

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы

3.1. Оценка геоэкологического состояния морской среды Российской Арктики – Общая характеристика

Содержание

1. Введение.
 2. Источники поступления загрязняющих веществ и пути их миграции в морскую среду.
 - 2.1. Экзогенные источники
 - 2.1.1. Речной сток.
 - 2.1.2. Подземный сток.
 - 2.1.3. Прибрежная эрозия.
 - 2.1.4. Роль арктического морского льда в транспортировке терригенного материала
 - 2.1.5. Эоловый материал.
 - 2.2. Эндогенные источники.
 - 2.3. Акваполитехногенные источники.
 - 2.3.1. Морская транспортировка нефти.
 - 2.3.2. Океанические течения.
 - 2.3.3. Дампиг отходов.
 3. Геоэкологическое районирование арктического шельфа России.
 4. Современное состояние морских экосистем.
 - 4.1. Баренцево море.
 - 4.2. Белое море.
 - 4.3. Карское море.
 - 4.4. Море Лаптевых.
 - 4.5. Восточно-Сибирское море.
 - 4.6. Чукотское море
 5. Оценка устойчивости арктических морей России.
- СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список сокращений

ВМФ	Военно-морской флот
ГКМ	Газоконденсатное месторождение
ГХЦГ	Гексахлорциклогексана
ГЭС	Гидроэлектростанция
ДДД	Дихлордифенилдихлорэтан
ДДТ	Дихлордифенилтрихлорэтан
ДДЭ	Дихлордифенилдихлорэтилен
ЗВ	Загрязняющие вещества
ЗФИ	Земля Франца Иосифа
ИЗВ	Индекс загрязнения вод
НГМ	Нефтегазовое месторождение
НИС	Научно-исследовательское судно
НИП	Новоземельский испытательный полигон
НП	Нефтяные продукты
НУ	Нефтяные углеводороды
ПДВ	Предельно допустимые выбросы
ПАУ	Полициклические ароматические углеводороды
ПДК	Предельно допустимые концентрации
ПХБ	Полихлорбифенилы
ПХДД	Полихлордибензодиоксины
РАН	Российская академия наук
РОУ	Растворенный органический углерод
РЦ	Региональный центр
СОЗ	Стойкие органические загрязнители
СПАВ	Синтетические поверхностно-активные вещества
ТМ	Тяжелые металлы
УГМС	Управление гидрометслужбы
ХОС	Хлорорганические соединения
ХОП	Хлорорганические пестициды
SPASIBA	Scientific Program on Arctic and Siberium Aquatorium

1. Введение.

Две серьезные причины представляются особенно важными для выполнения в настоящее время всесторонней оценки геоэкологической ситуации морской среды Российской Арктики. Первая связана с все более широким освоением минеральных ресурсов (в первую очередь нефтяных, газовых и менее актуальных, на сегодняшний день, угольных месторождений), что при современном уровне технологий почти наверняка приведет, и уже приводит, к серьезному усилению антропогенного воздействия на внешнюю среду арктического бассейна.

Вторая причина – предсказываемое большинством аналитиков глобальное потепление климата, которое особенно рельефно проявится именно в высокоширотных областях планеты.

Имеющиеся данные позволяют, в общих чертах, оценить геоэкологическую ситуацию в региональном масштабе с эколого-геохимических позиций. Наиболее важные работы по оценке геоэкологического состояния арктического шельфа выполнены специалистами ВНИИОкеангеологии (г. Санкт-Петербург) (Гуревич, 1990, 1991; Иванов, 2002, Андреева и др., 2004) и Института океанологии (Айбулатов, 1993, 2000, 2005; Gordeev et al., 2006).

В основе оценки лежит анализ ведущих компонентов геологической среды: рельефа дна, литологии, геохимии современных донных осадков, водной и донной биоты.

2. Источники поступления загрязняющих веществ и пути их миграции в морскую среду.

Все ЗВ, формирующие загрязнение морских акваторий, можно разделить на две большие группы: природные вещества, которые являются

неотъемлемой составляющей всех природных объектов, и компоненты и соединения искусственного происхождения.

К первой группе относятся тяжелые металлы, нефтяные углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, естественные радионуклиды. Эти природные вещества могут быть отнесены к ЗВ только в тех случаях, когда уровень их накопления в среде начинает приводить к негативным последствиям для экосистем.

Вторая группа объединяет стойкие органические загрязнители, такие как хлорорганические соединения (пестициды, полихлорбифенилы, полихлордибензодиоксины и др.), фенолы, ПАУ, искусственные радионуклиды и т.д.

Выделяются три типа основных источников поступления ЗВ в морские арктические акватории (Иванов, 2002): 1) экзогенные источники – речной сток, эоловый снос, волновая абразия, ледниковый, ледовый и айсберговый разносы; 2) эндогенные источники – вещества, поступающие из недр Земли – например, вынос из осадочной толщи нефтяных углеводородов, потоки метана, выходы газогидратов и т.д.; 3) акваполитехногенные источники – дамлинг отходов, транспортировка НП и токсичных веществ по морю, разработка морских месторождений, система глобальных течений.

2.1. Экзогенные источники

2.1.1. Речной сток

Важнейшим экзогенным источником осадочного материала, и в том числе ЗВ, в морскую среду Арктики является речной сток (Таблица 1).

По последним данным, общий водный сток всех рек Российской Арктики в океан составляет 2932 км³/г (Gordeev, Rachold, 2003). Реки собирают свои воды, несущие растворенные и

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

взвешенные вещества, с огромной водосборной площади – почти 13 млн. км², расположенной в различных

климатических зонах. Общий вынос твердого (взвешенного) материала

Таблица 1. Характеристики основных рек Российской Арктики (Михайлов, 1997; Gordeev et al., 1996; Holmes et al., 2002)

Река	Длина реки км	Площадь водосбора 10 ³ км ²	Площадь дельты км ²	Длина дельты км	Водный сток км ³ /год	Осадочная нагрузка 10 ⁶ т/год	Солевая нагрузка 10 ⁶ /год	Длина проникновения, км		
								Приливы	Штормовые нагоны	Морская вода
С. Двина	744	357	900	45	110	4.1	22.0	135	135	45
Кола	83	3.85	0	0	1.46	1.9	-	-	-	-
Тулома	64	21.5	0	0	7.63	-	-	-	-	-
Печора	1810	322	3200	120	130	8.5	-	190	160	10
Обь	3650	2990	3200	144	402	13.0	54.0	50	350	0
Енисей	3490	2580	4500	196	597	13.0/4.9*	70.0	445	870	-
Хатанга	1636	364	0	0	105	5.2	6.3	227	-	-
Лена	4400	2448	32000	175	523	20.7	55.0	-	-	-
Яна	872	238	6600	140	33.1	4.2	1.5	30	70	60
Индигоирка	1726	360	5000	130	53.9	11.9	11.0	24	200	-
Колыма	2130	647	3200	120	119	12.1	-	185	185	-

*Первая цифра- до строительства Красноярской ГЭС в 1965г, вторая – после строительства.

составляет 103,2 млн.т/г. Среднегодовая мутность рек Российской Арктики – 36 мг/л очень низкая (например, средняя мутность самой крупной реки Канадской Арктики Макензи – 168 мг/л), а среднеглобальная мутность речных вод составляет около 500 мг/л (Гордеев, 1983).

