

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.  
Материалы IX международной конференции  
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия  
Петрозаводск, 2005. С. 280-284.

## ЗНАЧЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРНЫХ ЗОН В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД БЕЛОГО МОРЯ

Л.Э. СКИБИНСКИЙ

*Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, Архангельск*

Речной сток играет важную роль в формировании режимных характеристик моря. Устьевые области рек и примыкающие к ним прибрежные воды являются глобальным фильтром взвешенного и растворенного веществ. В зоне смешения речных и морских вод происходит перераспределение растворенных и взвешенных форм биогенных элементов, изменяются гидрохимические характеристики. Усиление загрязненности речных вод ведет к увеличению концентраций, накоплению загрязняющих веществ в устьях рек и примыкающим к ним прибрежной зоне моря. Белое море, по сути, является огромным маргинальным фильтром, глобальной геохимической барьерной зоной (ГБЗ), в которой действует не один, а множество различных геохимических барьеров, усиливая или ослабляя действия друг друга.

В работе рассмотрены процессы накопления химических веществ в зонах постоянного контакта: «берег-море»; «река-море»; «вода-дно» в акваториях различного морфометрического типа. В Белое море впадают три крупные реки: Северная Двина, Онега и Мезень. Объем их годового стока составляет около 200 км<sup>3</sup>. Кроме того, в море впадают множество средних и малых хозяйственно значимых рек. Поэтому роль ГБЗ «река-море», как части маргинального фильтра, огромна. Для Арктических морей, включая и Белое море, маргинальный фильтр обладает рядом особенностей, связанные с влиянием на протяжении большей части года льдов на поверхности моря и впадающих рек, снежного покрова, а также мерзлоты на водосборе. Изучались распределения концентраций гидрохимических показателей, ряда тяжелых металлов, нефтяных углеводородов, биогенных элементов в воде и грунтах в зонах смешения вод и влияние их выноса, в различные сезоны года, на формирование эколого-гидрохимического состояния Белого моря. Исследована роль Горла Белого моря как барьера, определяющего физико-химические, биологические процессы и уникальность экосистемы Белого моря.

**L.E. Skibinsky. Geochemical barriers and their role in the formation of ecological-chemical state of water in the White Sea** // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 280-284.

Ecological role of the geochemical barriers in the pollution of the White Sea was studied. We have considered some geochemical barriers: "river-sea", "coast-sea" and other in the various estuaries and coastwater morphological type. The average value of the chemistry characteristics and pollution was estimated. The role of the channel Gorlo of the White Sea as geochemical barrier was evaluated.

Исследование эколого-химического состояния морских экосистем представляет собой сложную комплексную задачу, включающую изучение уровней накопления, распространения и циркуляцию загрязняющих веществ (ЗВ) в биотических и абиотических компонентах морской среды. Динамичность среды распространения определяет значительную изменчивость концентраций химических показателей, включая ЗВ. В данной работе рассматриваются гидрохимические характеристики, уровень и механизмы загрязнения прибрежных и устьевых акваторий Белого моря.

Прибрежные акватории Белого моря являются местом зверобойного и рыбного промысла, нерестилищем и местом нагула промысловых рыб, через них проходят пути миграции лососевых рыб, которые заходят в реки и ручьи региона. Шхерные и фиордовые губы южной части Белого моря удобны для промышленного развития марикультуры. Интен-

сификация добычи органических и минеральных ресурсов, введение регулярных маршрутов танкерных перевозок, строительство терминалов, нефте- и газопроводов могут привести к резкому увеличению поступления ЗВ в воды морей, что скажется на биологических ресурсах. Исследуемые акватории морей имеют приоритетное значение с точки зрения проблем геополитики, экономики и охраны природной среды. Вследствие этого необходимо выработать взвешенный научный подход к разработке природных ресурсов Белого моря, основанный на реальной и комплексной информации.

Дельты рек и в особенности эстуарии, служат весьма эффективными седиментационными ловушками, в них отлагается значительная часть поступающих наносов. Для Арктики работа маргинального фильтра имеет свои уникальные особенности, связанные с ледообразованием на поверхности морей и впадающих в них рек на протяжении значи-

тельного периода года, уменьшением речного стока в зимнюю межень, падением биологической активности (Лисицын, 1994).

