проводится сбор и изучение твердого эолового материала. Одним из направлений данных работ является изучение материала, накапливающегося в снежном покрове на поверхности льда. Повышенный интерес к его изучению определяется рядом причин, среди которых следует отметить возможность использования снежного покрова в качестве индикатора загрязнения воздушной среды и оценки антропогенной нагрузки на территорию.

В настоящем сообщении мы остановимся только на обсуждении данных по содержанию тяжелых металлов в снежном покрове зимнего сезона 2008-2009 гг. Пробы снега были отобраны с поверхности льда на 5 станциях, расположенных на территории Вислинской и Куршской лагунах, а также на прибрежном ледовом припае западного сектора Самбийского полуострова.

Содержание тяжелых металлов определяли методом атомно-абсорбционного анализа в фильтрованных и не фильтрованных пробах. Часть талой воды фильтровалась через ядерные фильтры (размер пор 0,4 мкм), другая оставалась нефильтрованной. Таким образом, определялась концентрация растворенных форм металлов (в фильтрованных пробах) и их валовая концентрация (в нефильтрованных пробах).

Данный вид анализа проб оказывается, видимо, недостаточным для определения Cd, Pb, Cu и Mn. Почти во всех проанализированных пробах содержание указанных элементов оказалось менее 0,001 мг/л. Концентрация остальных элементов, согласно результатам анализов, в нефильтрованных пробах снеговой воды выше, чем в фильтрованных. Т.е., подавляющее количество тяжелых металлов поступает в снег в составе взвешенных частиц. Так, концентрация Zn в нефильтрованных пробах в среднем почти на 20% выше, чем в фильтрованных (1,861 и 1,552 мг соответственно).

Соотношение средних концентраций других элементов в нефильтрованных и фильтрованных (указано в скобках) пробах снеговой воды выглядит следующим образом: Ca – 240,14 (235,05) мг/л; Mg – 12,61 (11,98) мг/л; Na – 110,52 (103,89) мг/л; K – 3,27 (2,99) мг/л. Значительных расхождений в содержании тяжелых металлов в снежном покрове Вислинской и Куршской лагунах не выявлено.

The distribution of Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, Ca, Mg, Na and K in snow pack in the Vistula and the Curonian Lagoons is considered. The metals were determined by the method of atomic absorption in filtered and unfiltered samples of melted water. The concentration of metals in unfiltered samples of snow water above, than in filtered.

Emelyanov E.M., Kravtsov V.A.
(Atlantic Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS (AB IO RAS), Kaliningrad, e-mail: ioran@atlas.baltnet.ru)

The sunken chemical weapon, gaspipeline "North stream" and geoecological environment in the Baltic Sea

Емельянов Е.М., Кравцов В.А.
(Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Калининград, e-mail: abio@atlas.baltnet.ru)

Затопленное химическое оружие, газопровод «Северный поток» и геоэкология Балтийского моря

Three "hot spots" are investigated in the Baltic Sea: the sunken chemical weapon; gas pipeline "North Stream" and platform of oil.

1) German trophy chemical weapons (CW) were dumped after the World War II in Bornholm and Gotland Deeps of the Baltic Sea. The chemical warfare agents were mainly dumped in munitions, mostly in bombs and shells. In addition, warfare agents that had not been loaded into bombs were dumped in containers. The CW included the following chemical warfare agents: S-Mustard, N-Mustard, Tabun, Sarin, Chloroacetophenone, Phosgene, Diphosgene, Cyclone b and organo-arsenicals (Clark I, Clark II, Adamsite, Lewisite, Pfiffikus and Arsine oil)[5].About 60 th. tons in all.

The contents of toxic metals in the bottom sediments of CW dumpsite area were investigated in order to receive new data of influence of CW to environment (EU project MERCW) [5].

Dumping in the Bornholm Deep was inside a circular area with radius of 3 nautical miles. The weapon (shells, bombs, containers) is dipped into the mud. Some sunken warships also lay in the mud (depth 90-105 m).The warships, bombs and shells were detected with the help of high resolution seismic and magnetic shooting [6].

The bottom of the Bornholm Deep is covered mainly by mud (thickness about 1–3 m). However, there are places where the thickness of the Holocene mud is strongly reduced or the mud cover is fully absent. The strong near-bottom currents in these places (depth 80–105 m) are able to resuspend the mud and redeposit it. In those places, the bottom surface

hard moraine or lake clay is lying. The shells and bombs at these places are rolling and are able to move very far from the dumped areas.

In most of the samples of sediments the contents of all the studied elements (Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Ni, Cr, Cd, Pb, As) are in their background concentrations. Graphs and seven maps of the distribution of the toxic metals in the bottom sediments in the Bornholm Basin were compiled. The contents of all the studied toxic elements are decreased from sand to pelitic (clayey) mud and in the direction from the CW dumpsite area to the border of the Bornholm Deep.

Arsenic, as one of the most toxic elements, is released during hydrolysis of CM and disperses in the mud up to average contents of 10–30 mg/kg, maximum – up to 277 mg/kg. Overclarke contents of this element are concentrated in iron sulphides (up to 440 ppm of As) in the stagnant environment or in the iron–manganese nodules or crusts (up to 1021 ppm of As) in the oxic zone. No signs of the distribution of dispersed arsenic from dumped CM areas over the whole Bornholm Deep were not detected. This element is concentrated in some places near sunken warships with (?) CM (up to 100 - 277 mg/kg).