С речными водами в Арктический океан выносятся около 19,4 млн. т растворенного органического углерода, 3,8 млн. т взвешенного и 25,7 млн. т валового (растворенного плюс взвешенного) органического углерода.

Все приведенные значения представляют собой так называемый общий (валовый) вынос материала реками в океан (gross flux). При этом необходимо учитывать, что седиментационные и биогеохимические процессы, происходящие в зоне смешения речных и морских вод, приводят к кардинальным изменениям как количественного, так и качественного состава речного осадочного материала на пути от континента в открытую часть океана. По нашим оценкам (Гордеев, 1983; Лисицын, 1994), в переходной зоне река-море и на шельфе (т.н.

маргинальный фильтр) осаждаются и выбывает из дальнейшего оборота до 90-95% твердого речного осадочного материала и до 20-40% растворенных веществ. Таким образом, реально открытого океана достигают значительно меньшие объемы речного осадочного материала – это так называемый чистый вынос (net flux).

2.1.2. Подземный сток

Подземный сток остается до сегодняшнего дня одним из наиболее слабо изученных источников поступления терригенного материала в океан. Оценки, основанные на подсчетах стока подземных вод с учетом модулей подземного стока (карта Куделина, 1975), показали, что объем стока подземных вод меняется от максимум 38,5% от речного стока в бассейне Печоры до минимум 3,6% в бассейне реки Таз, и в целом для Российской Арктики этот процент снижается с запада на восток от 14,7% в бассейне Баренцева и Белого морей до 6,8% в бассейне Чукотского моря, в среднем 10% (Гордеев и др., 1999). Общий вынос подземных вод в Арктику составляет 294 км³/г, для оценок выноса твердого материала данных в настоящее время недостаточно. В работе (Гордеев и др., 1999) были выполнены подсчеты выноса растворенной органики и биогенных элементов при допущении, что их концентрации в подземных водах были наиболее приближены к концентрациям в речных водах в период зимней межени, когда питание рек происходит преимущественно за счет подземных вод. Оценки показали, что вынос растворенного органического углерода с российской территории в океан с подземными водами составляет около 1,9 млн. т/г (или 9,8% от речного стока).

2.1.3. Прибрежная эрозия

До последнего времени прибрежная эрозия в бюджете осадочного материала в арктическом бассейне недооценивалась. Аре (Are, 1999) предположил, что объемы осадков, поставляемых реками и берегами моря Лаптевых по крайней мере одного порядка, а последние работы (Rachold et al., 2000) показали, что за счет прибрежной эрозии в море попадает в 2 раза больше, чем выносятся реками. Совсем иная ситуация в Канадской Арктике, где речной сток резко превалирует над разрушением берегов (Macdonald et al., 1998)

Методология количественных оценок объемов прибрежной эрозии и выноса в составе этого материала органики основывается на выполненных полевых измерениях скоростей отступления берегов, данных об их морфологии, анализе состава прибрежных осадков. Наиболее изученными являются Баренцево, Лаптевых и Восточно-Сибирское моря. Не вдаваясь в детали выполненных исследований, приведем существующие на сегодня материалы по потокам осадков за счет разрушения берегов и общего углерода в их составе (Таблица 2).

Из таблицы хорошо видно, что разрушение берегов в Российской Арктике идет высокими темпами (объем осадков при эрозии берегов в 4 раза превышает вынос осадков реками в океан). При этом наиболее проблемными являются прибрежные зоны Белого и Баренцева и особенно Чукотского морей.

Таблица 2. Поток твердого осадочного материала за счет прибрежной эрозии в сравнении с речным стоком (Романкевич, Ветров, 2001; Grigoriev et al., 2003)

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Море	А) Поток осадков за счет эрозии (10 ⁶ т/г)	В) Речной сток (10 ⁶ т/г)	А/В, %	Поток общего органического углерода за счет эрозии (10 ⁶ т/г)
Белое	60	~17,9	~15	0,3
Баренцево	59			0,5
Карское	109	30,9	28,3	1
Лаптевых	58,4	28,6	50	1,8
Восточно-Сибирское	66,5	25,15	37,8	2,2
Чукотское	70	0,7	1	0,8
Всего	422,9	103,2	24,6	6,6

2.1.4. Роль арктического морского льда в транспортировке терригенного материала

Роль морского льда в транспорте осадков и ЗВ в настоящее время оценена слабо. Накопленные за последние двадцать лет данные свидетельствуют, что захват осадочного материала льдами (концентрация взвеси в морском льду от десятков до сотен мг/л, тогда как в подледной морской воде это десятые доли мг/л, редко более высокие концентрации) это обычное явление на широком мелководном шельфе Евразии (Reimnitz et al., 1994; Eicken et al., 2000).

Освобождаемые при таянии льдов осадки оседают на дно и составляют основную фракцию голоценовых осадков на дне Арктического океана и Гренландского моря (Pfirman et al., 1990; Eicken et al., 2000). Имеющиеся на сегодня оценки экспорта однолетнего морского льда в открытую Арктику и выносимого в составе этого льда осадочного материала и общего (растворенного плюс взвешенного) органического углерода представлены в Таблице 3 (Eicken, 2003).

В соответствии с этими оценками льды ежегодно выносят в океан около 14 млн. т взвеси, что в сравнении с речным выносом (103,2 млн. т) и эрозией берегов (422,9 млн. т) кажется

не столь весомым вкладом в процесс седиментации. Однако, если учесть осаждение до 90% и более речной взвеси на барьере река-море и на шельфе, то чистый речной сток взвеси (около 5-10 млн. т/год) несколько уступает потоку осадков в составе льдов.

Таким образом, сопоставление вышеперечисленных источников осадочного материала показывает, что размыв берегов почти на два порядка превышает чистый речной сток и ледовый перенос. На сегодня, однако, нет никаких оценок объемов осадков при эрозии берегов, задерживаемых в прибрежной зоне.

2.1.5. Эоловый материал

Обобщение выполненных работ по изучению аэрозолей в приземном слое морей Российской Арктики (Расуна, 1991; Barrie, 1996; Schevchenko et al., 2000). (Таблица 4) показывает, что в целом за год на поверхность морей Российской Арктики выпадает из атмосферы около 2,9 млн. т твердого вещества, что в 2-3 раза ниже чистого твердого речного стока и в 3-7 раз ниже, чем ледовый транспорт.

Таблица 3. Потоки морского льда, осадочного материала и растворенного органического углерода в составе льда в Северном ледовитом океане (Eicken, 2003)

Море	Объем морского льда км ³ /г	Средняя концентрация осадочного материала во льду, мг/л	Поток ледовой взвеси, 10 ⁶ т/г	Поток общего органического углерода, 10 ³ т/г
Баренцево	35	10	0,018	4,06
Карское	240	100	2,4	48
Лаптевых	670	150	10	267
Восточно-Сибирское	150	100	1,5	25
Чукотское	10	10	0,005	1,00
Всего	1105	126	13,93	345

Таблица 4. Эоловый вынос осадочного материала и взвешенного органического углерода в Арктический океан (Shevchenko, Lisitzin, 2003)

Море	Площадь, 10 ⁶ км ²	Поток осадочного материала 10 ³ т/г	Поток общего органического углерода 10 ³ т/г
Баренцево	1,512	904	273
Лартевых	0,498	298	90
Карское	0,926	553	167
Восточно-Сибирское	0,987	589	178
Чукотское	0,62	371	112
Бофорта	0,178	106	32
Центральная Арктика	4,489	2,68	809
Вся Арктика	9,541	5,695	1,720

Представленные данные относятся к сухим выпадениям эолового материала на морскую поверхность. Поток эолового материала в Арктике оказываются в диапазоне 0,03-1,68

мг/м²·день, в среднем 0,39 мг/м²·день или 142 мг/м²·год.