Процессы химического преобразования вещества и формирование особенности гидрохимического режима (форм миграции и концентрации химических элементов) происходят не равномерно, а локализуются в активных зонах, слоях и активных поверхностях получивших названия ГБ или геохимических барьерных зон ГБЗ. В 1926 г. на наличие барьеров в водной среде обратил внимание В.И. Вернадский (1960). Зоны контакта «атмосфера-вода» и «вода-дно» выделены и происходящие в них процессы описаны в работе Хорна (1972). Впоследствии были выявлены другие поверхности и границы раздела. Под ГБЗ понимают естественную границу участка моря или океана, по разные стороны которой существуют различные условия накопления донных осадков. Вследствие этого происходит изменение концентрации химических элементов, причем действует не один, а несколько различных барьеров, взаимодействуя друг с другом (усиливая или ослабляя), в некоторых случаях эти барьеры действуют последовательно.

Основной количественной характеристикой геохимических барьеров является градиент

$$G = C^1 - C^2 / L \quad (1)$$

где:  $C^1$  - концентрация элемента перед барьером,  $C^2$  - значение (концентрация) элемента после барьера,  $L$  - ширина барьера.

Считают, что пограничный слой кончается там, где влияние границы с удалением от нее уменьшается до 10-20% (Емельянов 1984). Те участки и слои воды, в которых ГБ проявляются слабо, но которые находят четкое выражение в виде граней разных типов донных осадках или границ разных литолого-осадочных районов или провинций названы ЛГБЗ (Емельянов, 1986). Выделение границ экосистем (геобарьеров) - важный этап при изучении ассимиляционной емкости экосистем (Израэль, Цыбань, 1988).

ГБ, ГБЗ и ЛГБЗ подразделяют по масштабности проявления на глобальные (универсальные), региональные, локальные. По положению в пространстве: на горизонтальные, вертикальные, а также не зависящие от положения в пространстве (автономные). По изменчивости во времени: непрерывные, дискретные, периодические. Классификация основных ГБ и ГБЗ встречающихся в прибрежных водах разработана согласно работам (Емельянов, 1986; Израэль, Цыбань, 1988; Емельянов, 1998; Перельман, 1999; Скибинский, 2001) и приведена в табл. 1.

Основные процессы накопления загрязняющих веществ (ЗВ) происходят на границах первого порядка. Это зоны постоянного контакта: «берег-море»; «река-море»; «вода-дно», как правило, эти барьеры взаимосвязаны (Емельянов, 1998).

Одной из зон со сложнейшей структурой геохимических процессов является береговая зона моря, где в контакт входят поверхности разного про-

исхождения. Вследствие этого здесь наблюдается активность гидрофизических, гидрохимических, биохимических, биологических процессов. Граница «берег-море» в штиль - урез воды, однако во время штормов она меняется, поэтому считают, что граница «берег-море» это зона от максимального заплеска волн до глубин 15-20 м, где волновые процессы еще обуславливают размыв дна и переотложение донных осадков. Протяженность береговой линии Белого моря от м. Святой Нос до м. Канин Нос составляет 5093 км, площадь морских мелководий, ограниченных отдельными изобатами 0-20 м, 33 тыс. км<sup>2</sup>, что показывает влияние ГБ «берег-море» на формирование режима Белого моря. В целях исследования ГБ «берег-море» получены статистические характеристики ряда параметров качества вод и грунтов для отдельных акваторий Беломорского мелководья.

Граница «вода-дно» это поверхностный слой донных осадков и является конечным пунктом ЗВ, которые осаждаются на дне. Под влиянием штормов донные осадки взмучиваются, в результате происходит вторичное загрязнение вод.

Граница «река-море» - это полоса, которая соответствует зоне смешения речных вод с морскими. Со стороны моря она заканчивается там, где соленость не зависит от речного стока и совпадает с изогалиной, характерной для вод данного моря.