The dumpsite of chemical munitions in the Gotland Basin is located in the southern part of the Gotland Deep. This part was named as Słupsk "River's foredelta". This "river" discharges suspended particulate matter into this foredelta. As a result, the layer of the Litorina mud here is the thickest in the Gotland Basin (up to 730 cm, sedimentation rate is 0.94 mm/y). From the eastern side of the foredelta there is non deposition or rewashing area, where till deposits with a thin cover of sand forms the surface of a hard bottom. Shells and bombs with poisonous matter could have been laid on the hard bottom or in the soft Litorina mud. However, we did not find any bombs or shells during our investigation (three expeditions). All the twenty two chemical elements we studied in the sediments were distributed according to the rule of the pelitic fraction [1]): the more the pelite (fraction < 0.01 mm) – the higher the content of the element. The maximal content of Zn (in the pelitic mud) is 39 times higer than its minimal value (in the sand), for Mn it is 416 times, for Fe – 17 times and for As – 77 times. The mean values of the elements in the pelitic mud (or clay in the western terminology) are 1.4–3.1 times higher than in the sand.

The content of the most toxic elements (Pb, As, Cd and Hg) in the surficial mud (0-5 cm) of the Gotland Basin is common for the Baltic Sea: the maximal contents of toxic microelements are: Pb – up to 39, As – up to 77, Cd – up to 4.0 and Hg – up to 0.21 mg/kg. We did not found polluted areas in the Gotland Deep. The bottom of the Southern Gotland Deep is sufficiently clean.

The maximal content of As (which is an indicator of the hydrolysis of lewisite and mustard gas (yperite) in the surface (0–5 cm) sediments) is 77 mg/kg (10–20 mg/kg on the average), i. e. similar to the same type of mud

far from the dumpsite areas. In some layers of the Litorina (marine Holocene) mud strata (in the cores) and in the Ancylus clay we obtained us much as 130 mg As / kg. These hightened contents were formed due to the presence of iron sulphides in these layers.

2) The track of the gaspipeline "North Stream", which is crossing the Baltic Sea from Vyborg port (Russia) till the Greifswald (Germany) (1200 km) is traced outside of the areas with dumped chemical agents. The environment of the gaspipeline track in all the Baltic was investigated in detail (about 550 stations): topography, particulate suspended matter in bottom water, surficial sediments types, theirs resuspension and redeposition , and contents in the sediments C_{org}, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, Cd, As were investigated. The hightened contents of some toxic elements were detected only in the sediments of the Gulf of Finland and in the Northern Baltic Deep (depths up to 200 m).

The high contents of As and other toxic elements (Cd, Pb, etc.) formed due to natural (diagenetic) processes, but not as a result of the hydrolysis of CM on the bottom.

According to our data [2, 3, 4, 5], the background concentrations of As in the mud and its over-concentrations in sulphide and iron-manganese nodules are not ecologically dangerous to man. They are not dangerous for building in the future cable lines and pipelines on the bottom outside of the conventional areas of dumped CM, and these lines will not stimulate CM hydrolysis and the distribution of arsenic over the Bornholm and Gotland Deeps and over the all the Baltic Sea.

3) The distribution and inter-annual variability of the contents of toxic metals (Cu, Cr, Cd, Pb, Hg) of surface layer (0-10 cm) of the bottom sediments at 23 stations (192 samples) in the area of the oil platform D-6 in the Gdansk Basin are investigated. The annual long-term monitoring researches during 2003-2008 years were carried out. Their distribution corresponds to the rule of "pelitic (clayey) fraction" [1]. Their decreased contents are observed in the coarse-grain bottom sediments (gravel, sand and aleurites) which are characteristic for seabed at the shallow and intermediate depths, and its increased contents are find in the mud of deep. This is caused by natural processes of differentiation of the sedimentary material during sedimentation. Our data essentially have updated and have supplemented the results of the previous researches of Gdansk Basin. It is not detected the anthropogenic contamination by the toxic metals of the studied bottom sediments.

1. Emelyanov, E.M., 1995. Baltic Sea: geology, geochemistry, paleoceanography, pollution. P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS, Atlantic Branch. Yantarny Skaz, Kaliningrad, 120 p.

2. Emelyanov E.M., 2007. The geochemical and geoecological situation in the areas of the Skagerrak and the Baltic Sea where chemical munition was dumped // Geologija. Vilnius. № 59. P. 8-29.

3. Emelyanov E.M., 2007. The geochemical and geoecological situation of the Gotland basin in the Baltic Sea where chemical munition was dumped // Geologija. Vilnius. № 60. P. 10-26.
4. Emelyanov E.M., Kravtsov V.A., 2007. Cause of elevated As concentrations in the Baltic Sea and Vistula Lagoon. Geochemistry International. Vol. 45. № 8. PP. 798-815.
5. Emelyanov E.M., Kravtsov V.A., Savin Yu. I., Paka V.T., Khalikov I.S., 2009. Chemical munitions and toxic elements in the Bornholm Basin, Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin. PP. 00 (in press).
6. Missiaen, T., Feller, P., 2008. Very-high-resolution seismic and magnetic investigation of a chemical munition dumpsite in the Baltic Sea. Journal of Applied Geophysics. PP. 1-13.