Все большее внимание привлекают попытки оценить влияние антропогенной деятельности в

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

атмосфере Арктики. Показано, что вклад Азии, Европы и Северной Америки в общем содержании антропогенных элементов в арктической атмосфере делятся в пропорции 60:30:10 соответственно (Виноградова, 1993, 2005).

Отмечается сезонный характер изменчивости аэрозоля. Особенно значительна роль антропогенных источников в составе аэрозолей в зимне-осенний период, когда арктический фронт расположен намного южнее, чем летом. Воздушные арктические массы находятся в это время не только над приполярными районами, но и над большей частью покрытых снегом Евразии и Северной Америки, что способствует поступлению ЗВ из промышленных центров в Арктику.

Важное значение имеет перенос по воздуху диоксида серы, выпадение кислотных дождей. Средняя концентрация диоксида серы в атмосфере над океаном составляет 0,1-0,2 мгк/м³, достигая 3 мгк/м³ (Израэль 1989),.

Для открытых морских районов атмосферный перенос является основным каналом поступления на поверхность моря тяжелых металлов и может составлять до 50% их общего потока (Израэль и др., 1985).

Сопоставление с речным стоком показывает, что если основная масса Fe, Mn, Ni, Co, Cr поступает в океан с речным стоком, то для таких металлов как Pb, Hg, Cd, Zn и Cu атмосферный поток в 2-35 раз превышает речной сток в океан.

Дальний атмосферный перенос является важным путем переноса и углеводородов нефтяного происхождения (Израэль, 1989). Атмосферное поступление нефтяных углеводородов (НУ) в Мировой океан составляет около 6х10⁵ т/год, при этом поток нефти из естественных

источников оказывается на порядок ниже, чем из антропогенных.

2.2. Эндогенные источники.

Данные по эндогенным источникам природных и антропогенных веществ в арктических морях, как уже подчеркивалось, очень ограничены и фрагментарны.

В ходе комплексных геоэкологических исследований в Печорском море и районе Штокмановского газо-конденсатного месторождения (ГКМ) в 1993 г. (Иванов и др., 1994) были выявлены структуры в осадочном чехле, которые позволили сделать предположение об эндогенном подтоке вещества из донных осадков в морскую толщу.

Работы по высокочастотному сейсмоакустическому профилированию в Печорском море показали нарушение структуры осадочного чехла в центральной части профиля, что позволило предположить подток вещества из осадочной толщи. Проведенные детальные органо-геохимические исследования показали аномальный характер распределения n-алканов в донных осадках моря, указывающий на диффузию НУ из нижележащих толщ в воду (Петрова, Иванов, 1995). Эти данные были позднее подтверждены работами НИС «Академик Сергей Вавилов» (1998).

Сейсмоакустические исследования на Русановском ГКМ в Карском море показали наличие многочисленных зон с аномальной структурой сейсмозаписей, приуроченных к субвертикальным зонам деструкции в покрывающих нефтегазовых залежах (Мельников, Спесивцев, 1995).

Дополнительным источником, который можно рассматривать как «эндогенный», являются потоки метана (разрушение газогидратов), а также просачивание НУ из материнских пород.

На Штокмановском ГКМ были обнаружены холмы изометрической формы и воронки диаметром до 180 м и

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

высотой бортов до 10 м, что можно рассматривать как «воронки проседания», наличие которых часто отмечается при подготовке мест заложения разведочных и эксплуатационных скважин.

Органо-геохимические исследования на разведочной скважине Штокмановского ГКМ показали повышенные концентрации ПАУ, что, скорее всего, связано с подтоком газовой-жидких флюидов из нижележащих толщ (Иванов, 2002).

В 1996 г. в экспедиции НИС «Профессор Логачев» на глубине 1250 м в Норвежском море были закартированы выходы на поверхность дна газогидратов площадью около 1 км² (Vogt et al., 1997). Детальные исследования подтвердили эндогенный характер первичного глубинного флюида типа «нефтяных вод» (Лейн и др., 1997).

Данные об эндогенном подтоке в придонную морскую воду НУ, ПАУ, ТМ позволяют предположить, что в результате вышеописанных процессов в морскую воду со дна могут поступать значительные объемы эндогенного вещества.

2.3. Акваполитехногенные источники.

2.3.1. Морская транспортировка нефти

Из всех ЗВ, связанных с данным типом источников, наиболее существенное значение имеет загрязнение Северного ледовитого океана нефтью и нефтепродуктами, что связано с возрастающей добычей нефти в морских акваториях, ее транспортировкой и использованием в качестве топлива смазочных масел и химических продуктов. Особенно значительны эксплуатационные сбросы с судов, составляющие до 50% от всех поступлений нефти в морскую среду.

Все более активное освоение нефтяных месторождений, особенно в

Баренцевом и Карском морях, существенно увеличит поступление НУ в море, как в процессе эксплуатации месторождений, так и при транспортировке нефти. С транспортировкой нефти связаны и ее разливы, приобретающие иногда катастрофический характер.

Сценарий заражения вод нефтепродуктами в Баренцевом море, скорее всего, будет аналогичен ситуации в районе о. Колгуев, где по результатам десятилетних наблюдений наблюдается резкое увеличение площади распространения нефтяной пленки на поверхности моря (Айбулатов, 1993).

2.3.2. Океанические течения

Дополнительным источником нефтепродуктов в Баренцевом море можно рассматривать систему Гольфстрима. По некоторым оценкам (Симонов и др., 1974) водами этого течения переносится до 1-1,5 млн. т нефтепродуктов в год! Насыщаясь НУ у берегов Северной Америки и Северной Европы, струи системы Гольфстрима разгружаются в Норвежском и Баренцевом морях (Иванов, 2002).

При сравнительно однородном распределении растворенных и эмульгированных НУ в поверхностном слое вод Баренцева моря (0,05-1,15 мг/л), своих максимальных концентраций в воде (0,4 мг/л) нефтепродукты достигают в юго-восточной части моря.

Некоторые исследователи полагают, что негативные последствия загрязнений в большей степени связаны с активной циркуляцией в морской воде ПАУ, чем с обычным нефтяным загрязнением. Последствия такого загрязнения (накопление ПАУ в поверхностном слое вод, морской биоте, донных отложениях) проявляются не только в накоплении этих соединений в организмах гидробионтов, но и в увеличении частоты патологий у морских организмов.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Другая группа опасных для морской биоты ЗВ – хлорорганические соединения. Хотя главную роль в поставке этих ЗВ в Арктику играет атмосферный перенос, не исключено их дополнительное поступление с океаническими течениями. Высокохлорированные ПХБ были обнаружены в океане японскими исследователями даже на глубине до 4000м, что связывается с биоаккумуляцией и последующей биогенной седиментацией (Иванов, 2006).