Согласно существующей классификации Белое море относится к внутренним «замкнутым» морям и является зоной интенсивного контакта суши и моря, рек и моря, характеризующейся как интенсивным кругооборотом основных солей, биогенных веществ, микроэлементов, так и поступлением огромной массы ЗВ, в том числе и ксенобиотиков.

В Белое море впадают три крупные реки: Северная Двина, Онега и Мезень. Объем их годового стока составляет около 200 км<sup>3</sup>. Кроме того, имеется густая речная сеть: в регионе насчитывается около 46 хозяйственно значимых рек. Поэтому роль ГБ «река-море» огромна. По сути, Белое море является огромным маргинальным фильтром, глобальной геохимической барьерной зоной (ГБЗ), в которой действует не один, а множество различных геохимических барьеров, усиливая или ослабляя действия друг друга.

Реки региона, на водосборах которых преобладают суглинки и супеси, входят в зону избыточного увлажнения, что определяется типом выветривания. Реки характеризуются низкой мутностью воды и достаточно высоким содержанием растворенных веществ. Сток взвешенных наносов в исследуемые устьевые области рек может оцениваться по весьма ограниченному данным наблюдений. Загрязнение донных отложений на устьевом участке реки по механизму формирования отличается от процессов на устьевом взморье и заливе, поскольку области смешения речных и морских вод представляют собой один из главных геохимических барьеров между морем и материком. Академик Н.М. Страхов уже более 30 лет назад указывал на важность исследований

Таблица 1. Классификация ГБ и ГБЗ, имеющих в прибрежных акваториях

Зависимость от положения в пространстве	Характер форм миграции химических элементов и седиментогенеза	Вид ГБ
Геохимические барьеры, зависящие от положения в пространстве (А).	Механические (гидродинамические)	1-ый механический барьер – прибрежная (прибойная) зона (литораль) или «берег-море». 2-ой механический барьер - зона резкого уменьшения повторяемости явления асимметрии волновых придонных скоростей. 3-ий механический барьер - зона действия сильных придонных течений основного потока бассейна, или граница смены обломочных осадков глинистыми.
	Физико-химические Барьеры	Щелочно-кислотный барьер рН барьер Окислительно-восстановительный Eh- барьер: 1. Редокс барьер Eh в воде, или переходной слой $O^2-H^2S$ ; 2. Редокс барьер Eh- в осадках (+ 200-+400 мВ).
	Солевые барьеры	1. Река-море 2. Морская вода - рассолы 3. Очаги разгрузки пресных подземных вод в море 4. Галоклин
	Температурный и динамический барьеры	Термоклин Температура замерзания Испарительный барьер Изменения состояния вещества при изменении давления
Световой барьер		
Геохимические барьеры, не зависящие от положения в пространстве (Б)	Физико-химические и биохимические	1. Вода - биота 2. Вода-взвесь
Геохимические барьеры и зоны (ГБЗ), где присутствует влияние группы барьеров. (В)	Механические (гидродинамические) Физико-химические и биохимические Солевые барьеры Температурный и динамический барьеры	1. Вода-атмосфера 2. Лед-вода 3. Гидрофронт и дивергенции 4. Слой фотосинтеза 5. Слой скачка (термоклин-галоклин-пикноклин) 6. Вода-дно 7. Гидротерма - морская вода 8. Очаги субмариной разгрузки 9. Море-берег 10. Река-море

процессов на стыке материковых и морских вод для теории осадкообразования (Страхов, 1954). Он считал, что количественные и качественные изменения осадочного материала, транспортируемого реками, в зоне смешения определяется, главным образом, разбавлением речной воды морской; подпором речного потока и вследствие этого осажением наиболее крупных частиц речной взвеси; биологическим извлечением из воды ряда компонентов планктонным фильтром.

Лабораторией экологии моря ИЭПС УрО РАН изучалось поведение различных растворенных и взвешенных веществ в устьях крупных рек региона таких как: Сев. Двина, Онега, Мезень и Печора, а также в акваториях различного морфометрического типа в различные сезоны. Исследования проводились в акваториях с различной степенью водообмена. Рассматривались Унская губа (замкнутые акватории); устье реки Северная Двина (полузамкнутые

акватории); Золотицкий участок и устье реки Золотица, Горло Белого моря (открытые акватории).