Изучены донные осадки и распределение в них токсичных элементов (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Co, Cd, Pb, As) в местах захоронения химического оружия в Борнхольмской и Готландской впадинах Балтийского моря, а также вдоль трассы газопровода «Северный поток» и в районе мониторинга нефтяного месторождения Д-6. Построены геохимические карты и многочисленные графики. В илах Борнхольмской впадины (в местах захоронения хим. оружия) повышены содержания As (до 277 мг/кг), Pb, Cd, Mn.

Продукты разложения химического оружия не служат помехой для «Северного потока». У нефтяной платформы Д-6 и вдоль трассы газопровода осадки содержат повышенные количества некоторых токсичных элементов лишь на отдельных станциях Северной Балтики.

Алфавитный указатель

Аббясов А.А. 101
Авилов В.И. 184
Авилова С.Д. 184
Александров С.В. 84
Алексанкина С.П. 61
Алексеенко В.А. 4
Аникиев В.В. 8, 189
Арсеньев Б.П. 241
Беляев Н.А. 13, 17, 125, 175
Бердников С.В. 155
Бодряков Т.В. 193
Бойко С.М. 162
Болдырев В.Л. 241
Бреховских В.Ф. 195, 205
Булычева Е.В. 284
Бурков Д.В. 223
Бурюхаев С.П. 178
Верховская З.И. 93
Верхозина В.А. 21, 24
Верхозина Е.В. 21, 24
Ветров А.А. 29
Виноградова А.А. 200
Виноградова Е. 122
Волкова З.В. 195, 205
Гаврилова А.Д. 284
Галкин С.В. 61, 66
Гарькуша Д.Н. 209
Гиппиус Ф.Н. 214, 218
Глазырин Е.А. 33
Глазырина Н.В. 33
Гогоберидзе Г.Г. 241
Гордеев В.В. 37, 61
Горшков А.Г. 106
Гращенкова О.К. 218
Гриценко В.А. 42
Губайдуллин М.Г. 223
Гурский Ю.Н. 46
Дара О.М. 66
Дарницкий В.Б. 51
Даувальтер В.А. 227
Демиденко Н.А. 150, 214, 218
Демина Л.Л. 56, 61, 66, 163
Доля И.Н. 136
Доманов М.М. 82
Дорохов Д.В. 232
Доценко И.В. 234, 306
Егоров А.В. 178
Еремеева А.А. 268
Ернстрем Ю. 227
Ерошенко Д.В. 315
Ефимова Л.Е. 218, 239
Жамойда В.А. 241
Жилин А.Ю. 247
Завьялов П.О. 71
Захарова Е.Е. 150
Здобин Д.Ю. 77
Земская Т.И. 106, 136, 178
Зернова В.В. 82
Зимовец А.А. 306
Иванов М.В. 93, 150
Иванова В.В. 252
Ищенко М.А. 51
Калинчук В.В. 118
Калмычков Г.В. 178
Карпов Г.А. 163
Кашулин Н.А. 227
Кивва К.К. 218
Килесо А.В. 42
Кириевская Д.В. 252
Коновалов Д.А. 254
Коновалова Т.Г. 258
Константинов В.М. 280
Копрова Л.И. 263
Корнеев О.Ю. 312
Корнеева Е.В. 312
Коробов В.Б. 268
Кортишко В.В. 42
Костылева А. 122
Кравчишина М.Д. 61
Кудрявцева Е.А. 84
Кузнецов А.Н. 273

Кукина С.Е. 87
Кукса К.А. 77
Кулешов А.Ф. 298
Куликова Н.Н. 162
Курченко В.Ю. 324
Куршева А.В. 278
Леин А.Ю. 91, 93
Леонов А.В. 96
Лехто Ю. 227
Литвиненко И.В. 278
Литвинова Т.В. 101
Ломакина А.В. 106
Максименков Л.О. 200
Максимов А.А. 147
Малов А.И. 109
Мелузов А.А. 93
Мерклин Л.Р. 93
Мишуков В.Ф. 118
Моргунова И.П. 114
Мотычко В.В. 280
Мошаров С.А. 84
Немировская И.А. 195, 284
Нерода А.С. 118
Николаев В.В. 280
Овсепян А.Э. 306
Павлов А.А. 8
Павлова Г.А. 93
Павлова О.Н. 106
Пантюлин А.Н. 214
Парадина Л.Ф. 162
Пахомова С. 122
Пелевин В.В. 263
Пересыпкин В.И. 13, 17, 29, 125
Петрова В.И. 114, 128, 254, 278
Пименов Н.В. 132
Пищальник В.М. 96
Плотицына Н.Ф. 247
Погарский Ф.А. 200
Погодаева Т.В. 136, 178
Покровский О.С. 289
Поняев М.С. 13, 17
Розанов А.Г. 139
Романенко Ф.А. 289
Русанов И.И. 93, 150
Рыбалко А.Е. 144, 147, 312
Рябчук Д.В. 241
Саввичев А.С. 150
Савенко А.В. 289
Сайбаталова Е.В. 162
Самойлович Ю.Г. 280
Сивков В.В. 241, 284
Скибинский Л.Э. 294
Слинченков В.И. 280
Соколов Г.Н. 280
Соловьев А.Н. 298
Сорокина В.В. 155
Спиридонов М.А. 241
Степанов Д.В. 241
Степанова Т.В. 114
Стунжас П.А. 159
Сутурин А.Н. 162
Табунс Э.В. 77
Тембрел Е.И. 163
Тимошкин О.А. 162
Титенко А.П. 109
Ткаченко Ю.Ю. 302
Трубкин И.П. 195
Федоров Ю.А. 209, 234, 273, 306
Федорова Н.К. 147, 312
Федулов В.Ю. 214
Филатова Т.Б. 168, 172
Флинт М.В. 93
Фокин Д.П. 312
Харин Г.С. 315
Харин С.Г. 315
Хлебников Д.В. 263
Хлыстов О.М. 136, 178
Хоменко Г.Д. 320
Хромов М.И. 209
Черкашёв Г.А. 114
Черницына С.М. 178
Чечко В.А. 324
Чичерина О.В. 96