Более высокие концентрации некоторых тяжелых металлов, в частности Cd, в водах Атлантики по сравнению с водами открытой части Арктики, создают условия для переноса больших объемов металлов системой Гольфстрима в Арктику (АМАП, 1997).

Доказана важная роль Гольфстрима в поставке в Арктику искусственных радионуклидов, о чем пойдет речь в следующем разделе.

2.3.3. Дампинг отходов

Страны, имеющие выход к морю, нередко используют морские акватории для захоронения промышленных отходов, взрывчатых и химических веществ, радиоактивных отходов, сброса сточных вод, грунта, изъятых при дноуглубительных работах и т.д. Особую опасность для морской среды представляют радиоактивные отходы. Наиболее известный пример – дампинг радиоактивных отходов в Северной Атлантике. Крупный завод по переработке отработанного ядерного топлива в Селлафилде, северо-западное побережье Англии, начал сбрасывать жидкие радиоактивные отходы в Ирландское море еще в 1952 г., а завод в Ла Хагуа на севере Франции в Английский канал в 1966 г. Уже более полувека идет дампинг в море. Особенно большие количества расщепленных и активных продуктов, таких как ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu и др., сбрасывались в воды Ирландского моря в 70-х годах прошлого столетия.

Зараженные радионуклидами в Ирландском море водные массы достигают Баренцева моря через 5-7 лет.

В 1994 г. был запущен завод в Селлафилде по удалению из отходов многих радионуклидов (Enhanced Actinide Removal Plant), однако для такого радионуклида как технеций-99 это удаление оказалось малоэффективным.

В результате, в середине 90-х годов наблюдался мощный пик в сбросах технеция-99 в Селлафилде. В Ла Хагуа в 1990 г. вошел в строй новый завод, что привело к увеличению на порядок сбросов йода-129. Оба радионуклида очень долгоживущие и хорошо растворимы в воде.

Весной-летом 1997 г. на северном побережье Норвегии был зафиксирован пик технеция-99 в морских водорослях. Повышенный уровень технеция-99 был также зафиксирован в южной части Баренцева моря.

Хотя на сегодняшний день уровень радионуклидов в водах и донных отложениях Белого, Баренцева и Карского морей ниже пороговых величин, систематический мониторинг совершенно необходим, поскольку до последнего времени нет достоверных данных о биологическом воздействии малых доз на биоту и человека.

3. Геоэкологическое районирование арктического шельфа России.

Вероятность накопления ЗВ в разных районах шельфа морей Российской Арктики с литологических позиций определяется особенностями гранулометрического и минерального состава современных донных отложений и их сорбционными свойствами. (Андреева, Зинченко и др., 2004).

Движение потоков осадочного материала вдоль морского дна контролируется течениями и рельефом дна. Это движение может быть сквозным

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

или оказаться прерванным, временно или окончательно (Ласточкин, 1995).

Районы, в которых движение осадочных потоков прерывается (геоморфологические «ловушки»), представляют с экологической точки зрения особый интерес, поскольку в них накапливается материал природного и антропогенного происхождения.

Анализ типов и характер распределения геоморфологических систем позволил выделить на

арктическом шельфе три основные провинции (Рис. 1): приматериковую, внутришельфовую и окраинно-шельфовую (Ландшафтно-экологические исследования, 2000).

Приматериковая провинция тесно связана обменом вещества с прилегающей сушей. В ней в основном обеспечиваются условия для сквозного переноса вещества нисходящими потоками. Накопление ЗВ здесь может

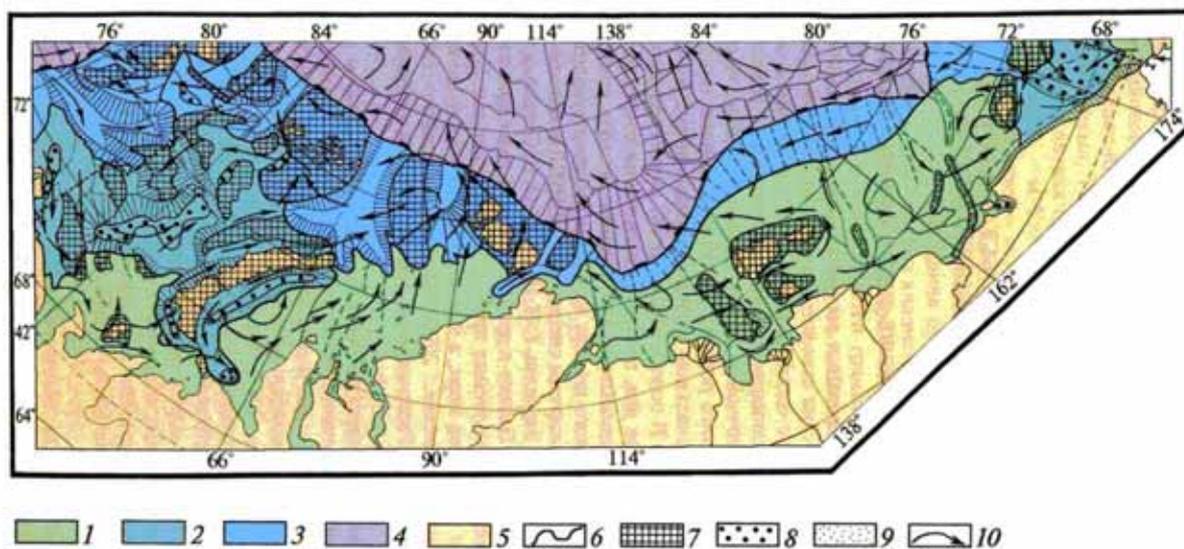


Рис.1 Морфолитодинамические условия накопления загрязняющих веществ на арктическом шельфе России. (Андреева и др., 2004)

1-4- морфолитодинамические провинции (1- приматериковая, 2- внутришельфовая, 3- окраинно-шельфовая, 4- океаническая); 5- суша; 6- границы провинций; 7- основные области сноса (на шельфе); 8- основные геоморфологические «ловушки» первого рода; 9- основные геоморфологические «ловушки» второго рода; 10- основные направления поверхностных течений.

происходить в небольших по размерам «ловушках», или временных депоцентрах, откуда впоследствии возможно возобновление миграции в глубоководную часть моря.

Во внутришельфовой провинции, для которой характерны крупные замкнутые геоморфосистемы, создаются более благоприятные условия для устойчивого накопления в них ЗВ,

поступающих сюда из сопредельных провинций и местных источников сноса.

В окраинно-шельфовой провинции замкнутые геоморфологические системы отсутствуют, здесь условия благоприятны для транзита осадков, как в сторону океана, так и в сторону берегов. Данная провинция тянется вдоль всей бровки арктического шельфа, тогда как две другие

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

провинции пространственно ограничены.

Как уже подчеркивалось, степень накопления ЗВ в донных осадках зависит от их сорбционной емкости. Она возрастает при увеличении доли тонкой пелитовой фракции, состоящей преимущественно из глинистых минералов смектита и каолинита, в присутствии органогенного материала: аморфного кремнезема, органики, а также ракушнякавых и обломочных карбонатных осадков.