Были рассмотрены процессы накопления различных загрязняющих веществ, в том числе биогенных элементов (БЭ), нефтяных углеводородов (НУ) и тяжелых металлов (ТМ) в зонах постоянного контакта: «берег-море»; «река-море»; «вода-дно». Большое внимание было уделено изучению процессов в ГБЗ «река-море». Эта геобарьерная зона соответствует зоне смешения речных и морских вод и во многом определяет действие маргинального фильтра. Со стороны моря она заканчивается там, где соленость не зависит от речного стока и совпадает с изогалиной, характерной для вод данного моря (примемного водоема).

По данным наших исследований маргинальный фильтр для крупных рек региона состоит из 3 зон и имеет следующий вид. В наиболее сложной второй зоне (зоне смешения вод) выделяются 3 участка.

В первом участке (иловой пробке) концентрация взвесей и скорость ее седиментации значительно превышают исходную речную и тем более величину седиментации на морской границе. Второй участок (элементоорганическая пробка или органо-минеральная) локализуется между соленостью воды 1-2‰ и 10-15‰. Для него характерно то, что основная органическая масса фульфо и гуминовых кислот, растворенных в речной воде на контакте с морской водой, флокулирует и переходят во взвесь, забирая при этом с собой значительное количество металлов и др. веществ. В третьей участке (биологическая пробка) отмечается максимальное развитие фитопланктона, который служит кормовой базой зоопланктона (водных фильтраторов), а также зообентоса (донных фильтраторов) солоноватых вод. Биофильтр располагается между изогалинами 8 и 25‰.

Зона смешения характеризуется наибольшими горизонтальными и вертикальными градиентами солености воды. Протяженность ее меняется в зависимости от расхода реки (сезона), солености вод моря, гидродинамики и морфометрических характеристик прибрежных акваторий (Табл. 2.). Пространственное положение внутренней и внешней границ

зоны смешения речных и морских вод в устьях рек зависит от сезонной изменчивости объема стока пресных вод, стонно-нагонных и приливо-отливных явлений.

В исследуемых устьях рек наблюдаются ярко выраженные приливы, имеющие неправильный полусуточный характер. Под воздействием этих приливо-отливных явлений, границы зоны смешения речных и морских вод дважды в сутки меняют свое место положение. В этой связи, для выявления пространственной динамики этих границ наиболее репрезентативными являются данные, полученные в результате измерений на полусуточных станциях.

Река Северная Двина, на водосборе которой преобладают суглинки и супеси, входит в зону избыточного увлажнения, что определяет тип выветривания. Река характеризуется низкой мутностью воды и достаточно высоким содержанием растворенных веществ. В зоне смешения Северной Двины, в гранулометрическом составе взвешенных наносов в устье Сев. Двины доминирует песчаная фракция - до 58%, с преобладающим диаметром частиц 0,1-0,5 мм. Очевидно, что в условиях стратифицированных вод дельты р. Северная Двина значительная часть речного материала выносится в сторону моря. Водный сток неравномерно распределен в течение года. Максимальные расходы воды наблюдаются в период половодья, минимальные - в период летней и зимней межени. В осенний период наблюдаются паводки. В этот период водность выше водности летней и зимней межени. Межгодовая изменчивость гидрохимических характеристик определяется также флуктуацией объема речного стока.

В поверхностном опресненном слое воды растворенные и взвешенные вещества в стоке, подвергаются процессам коагуляции и флокуляции, которые протекают в интервале солености 15-20‰. В устье Северной Двины зона максимума седиментации мигрирует и в среднем находится в районе п. Лапоминка. Эта зона интенсивной аккумуляции, приуроченная к локальному геохимическому барьеру, близкому к речной границе. В ней происходит интенсивное выпадение грубодисперсной речной взвеси, это примерно 50-60%. Зона находится между

Таблица 2. Основные гидрологические и морфометрические характеристики (Скибинский, 2001)