Чудненко К.В. 24
Чяснавичюс Ю.К. 189
Шаповалова Е.С. 175
Шкабурский М.Б. 33
Штерева Г. 122
Шубенкова О.В. 106, 178
Щербаков В.А. 280
Юркин М.М. 214
Emelyanov E.M. 325
Kravtsov V.A. 325

ОГЛАВЛЕНИЕ

Биохимические процессы в морях и океане

Алексеенко В.А. Особенности накопления ряда металлов прибрежными морскими водорослями Черноморского побережья России 4

Аникиев В.В., Павлов А.А. Формирование химического состава аэрозолей в воздухе г. Владивосток (Россия) и г. Саппоро (Япония) 8

Беляев Н.А., Поняев М.С., Пересыпкин В.И. Распределение органического углерода в воде и взвеси западной части Карского моря в 2007 году 13

Беляев Н.А., Поняев М.С., Пересыпкин В.И. Органический углерод верхнего слоя донных осадков западной части Карского моря 17

Верхозина Е.В., Верхозина В.А. Влияние гидродинамических процессов на биогеохимические условия в формировании качества пресных вод глубоких рифтовых озер мира 21

Верхозина В.А., Верхозина Е.В., Чудненко К.В. Биогеохимические процессы азотфиксации и денитрификации в экосистеме озера Байкал и их роль в балансе азота 24

Ветров А.А., Пересыпкин В.И. Органический углерод отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря 29

Глазырина Н.В., Глазырин Е.А., Шкабурский М.Б. Биогенные литогенетические преобразования флишевых отложений (на примере верхнемеловых отложений Северо-Западного Кавказа) 33

Гордеев В.В. Речной сток в Северный Ледовитый океан и вероятное влияние климатических изменений на его геохимию 37

Гриценко В.А., Килесо А.В., Кортишко В.В. Изменчивость придонных градиентов скорости вдольсклоновых течений и ресузпензия донных осадков 42

Гурский Ю.Н. Геохимия анаэробных и обменных процессов на нижнем этаже маргинального фильтра 46

Дарницкий В.Б., Ищенко М.А. Биологическая продуктивность и особенности океанографии в районах подводных гор юго-восточной Пацифики (хребты Наска и Сала-и-Гомес) 51

Демина Л.Л. Микроэлементы в глобальных биофильтрах океана 56
Демина Л.Л., Гордеев В.В., Галкин С.В., Кравчишина М.Д., Алексанкина С.П. Биогеохимия металлов в маргинальном фильтре р. Обь 61
Демина Л.Л., Галкин С.В., Дара О.М. Роль карбонатной биоминерализации в концентрировании химических элементов в гидротермальных областях океана 66
Завьялов П.О. Современное состояние Аральского моря и процессы соленакопления в нем 71
Здобин Д.Ю., Табунс Э.В., Кукса К.А. Галогены как геохимические индикаторы ранних стадий седиментогенеза глинистых осадков в присутствии органического вещества 77
Зернова В.В., Доманов М.М. Сезонная изменчивость фитопланктонного сообщества в проливе Дрейка 82
Кудрявцева Е.А., Мошаров С.А., Александров С.В. Оценка потоков взвешенного органического вещества и их связь с хлорофиллом и первичной продукцией в Балтийском море в 2006-2007 гг. 84
Кукина С.Е. Особенности распределения форм металлов в донных отложениях малых губ Кандалакшского залива Белого моря 87
Леин А.Ю. Биогеохимический цикл метана в океане 91
Леин А.Ю., Русанов И.И., Павлова Г.А., Мелузов А.А., Верховская З.И., Мерклин Л.Р., Иванов М.В., Флинт М.В. Биогеохимические процессы в осадках внешнего шельфа российского сектора Черного моря 93
*Леонов А.В., Пищальник В.М., Чичерина О.В.*Об адекватности CNPSi–модели, используемой в качестве инструмента для изучения состояния водных экосистем 96
Литвинова Т.В., Аббясов А.А. Биогеохимические процессы фосфатонакопления в древних морях 101
Ломакина А.В., Земская Т.И., Павлова О.Н., Шубенкова О.В., Горшков А.Г. Исследование углеводородокисляющих микроорганизмов и их способность деградировать нефть и ее производные в районах естественных выходов нефти на озере Байкал 106