По способности к ассимиляции ЗВ все многообразие берегов арктических морей можно разделить на четыре группы (Андреева и др., 2002):

- 1) дельтовые и лагунные берега – с высокой ассимиляционной емкостью;
- 2) малоизмененные морем бухтовые берега, аккумулятивные берега, созданные волновыми процессами, а также осушенные – со средней емкостью;
- 3) абразионно-аккумулятивные, абразионные отмершие – с низкой емкостью;
- 4) малоизмененные морем сбросовые ровные,

абразионные, термоабразионные, абразионно-денудационные, ледяные – с очень низкой ассимиляционной емкостью.

Геоэкологическое районирование арктического шельфа России было выполнено по морфодинамическим и литогеохимическим показателям (Андреева и др., 1999; *Ландшафтно-экологические исследования*, 2000; Андреева и др., 2002). Для этой цели авторами была разработана прогнозная схема распределения литологических типов осадков, благоприятных и неблагоприятных для накопления ЗВ.

Итоговая оценка геоэкологической ситуации представлена на рис. 2. Вероятность образования скоплений ЗВ на шельфе неодинакова. Например, на восточно-арктическом шельфе она очень низка, тогда как на западно-арктическом шельфе условия образования крупных скоплений ЗВ более благоприятны.

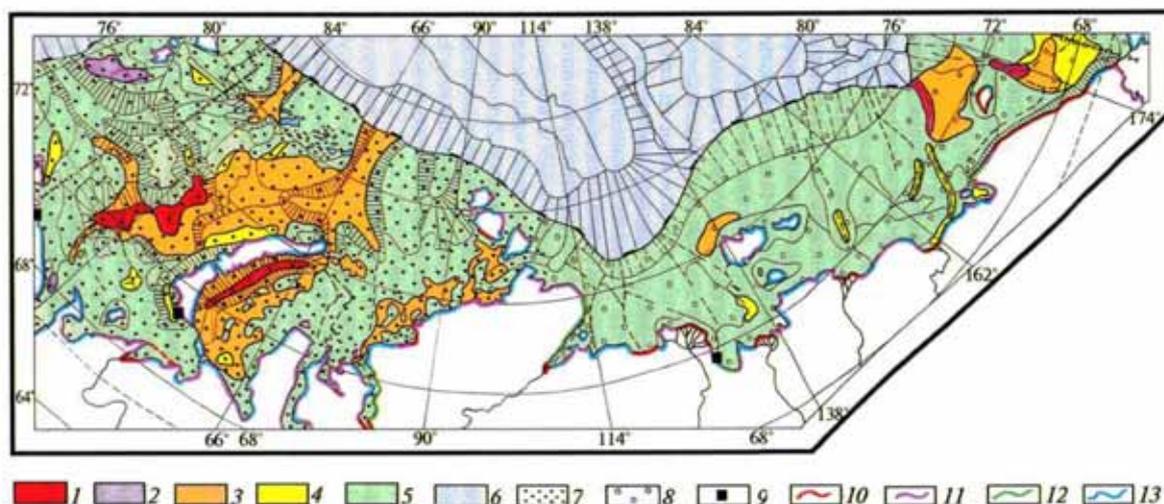


Рис.2 Геоэкологическое районирование арктического шельфа России. (Андреева и др., 2004)

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

1-5- геоэкологические классы районов (1- I, 2-II, 3- III, 4- IV, 5- V); 6- океанические области (за пределами района исследований); 7- площади шельфа со слабо нарушенной геологической средой; 8- площади шельфа с ненарушенной геологической средой; 9- районы с кризисным состоянием геологической среды; 10-13- геоэкологические классы морских берегов (10-I, 11- II, 12- III, 13- IV).

Выделено 5 классов геоэкологических районов:

Класс 1. Наличие «ловушек», преобладание пелитовых фракций в осадках с присутствием сорбирующих компонентов – каолинита, смектита, аморфного кремнезема. Осадки обладают высокой сорбционной емкостью и вероятностью накопления ЗВ очень высокая.

К классу 1 относятся Центральная котловина Баренцева моря, Восточно-Новоземельский желоб в Карском море, северный отрезок палеодолины Колымы и район Южно-Чукотской котловины, прилегающий к верховьям желоба Геральда в Чукотском море.

Класс 2. «Ловушки» отсутствуют, преобладают крупные фракции в осадках – пески и алевриты, из сорбирующих компонентов присутствуют ракушняки и карбонаты, сорбционная емкость осадков очень большая и вероятность накопления ЗВ высокая. Такие районы имеют локальное распространение в Баренцевом море и приурочены к основным потокам атлантических вод (накопление радионуклидов).

Класс 3. Отсутствие «ловушек», гранулометрический состав осадков неоднородный – пески, алевриты, пелиты, присутствуют глинистые минералы и аморфный кремнезем с большой сорбционной емкостью. Вероятность образования высокой концентрации ЗВ средняя.

К этому классу относятся восточная часть Центральной котловины Баренцева моря, желоба Демидова, Альбанова, Франц-Виктории и Св. Анны, Новоземельская и Северо-Восточная возвышенность, в Карском

море – склоны Восточно-Новоземельского желоба, большая часть Западно-Карской ступени и южная часть Таймырской.

Далее на восток - районы на границе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского к северу от поднятия Анжу, Южно-Чукотская впадина и Колымско-Врангелевская равнина на границе с Восточно-Сибирским морем.

Класс 4. Области с низкой вероятностью образования значительных устойчивых скоплений ЗВ, хотя и характеризуются наличием «ловушек». Однако, осадки (алевриты, пелиты) имеют малую сорбционную емкость.

В Баренцевом море, где встречаются почти все классы геоэкологических районов, к классу 4 относятся Нордкапская впадина, верховья Гусиного и Южно- и Западно-Новоземельского желобов. В Карском море это Югорская впадина, на востоке – часть Усть-Янской низменности, серия подводных долин и Чаунская Губа и восточная половина Южно-Чукотской впадины.

Класс 5. Геоморфологические «ловушки» отсутствуют, донные осадки имеют очень низкую сорбционную емкость. К этому классу относится большая часть арктического шельфа с очень низкой вероятностью образования крупных устойчивых скоплений ЗВ.

Предлагается следующая градация площадей арктического шельфа по степени техногенного воздействия на геологическую среду:

-Ненарушенная среда – восточно-арктический шельф (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское);

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

-Слабо нарушенная среда – западно-арктический шельф (Баренцево и Карское моря).

Отдельно выделяются локальные участки с кризисной обстановкой, к которым относятся Кольский залив, губа Черная на Новой Земле, бухта Тикси в море Лаптевых.

4. Современное состояние морских экосистем.

Цель данного раздела дать фактическую картину современного состояния морских экосистем морей Российской Арктики на основе данных, публикуемых в обзорах загрязнения природной среды в РФ (Росгидромет), литературных источниках и результатах собственных исследований. Наиболее полные данные имеются для Баренцева и Белого морей.