Наименование реки	Тип [59]	Площадь дельты, км <sup>2</sup>	Средний на РГ сток вод, м <sup>3</sup> /год	Высший сизигийный прилив, м	Максимальный нагон, м	Средняя S ‰ на МГ	Зона смешения, км	Проникновение морских вод, км
Северная Двина	IV	900	108	1.3	1.9	26	25	25
Мезень	II	0	24.4	8.5	1.8	24	30	35
Онега	I	0	15.4	2.8	1.8	25	10	5

поселком Лапоминка и островами Кошка – Скандия. Повышение содержания тяжелых металлов, нефтяных углеводородов и биогенных элементов также наблюдается в воде в протоке Кузнечика, в районе сброса сточных вод Соломбальского ЦБК (реки Хатарица).

Из рек, впадающих в Горло, некоторый вклад в загрязнение акватории вносит река Золотица. Кроме того, на Золотицком участке Горла Белого моря площадью 760 км<sup>2</sup> планируются масштабные горные работы по добычи алмазов (до 5 млн. м<sup>3</sup>/год). В Горле Белого моря на траверзе реки Золотица отмечается повышенное содержание ТМ, как в районе бара, так и на глубинах 5-10 м, в зоне максимального влияния волнового прибоа. По результатам полигонных съемок отмечено незначительное загрязнение НУ придонных вод юго-западной части мелководья и около устья р. Золотица. Наблюдается небольшая площадная аномалия по содержанию в воде железа и марганца в прибрежном районе р. Золотица - м. Инцы (максимальное содержание этих элементов в водах Горла). Именно в этой части Горла в донных осадках наблюдалось значительное количество железомарганцевых конкреций и корок (Скибинский, Таптыгин, Брызгалов, 2000).

Акватория Унской губы территориально принадлежит Унскому биологическому заказнику. Основными источниками ее загрязнения являются п. Пертоминск, расположенный на выходе из губы, а также деревни Луда и Уна, расположенные в низовьях одноименных рек, впадающих в куттовую часть Унской губы. Следует отметить, что от вышеупомянутых деревень помимо хозяйственных стоков в водную среду поступают отходы с животноводческих ферм, расположенных в непосредственной близости от уреза воды, что влияет на концентрацию биогенных веществ, рН и т.д. Концентрация ТМ в губе определяется гидродинамикой вод и природными факторами.

## Литература

- Вернадский В.И.* Изб. сочинения. Т.5. Биосфера. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 85 с.
- Емельянов Е.М.* Важнейшие геохимические барьерные зоны в океане (на примере Атлантического океана). М.: Известия АН СССР. Геогр. серия. № 3. 1984. С. 39-53.
- Емельянов Е.М.* Геохимические барьеры и барьерные зоны и их роль в седиментогенезе// Геохимия осадочного процесса в Балтийском море. М.: Наука. 1986. С. 5-24.
- Емельянов Е.М.* Барьерные зоны в океане. Калининград: Изд-во «Янтарный сказ». 1998. 411 с.
- Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 528 с.
- Лисицын А.П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология, 1994. Том 34. № 5. С. 735-737.
- Малютин А.Н., Лапин И.А.* распределение растворенных форм металлов и органического вещества гумусовой природы в эстуарии р. Северная Двина – Двинская губа Белого моря // Водные ресурсы, 1991. №1 С. 73 -77.
- Перельман А.И.* Геохимия ландшафта М.: Изд-во «Астрель-2000». 1999. 763 с.
- Скибинский Л.Э.* Роль геохимических барьеров в переносе и накоплении загрязняющих веществ в устьевых и прибрежных биотопах Белого моря // VIII Региональная практическая конференция. Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск. 2001. С. 49-51.
- Скибинский Л.Э., Таптыгин М.Ю., Брызгалов В.В.* Гидрофизическая характеристика современного состояния биотопа Горла Белого моря // Сборник научных трудов посвященных 10-летию ИЭПС УрО РАН. Север: экология. / Под. ред. Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург, 2000. С. 128-145.
- Страхов Н.М.* Осадкообразование в Черном море // Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд. АН СССР, 1954. С. 81-136.
- Хорн Р.* Морская химия. М.: Мир, 1972. 399 с.