Малов А.И., Титенко А.П. Йодные воды морских отложений Северо-Двинской впадины 109
Моргунова И.П., Петрова В.И., Степанова Т.В., Черкашёв Г.А. Особенности формирования фона рассеянного органического вещества донных отложений гидротермального поля «Ашадзе» (САХ, 13°с.ш.) 114
Нерода А.С., Мишуков В.Ф., Калинчук В.В. Атмосферные аэрозоли региона Японского моря 118
Пахомова С. , Виноградова Е. , Штерева Г. , Костылева А. Изменчивость гидрохимической структуры редокс-слоя Черного моря 122
Пересыпкин В.И., Беляев Н.А. Состав *н*-алканов в донных осадках и бактериальных матах отшнурованных озер Кандалакшского залива Белого моря 125
Петрова В.И. Углеводородные молекулярные маркеры в позднекайнозойских донных отложениях арктического мегабассейна 128
Пименов Н.В. Археи в океане: разнообразие и геохимическая деятельность 132
Погодаева Т.В., Земская Т.И., Доля И.Н., Хлыстов О.М. Поровые воды донных отложений озера Байкал в районах погружения ГОА “МИР” 136
Розанов А.Г. Марганец и другие окислители органического вещества донных отложений Белого моря 139
Рыбалко А.Е. Геохимический мониторинг донных отложений (методика, проблемы, перспективы) 144
Рыбалко А.Е., Федорова Н.К., Максимов А.А. Влияние гидротехнических работ на формирование геохимической структуры донных осадков (на примере восточной части Финского залива в 2006-2008 г.г.) 147
Саввичев А.С., Демиденко Н.А., Русанов И.И., Захарова Е.Е., Иванов М.В. Биогеохимические процессы в заливе Долгая-Восточная губа до начала строительства Северной приливной электростанции 150
Сорокина В.В., Бердников С.В. Изучение причин увеличения концентрации органического углерода в экосистеме Азовского моря 155
Стунжас П.А Карбонаты и восстановленная сера в осадках Черного моря как критерии ионного баланса его вод 159

Сутурин А.Н., Тимошкин О.А., Куликова Н.Н., Парадина Л.Ф., Бойко С.М., Сайбаталова Е.В. Влияние биогеохимических процессов в литорали оз. Байкал на биопродуктивность и биоразнообразие 162
Тембрел Е.И., Демина Л.Л., Карпов Г.А. Биогеохимические особенности аккумуляции микроэлементов биоценозами некоторых термальных источников Камчатки 163
Филатова Т.Б. Экспедиционные гидрохимические исследования в прибрежных и мористых частях Чёрного моря 168
Филатова Т.Б. Дельта Дона: оценка первичной продукции 172
Шаповалова Е.С., Беляев Н.А. Распределение углеводородов в донных осадках Таманского и Динского заливов. Последствия разлива мазута в Керченском проливе 175
Шубенкова О.В., Земская Т.И., Хлыстов О.М., Погодаева Т.В., Черницына С.М., Калмычков Г.В., Егоров А.В., Бурюхаев С.П. Геохимическая и микробиологическая характеристика осадков грязевого вулкана «Маленький» озера Байкал 178

Симпозиум им. Н.А. Айбулатова «Геоэкология, загрязнение Мирового океана, новые методы четырехмерного мониторинга»

Авилов В.И., Авилова С.Д. Тенденции развития геологии и экологии океана 184
Аникиев В.В., Чяснавичюс Ю.К. Применение логико-вероятностной модели для прогноза распространения химического оружия 189
Бодряков Т.В. Некоторые геоэкологические аспекты управления береговой зоной (на примере Выборгского залива) 193
Бреховских В.Ф., Трубкин И.П., Немировская И.А., Волкова З.В. Оценка выноса углеводородов из донных отложений при дночерпательных работах 195
Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А. Загрязнение водосборов сибирских рек тяжелыми металлами от промышленных комплексов Норильска и Урала 200

Волкова З.В., Бреховских В.Ф. Влияние дночерпательных работ на экологические характеристики водных объектов 205
Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Хромов М.И. Особенности распределения метана и сероводорода в донных отложениях устьевой области Северной Двины в летний и зимний период 209
Гиппиус Ф.Н., Демиденко Н.А., Пантюлин А.Н., Федулов В.Ю., Юркин М.М. Термохалинные исследования в губе Долгая Баренцева моря 214
Гращенкова О.К., Демиденко Н.А., Ефимова Л.Е., Кивва К.К., Гиппиус Ф.Н. Гидрохимические исследования в губе Долгая Баренцева моря 218
Губайдуллин М.Г., Бурков Д.В. Геоэкологический мониторинг Варандейского терминала для вывоза нефти северным морским путем с месторождений Ненецкого автономного округа 223
Даувальтер В.А., Кашулин Н.А., Лехто Ю., Ернстрем Ю. Реконструкция загрязнения озера Умбозеро в течение последних двух столетий 227
Дорохов Д.В. Опыт геоэкологического картирования прибрежной зоны Калининградской области 232
Доценко И.В., Федоров Ю.А. Динамика распределения содержания ртути в донных отложениях Азовского моря в условиях перманентно изменяющейся гидрометеорологической обстановки 234
Ефимова Л.Е. Распределение биогенных элементов в зоне смешения речных и морских вод в Мезенском заливе 239
Жамойда В.А., Рябчук Д.В., Спиридонов М.А., Гогоберидзе Г.Г., Болдырев В.Л., Сивков В.В., Арсеньев Б.П., Степанов Д.В. Проект справочно-информационной системы «Кадастр береговой зоны Российского сектора Балтийского моря» 241
Жилин А.Ю., Плотицына Н.Ф. Загрязняющие вещества в донных осадках прибрежья Баренцева моря 247
Кириевская Д.В., Иванова В.В. Воздействие затонувших плавсредств на акваторию Финского залива по результатам исследования ВНИИОкеангеология, 2008 г. 252