4.1. Баренцево море

Регулярные наблюдения за качеством морских вод Баренцева моря (особенно Кольского и Мотовского заливов) проводит Мурманское УГМС (Обзор загрязнений..., 2001, 2004), Печорского моря РЦ «Мониторинг Арктики», широкомасштабные работы выполняются ММБИ (г. Мурманск) и ВНИИОкеангеология (г. Санкт-Петербург). Обобщению исследований в море с 1991 по 1999 гг. с позиций геоэкологии посвящена монография Г.И. Иванова (2002).

Нефтяные углеводороды (НУ)

Среднее содержание НУ в придонном слое вод в середине 90-х годов составляло ($n=327$) 0,18 мкг/л при вариациях от 0,00 до 13,00 мкг/л (Таблица 5). На 65% станций зафиксированы концентрации ниже порога обнаружения аналитического метода. Только на трех участках – западном, юго-восточном и северо-восточном – отмечены повышенные концентрации НУ (рис. 3). На западном участке зафиксированы концентрации НУ в диапазоне 0,6-5,0 мкг/л.

Увеличение до 5,0 мкг/л характерно для участка Медвежинского желоба, через который в Баренцево море внедряются атлантические воды. Повышение концентраций НУ до 4,7 мкг/л на юго-восточном участке приурочено к горлу Белого моря и южной прибрежной части Печорского моря. Считается (Иванов, 2002), что это связано с поступлением НУ из Белого моря и стоком рек, дренирующих Тимано-Печорскую нефтегазовую провинцию, и с диффузией НУ со дна в районе Приразломного НМ.

Северо-восточный участок самый небольшой по площади, однако, именно там измерена наибольшая концентрация НУ – 13 мкг/л. Однозначного объяснения этот факт пока не имеет, вероятно, аномалия связана с антициклоническим вихрем, недавно обнаруженным в этом районе. В целом, загрязнение придонных вод моря незначительно (нигде не превышен ПДК=50 мкг/л).

Таблица 5. Статистические параметры распределения концентраций загрязняющих веществ в придонном слое воды Баренцева моря

Элемент	X	min	max	Ед. изм	ПДК
Zn	1.1	0.0	22.2	мкг/.л	5
Fe	0.8	0.1	31.6	мкг/.л	50
Sn	0.02	0.0	0.7	мкг/.л	
Mn	0.3	0.0	2.0	мкг/.л	50
Ni	0.04	0.0	0.9	мкг/.л	10
Cu	0.1	0.0	3.4	мкг/.л	5
Cd	0.02	0.0	0.3	мкг/.л	1
Pb	0.3	0.0	4.0	мкг/.л	10
Co	0.01	0.0	0.1	мкг/.л	
Фенол	5.3	0.0	50.0	мкг/.л	100

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Элемент	X	min	max	Ед. изм	ПДК
Нефтяные углеводороды	0.18	0.0	13.0	мкг/.л	50
ПАУ	0.24	0.0	0.59	мкг/.л	
NO ₂	2.0	0.5	21.3	мкг/.л	
NO ₃	70.1	5.6	240	мкг/.л	
SiO ₂	42	5	132	мкг/.л	
СПАВ	0.46	0.0	63.8	мкг/.л	100
альфа-ГХЦГ	0.4	0.0	1.9	нг/л	10
гамма-ГХЦГ	0.2	0.0	0.7	нг/л	10
ДДЕ	0.05	0.0	0.1	нг/л	
ДДД	0.06	0.0	0.3	нг/л	
ДДТ	0.07	0.0	0.2	нг/л	
ПХБ	0.2	0.0	40	нг/л	
pH	8.43	8.29	8.62		
O ₂	7.74	6.37	9.97	мг/л	
PO ₄	12.8	3.1	25.3	мкг/.л	
P	16.2	6.0	30.1	мкг/.л	

Таблица 6. Статистические параметры распределения концентраций загрязняющих веществ в донных осадках Баренцева моря

Элемент/Соединение	X	min	max	Ед. изм.
Zn	86	4	154	ppm
Fe	4.3	0.3	8.8	%
Co	23	2	57	ppm
Ni	42	3	92	ppm
Cu	89	5	216	ppm
Cd	6	0	20	ppm
Pb	26	4	89	ppm
⁴⁰ K	350	227	459	бк/кг
Бета-излучение	0.703	0.45	1.038	имп./сек

Элемент/Соединение	X	min	max	Ед. изм.
¹³⁷ Cs	2.8	1.9	5.8	бк/кг
²²⁸ Th	15	11	30	бк/кг
²²⁶ Ra	9	5	21	бк/кг
альфа-ГХЦГ	0.1	0	1.9	нг/г
гамма-ГХЦГ	0.1	0	1.3	нг/г
ДДЕ	0.02	0	1.3	нг/г
ДДД	0.03	0	34.5	нг/г
ПХБ	0.3	0	380	нг/г
NO ₂	0.04	0	0.48	ppm
NO ₃	0.35	0.07	4.68	ppm
PO ₄	0.44	0.05	6.0	ppm
Робщ.	0.57	0.07	6.84	ppm
Фенол	0.2	0	8.8	ppm
Нефтяные	676	202	2176	ppm
ПАУ	0.04	0	0.41	ppm
Hg	0.025	< 0.004	0.59	ppm

Содержания НУ в донных осадках моря варьируют в широких пределах – от 202 до 2176 мкг/г, составляя в среднем 676 мкг/г (Таблица 6). Выделяется две зоны высоких содержаний в донных осадках – северная и центральная (рис. 4). Северная приурочена к прибрежным участкам архипелагов Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа и глубоководной части моря между ними. Высокие содержания НУ – до 1300-1800 мкг/г связаны с разрывом и переотложением углистых осадочных формаций обоих архипелагов.

Причин высоких содержаний НУ на центральном участке может быть, по крайней мере, две. Первая – разнос углистых частиц из акватории бухты Белужья (порт Новоземельского Испытательного Полигона – НИП), дно которого покрыто слоем угля. Вторая – поступление НУ со дна за счет трещинной струйной миграции и диффузионного потока. Аналогичные процессы фиксировались в Печорском

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

море (Мельников и др., 1995), на Штокмановском ГКМ (Петрова и др., 1998) и Русановском НГМ в Карском море (Иванов, 2002).

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

Концентрации ПАУ в придонном слое вод моря (по 278 пробам) меняются от 0,00 до 0,67 мкг/л, в среднем 0,24 мкг/л. Распределение ПАУ в придонной воде моря (рис. 5) достаточно сложное, что указывает на многообразие источников поступления и

факторов, контролирующих перенос и накопление ПАУ

Наиболее высокие концентрации обнаружены в северной, северо-западной и северо-восточной частях моря, в особенности в прибрежных районах архипелагов Шпицберген, ЗФИ и Новая Земля. Возможные причины – влияние Нордкапской ветви Гольстрима, береговой сток, а также размыв углесодержащих осадочных пород дна.

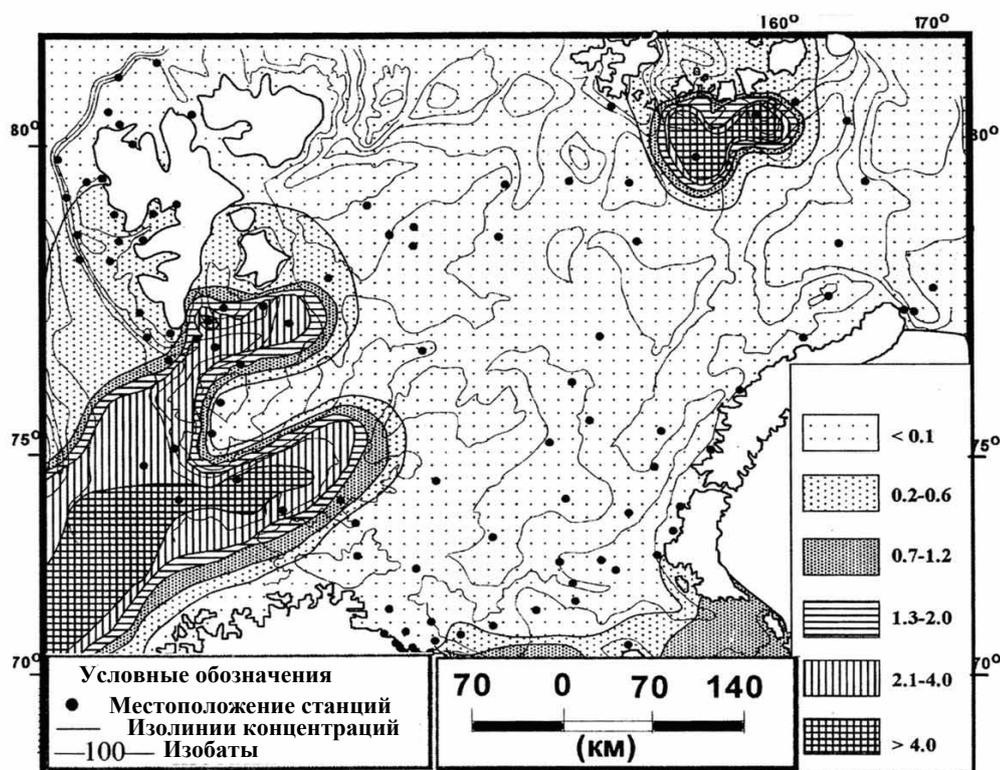


Рис.3 Карта распределения ПАУ (в мкг/л) в придонном слое воды Баренцева моря.

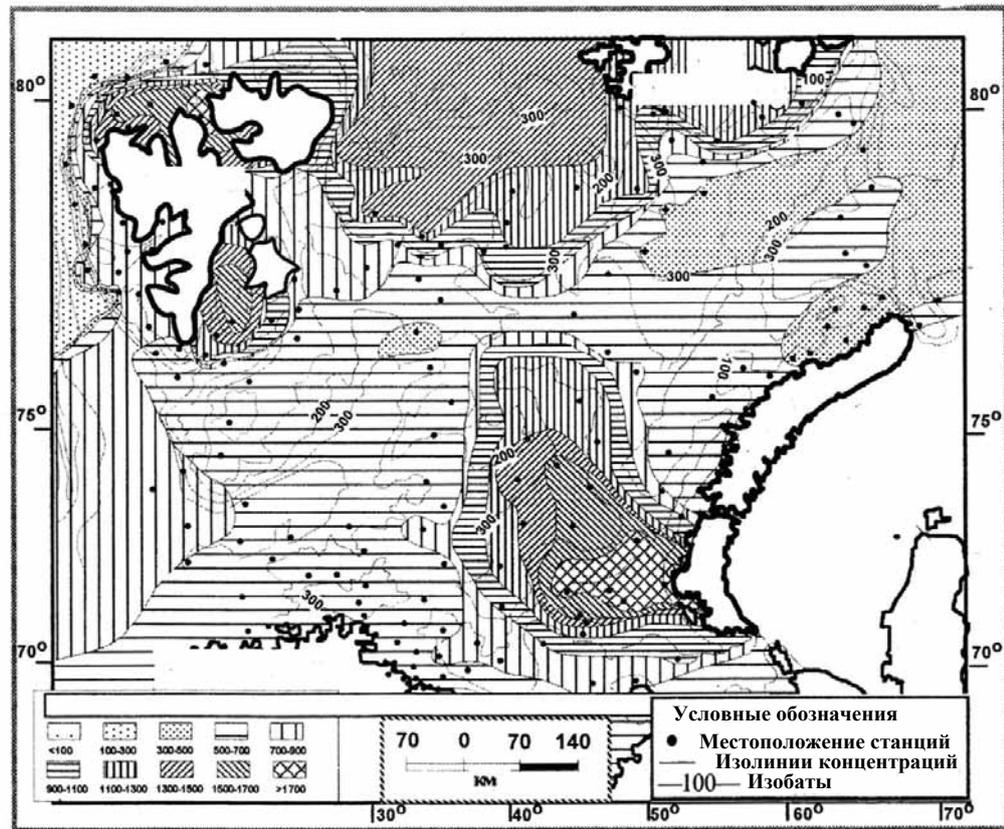


Рис.4. Карта распределения ПАУ (в мкг/г) в поверхностных донных осадках Баренцева моря.

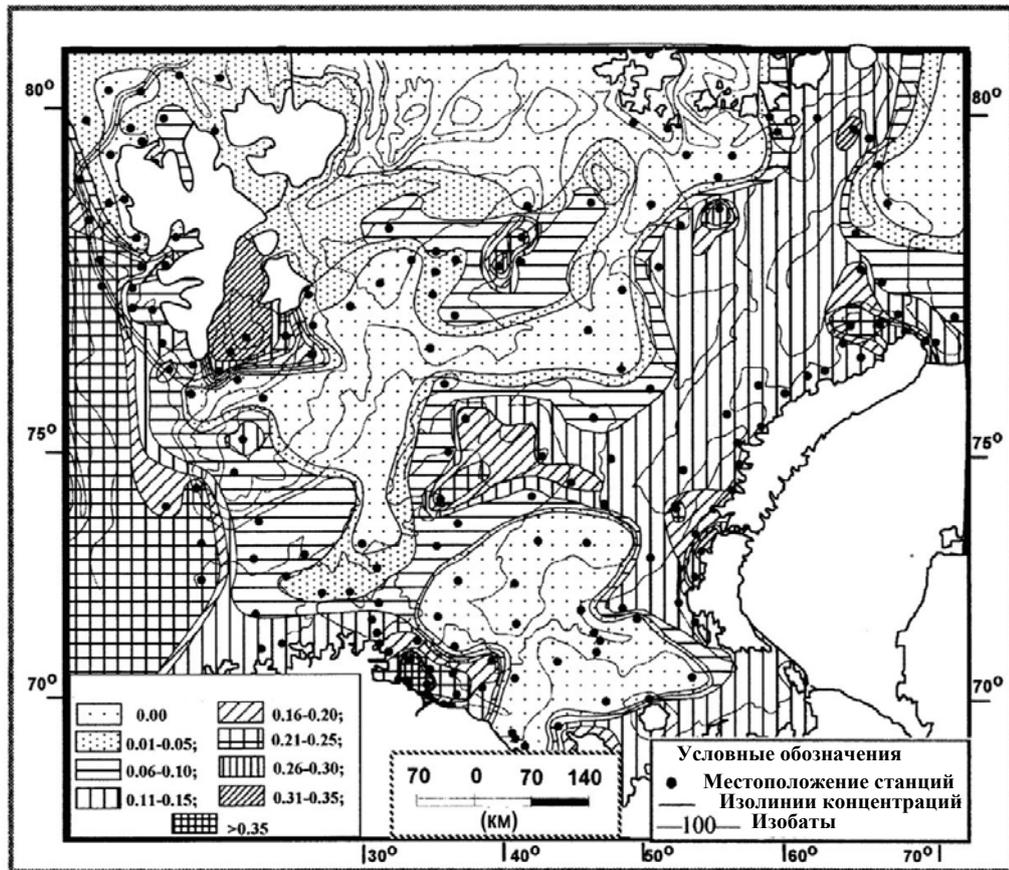


Рис.5 Карта распределения ПАУ (в мкг/л) в придонном слое воды Баренцева моря.