Коновалов Д. А., Петрова В. И. Влияние сипинговой миграции на формирование углеводородного фона нефтегазоперспективных районов акваторий (на примере Штокмановской площади) 254
Коновалова Т.Г. Распределение токсичных химических элементов в донных осадках Юго-Восточной части Балтийского моря 258
Копрова Л.И., Пелевин В.В., Хлебников Д.В. Индекс здоровья вод открытого океана 263
Коробов В.Б., Еремеева А.А. Оценка инженерно-экологических изысканий при освоении нефтегазовых месторождений в прибрежной зоне Арктических морей как источника информации об окружающей среде 268
Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А. Распределение нефтяных компонентов в системе вода – взвешенное вещество – донные отложения устьевой области р. Дон 273
Куршева А.В., Литвиненко И.В., Петрова В.И. Эколого-геохимическое картирование ароматических углеводородов (на примере донных осадков западного сектора Арктики) 278
Мотычко В.В., Николаев В.В., Самойлович Ю.Г., Соколов Г.Н., Слинченков В.И., Щербаков В.А., Константинов В.М. Геоэкологическая ситуация в северной части Обской губы Карского моря 280
Немировская И.А., Сивков В.В., Булычева Е.В., Гаврилова А.Д. Мониторинг углеводородов в районе Кравцовского месторождения в Балтийском море 284
Савенко А.В. , Покровский О.С. , Романенко Ф.А. Миграция растворенных форм микроэлементов в устьевых областях малых рек водосбора Карского моря 289
Скибинский Л.Э. Экологический мониторинг Долгинского нефтяного месторождения (Печорское море) 294
Соловьев А.Н., Кулешов А.Ф. О светорассеянии на взвеси в водах Калининградского залива Балтийского моря после обильных дождей 298
Ткаченко Ю.Ю. Гидрологические и гидрохимические факторы, способствующие эвтрофированию Анапской бухты 302

Федоров Ю.А., Зимовец А.А., Доценко И.В., Овсепян А.Э. Физико-химическая обстановка как один из факторов, оказывающих влияние на формы нахождения ртути в окружающей среде бассейна р. Северная Двина 306
Федорова Н.К., Корнеев О.Ю., Фокин Д.П., Корнеева Е.В., Рыбалко А.Е. Геоэкологическая ситуация в Российской части Балтийского моря (по данным Государственного мониторинга 2008-2009 г.г.) 312
Харин Г.С., Харин С.Г., Ерошенко Д.В. Геоэкология и геологические критерии устойчивости берегов Юго-Восточной Балтики 315
Хоменко Г.Д. Состояние поверхностных водных объектов о. Колгуев в районе нефтедобычи летом 2007 года 320
Чечко В.А., Курченко В.Ю. О содержании тяжелых металлов в снежном покрове Вислинской и Куршской лагун (Балтийское море) 324
Emelyanov E.M., Kravtsov V.A. The sunken chemical weapon, gaspipeline “North stream” and geoecological environment in the Baltic Sea 325

Алфавитный указатель 329

CONTENTS

Biogeochemical processes in the seas and oceans

Alekseenko V.A. Features of the accumulation of some metals coastal marine algae of the Black Sea coast of Russia 4
Anikiev V.V., Pavlov A.A. Chemical composition' formation of aerosols over Vladivostok and Sapporo 8
Belyaev N.A., Ponyaev M.S., Peresypkin V.I. The Organic Carbon distribution in the water and suspended matter on the western part of the Kara Sea in 2007 13
Belyaev N.A., Ponyaev M.S., Peresypkin V.I. Organic Carbon of surface sediments on the western part of the Kara Sea 17
Verkhozina E.V., Verkhozina V.A. The hydrodynamic processes influence on the biogeochemistry conditions of forming the fresh waterquality in the world deep rift lakes 21
Verkhozina V.A., Verkhozina E.V., Chudnenko K.V. Influence of biogeochemistry processes of nitrogen fixation and denitrification on the nitrogen balance of Lake Baikal' Ecosystem 24
Vetrov A.A., Peresypkin V.I. Organic carbon separated reservoirs of Kandalaksha bay of the White Sea 29
Glazyrina N.V., Glazyrin E.A., Shkaburski M.B. Biogenic lithogeneous of the transformation sediments deposits (on example sediments deposits NORTHWEST Caucasus) 33
Gordeev V.V. River input into the Arctic Ocean and probable influence of climate changes on its geochemistry 37
Gritsenko V.A., Kileso A.V., Kortishko V.V. The variability of the downslope currents' bottom velocity gradients and the bottom sediment re-suspension 42
Gursky Yu.N. The geochemistry of anaerobic and exchange processes in the ground floor of marginal filter 46
Darnitskiy V.B., Ishchenko M.A. The biological productivity and oceanography peculiaritys in seamount areas in the South-Eastern Pacific (Nazca and Sala-y-Gomez Ridges) 51
Demina L.L. Heavy metals in the global ocean biofilters 56

Demina L.L., Gordeev V.V., Galkin S.V., Kravchishina M.D., Alexankina S.O. Heavy metals in the Ob River marginal filter 61
Demina L.L., Galkin S.V., Dara O.M. Carbonate biomineralization and heavy metal accumulation in the deep-sea hydrothemal vent fields 66
Zavialov P.O. Present State of the Aral Sea and Salt Formation Processes Therein 71
Zdobin D.Yu., Tabuns E., Kuksa K.A. Halogens as a tool for indication of organic-bearing sediments diagenesis 77
Zernova V.V., Domanov M.M. Seasonal variability of the phytoplankton community in the Drake Passage 82
Kudryavtzeva E.A., Mosharov S.A., Aleksandrov S.V. Assessment of particle organic carbon fluxes in the Baltic Sea and connection with chlorophyll "a" and primary production in the Baltic Sea in 2006-2007 84
Koukina S.E. Metal form distribution in sediments from small coastal environments of Kandalaksha bay (White Sea, Russian Arctic) 87
Lein A.Yu. The Biogeochemical methane cycle in the ocean 91
Lein A.Yu., Rusanov I.I., Pavlova G.A., Meluzov A., Verkhovskaya Z.I., Merklin L.R., Ivanov M.V., Flint M.V. Biogeochemical processes in the sediments of outward Russian shelf of the Black Sea 93
Leonov A.V., Pishchalnik V.M., Chicherina O.V. To adequance of the CNPSi–model used as instrument in the studies of ecological state of water ecosystems 96
Litvinova T.V., Abbyasov A.A. Biogeochemical processes of phosphates accumulation in the ancient seas 101
Lomakina A.V., Zemskaya T.I., Pavlova O.N., Shubenkova O.V., Gorshkov A.G. Hydrocarbon oxidizing microorganisms and their ability to degrade oil and its derivatives at natural oil seepage sites on Lake Baikal 106
Malov A.I., Titenko A.P. Iodic waters of marine sediments of the Northern Dvina Basin 109
Morgunova I.P., Petrova V.I., Stepanova T.V., Cherkashev G.A. Features of OM background formation in bottom sediments of the hydrothermal field "Ashadze" (MAR, 13°N) 114

Neroda A.S., Mishukov V.F., Kalinchuk V.V. Atmospheric aerosols at Pan-Japan sea region 118
Pakhomova S., Vinogradova E., Shtereva G., Kostyleva A. Variability of hydrochemical structure of redox layer of the Black Sea 122
Peresypkin V.I., Belyaev N.A. The composition of *n*-alkanes in the sediments and bacterial matte separated lakes of Kandalaksha bay of the White Sea 125
Petrova V.I. Hydrocarbon molecular markers in the upper cenozoic sediments of the Arctic Ocean 128
Pimenov N.V. Archaea in the ocean: diversity and geochemical activity 132
Pogodaeva T.V., Zemskaya T.I., Dolya I.N., Khlystov O.M. Pore water of Lake Baikal bottom sediments at diving sites of deepwater submersible "MIR" 136
Rozanov A.G. Manganese and other oxidizers of organic matter in the White Sea sediments 139
Rybalko A.E. Geochemical monitoring of bottom sediments (method, problems, prospect) 144
Rybalko A.E., Fedorova N.K. Influence of hydraulic engineering works on forming of geochemical structure of bottom sediments (the Eastern Gulf of Finland in 2006-2008) 147
Savvichev A., Demidenko N., Rusanov I., Zakharova E., Ivanov M. Biogeochemical processes in a gulf Dolgaya-East prior to the beginning of building of tidal power station 150
Sorokina V.V., Berdnikov S.V. Reasons of organic carbon concentration increase in the Azov Sea ecosystem 155
Stunzhas P.A. Carbonate and reduced sulfur in sediments of the Black Sea as criteria of ion balance of its waters 159
Suturin A.N., Timoshkin O.A., Kulikova N.N., Paradina L.F., Boiko S.M., Saibatalova Ye.V. The influence of biogeochemical processes in the littoral zone of Lake Baikal on the biological productivity and biodiversity. 162
Tembrel E.I., Demina L.L., Karpov G.A. Biogeochemical peculiarities of microelements accumulation by biocenoses of some thermal springs in Kamchatka 163
Filatova T.B. Expeditional hydrochemical researches in coastal and sea areas of the Black Sea 168

Filatova T.B. Delta of the river Don: estimation of a primary production 172
Shapovalova E.S., Belyaev N.A. Hydrocarbons distribution in the Taman and Dinskoy bays bottom sediments. Oil spill consequences at the Kerch strait 175
Shubenkova O.V., Zemskaya T.I., Khlystov O.M., Pogodaeva T.V., Chernitsina S.M., Kalmichkov G.V., Egorov A.V., Burukhaev S.P. Geochemical and microbiological characteristics of sediments near mud volcano «Malenky» of Lake Baikal 178

N.A. Aibulatov Memorial Symposium "Geoecology, pollution of the World Ocean, new methods of four-dimensional monitoring"

Avilov V.I., Avilova S.D. Tendencies of Ocean Geology and Ecology Development 184
Anikiev V.V., Chiasnavichius J.K. The using of logical-and-probabilistic model for the forecasting of chemical weapon's distribution 189
Bodryakov T.V. Some geoecologic aspects of management in the coastal zone (on example of Vyborg bay) 193
Brekhovskikh V.F, Trubkin I.P., Nemirovskaya I.A., Volkova Z.V. Estimation from carrying out of hydrocarbons from sediment of dredging 195
Vinogradova A.A., Maksimenkov L.O., Pogarskii F.A. Heavy metal pollution of the Siberian river's basins from the industrial complexes of Norilsk and Ural 200
Volkova Z.V., Brekhovskikh V.F. The impact of dredging on ecology of water objects 205
Garkusha D.N., Fedorov Yu.A., Khromov M.I. Peculiarities of Methane and Sulfide Hydrogen Distribution in Bottom Sediments of the Northern Dvina Mouth Area in Summer and Winter Periods 209
Gippius F.N., Demidenko N.A., Pantiulin A.N., Fedulov V. Yu., Yurkin M.M. Thermohaline studies in the Dolgaya bay of the Barents Sea 214
Grashchenkova O.K., Demidenko N.A., Efimova L.E., Kivva K.K., Gippius F.N. Hydrochemical studies in the Dolgaya bay of the Barents Sea 218

Gubaidullin M.G., Burkov D.V. Geoecological monitoring of the Varanday oil terminal for export of oil northern sea by from deposits of Nenets autonomous region 223
Dauvalter V.A., Kashulin N.A., Lehto J., Jernström J. Reconstruction of pollution of Lake Umbozero during last two centuries 227
Dorokhov D.V. Experience of the geo-ecological mapping of Kaliningrad region coastal zone 232
Dotsenko I.V., Fedorov Yu.A. Dynamics of mercury concentrations' distribution in the bottom sediments of the Sea of Azov under the permanently changeable hydrometeorological conditions 234
Efimova L.E. Distribution of biogenic elements in the Mezen Bay river-seawater mixing zone 239
Zhamoida V.A., Ryabchuk D.V., Spiridonov M.A., Gogoberidze G.G., Boldyrev V.L., Sivkov V.V., Arseniev B.P., Stepanov D.V. Project of Information System "Coastal Zone Cadastre of the Russian Sector of Baltic Sea" 241
Zhilin A.Yu., Plotitsyna N.F. Contaminants in Sediments of the Coastal Area of the Barents Sea 247
Kirievskaya D.V., Ivanova V.V. Influence sunken ships on water area of Gulf of Finland according to the research results of VNIOOkeangeologiya, 2008 252
Konovalov D., Petrova V. Vertical migration influence to hydrocarbon background of oil and gas deposit areas' bottom sediments (Sample of Stockman area, Barents Sea) 254
Konovalova T.G. The toxic elements in the bottom sediments of the south-eastern part of the Baltic Sea 258
Koprova L.I., Pelevin V.V., Khlebnikov D.V. Index of "health" of open ocean waters 263
Korobov V.B., Eremeeva A.A. Estimation of engineering-ecological researches at oil-and-gas deposits development in a coastal zone of the Arctic seas as a source of the environment information 268
Kuznetsov A.N., Fedorov Yu.A. Distribution of Oil Components in the System Water – Suspended Matter – Bottom Sediments of the Don River Mouth Reach 273
Kursheva A.V., Litvinenko I.V., Petrova V.I. Environmental-geochemical mapping of aromatic hydrocarbons (on the example of bottom sediments of western Arctic) 278

Motichko V.V., Nikolaev V.V., Samoilovich Yu.G., Sokolov G.N., Slinchenkov V.I., Scherbakov V.A., Konstantinov V.M. Geoecological situation in the north part of Obskaya Guba Gulf, the Kara Sea 280
Nemirovskaya I.A., Sivkov V.V., Bylucheva E.V., Gavrilova A.D. Monitoring of hydrocarbons in the region of Kravchovsky oilfield of the Baltic Sea 284
Savenko A.V. , Pokrovsky O.S. , Romanenko F.A. Migration of the dissolved forms of microelements in the mouth areas of small rivers discharging into the Kara Sea 289
Skibinskiy L.A. Ecological monitoring Dolginskoe oil deposit 294
Solov`ev A.N., Kuleshov A.F. On lightscattering by suspended matter in Kaliningrad bay of Baltic Sea waters after abundant rains 298
Tkachenko Yu.Yu. Hydrological and hydrochemical factors contributing to eutrophication of Anapa bay 302
Fedorov Yu. A., Zimovec A.A., Dotsenko I.V., Ovsepyan A.E. Physicochemical situation as one of the factors influencing the forms of mercury compounds located in the basin of river Severnaya Dvina environment 306
*Fedorova N.K., Korneev O.Ju., Fokin D.P., Korneeva E.V., Rybalko A.E.*Geoecological situation in the Russian part of the Baltic Sea (according to the State monitoring 2008-2009) 312
Kharin G.S., Kharin S.G., Eroshenko D.V. Geoecological and geological criterions of the south-eastern Baltic shores stability 315
Khomenko G.D. State of surface water objects of island Kolguev in the area of oil production by the summer of 2007 320
Chechko V.A., Kurchenko V.Yu. On the concentration of heavy metals in snow pack in the Vistula and the Curonian Lagoons (Baltic Sea) 324
Emelyanov E.M., Kravtsov V.A. The sunken chemical weapon, gaspipeline “North stream” and geoecological environment in the Baltic Sea 325

Научное издание

ГЕОЛОГИЯ
МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии

Москва, 16–20 ноября 2009 г.

Том IV

Ответственный редактор
Академик *А.П. Лисицын*

Налоговая льгота – общероссийский классификатор
продукции ОК-005-93, том 3; 95 300 – книги, брошюры

Подписано к печати 18.10.2009
Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная № 1, 80 г/м^2
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 22,0. Тираж 400 экз.

Издательство ГЕОС:
125315, 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@ginras.ru, www.geos-books.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ОАО «ВТИИ», г.Москва