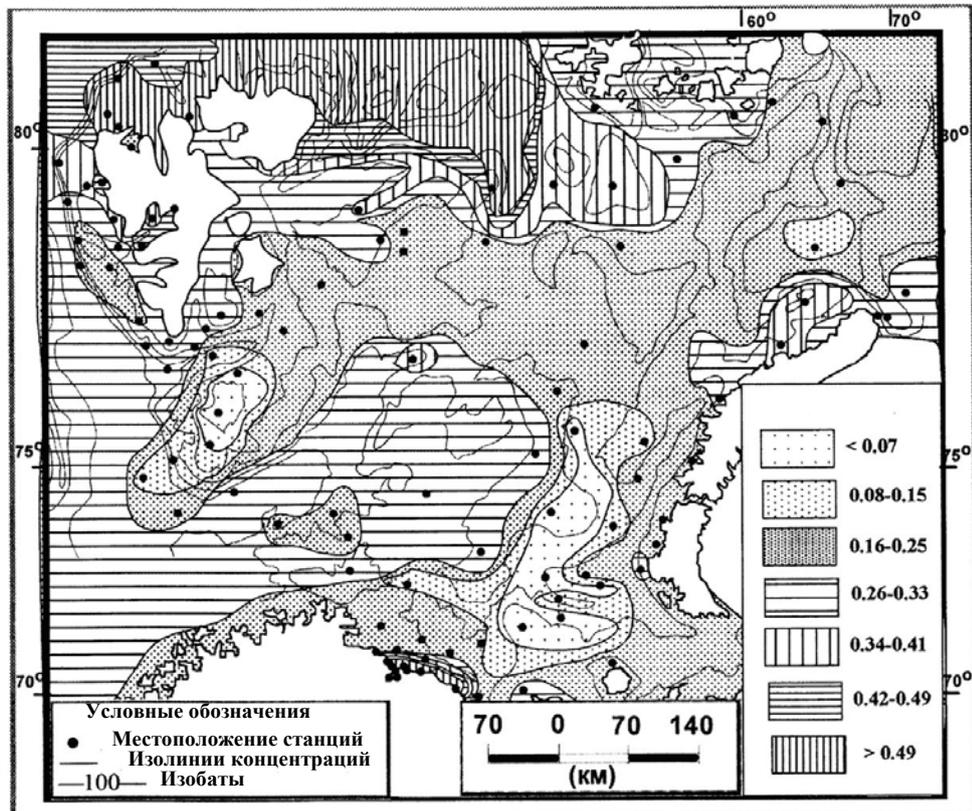


Рис.6. Карта распределения ПАУ (в мкг/г) в поверхностном слое донных осадков Баренцева моря

Содержания ПАУ в донных осадках (рис. 6) относительно невелики, в среднем 0,11 мкг/г. Например, в Северном море это 0,48 мкг/г. Резко повышены значения ПАУ в районе Штокмановского ГКМ – до 1,61 мкг/г и в Губе Черной – до 1,29 мкг/г. Накопление ПАУ в районе Штокмановского ГКМ, скорее всего,

Фенолы

Концентрация фенолов в придонной воде (n=334) колеблется в пределах от 0,00 до более 50 мкг/л, в среднем 5,3 мкг/л. Выделяются западная и восточная зоны высоких концентраций (рис.7). На западе, вероятнее всего, главным источником фенолов являются атлантические воды, на востоке предполагается вынос из Горла Белого моря. Отмечаются также повышенные концентрации в районе Кольского залива (залив будет далее рассмотрен отдельно). В донных осадках суммарное содержание фенолов составляет 0,0-8,8, в среднем 0,2 мкг/г (n=597). В 51% случаев фиксировались нулевые значения (рис. 8). Участок самых высоких содержаний расположен в центре моря. Здесь источником фенолов в осадках, являются продукты разрушения фито- и зообентоса (Иванова, 2002), возможен также подток из нижележащих нефтегазовых структур. Высокие значения (до 4 мкг/г) характерны для Кольского залива и прилегающей зоны. Скорее всего, это отражение техногенного пресса Мурманского промкомплекса и ВМФ

Несколько повышены содержания фенолов в прибрежной зоне Шпицбергена и ЗФИ, что вероятно связано с глобальными выпадениями на их территории и последующим сносом в море.

Хлорорганические соединения (ХОС)

Исследовалось содержание в придонной воде и донных отложениях группы ХОС: α и γ -изомеров

связано с подтоком газовой-жидких флюидов из нижележащих толщ, а в осадках Губы Черной – с ядерными испытаниями на Новой Земле. В целом отмечается широтная зональность распределения ПАУ. К северу от о. Колгуев прослеживается влияние атлантических вод на поставку ПАУ в придонные слои Печорского моря. гексахлорциклогексана (α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ), пестицидов – ДДТ, ДДД и ДДЭ и полихлорбифенилов. Данные по воде представлены в таблице 5, в осадках – в таблице 6.

Из данных следует, что в придонной воде моря средние концентрации всех видов ХОС значительно ниже ПДК. Более того, в большинстве случаев фиксировались значения ниже порога обнаружения методов – от 11-12% для ГХЦГ до 98% для ДДЭ.

Приведем в качестве примера распределение в ПХБ в донных осадках (рис.9). Юго-западный участок повышенных концентраций ПХБ соответствует распространению атлантических вод, вероятно транспортирующих ЗВ из промышленно развитых стран Европы.

Повышенные значения отмечаются в прибрежной зоне Кольского полуострова и горле Белого моря, где вероятно объединяются два потока ЗВ из Кольского залива и Белого моря. Новоземельский участок обусловлен, по-видимому, ядерными испытаниями и деятельностью ВМФ. Участок к северу от мыса Желания прямо связан со свалкой военных отходов.

Несколько повышенные концентрации вблизи Шпицбергена и ЗФИ можно объяснить таянием ледовых и снежных покровов архипелагов, загрязненных за счет атмосферных выпадений.

Средние концентрации α -ГХЦГ и γ -ГХЦГ составляют 0,4 и 0,2 нг/л

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

соответственно, максимальные измеренные значения – 1,9 и 0,7 нг/л.

Минимальные концентрации α -ГХЦГ приурочены к центральной глубоководной зоне, повышенные

приурочены к прибрежным зонам Шпицбергена, Новой Земли, Кольского залива. Причины те же – сток с архипелагов и влияние стоков промзоны Мурманска. Характер распределения γ -ГХЦГ близок к вышеописанному.

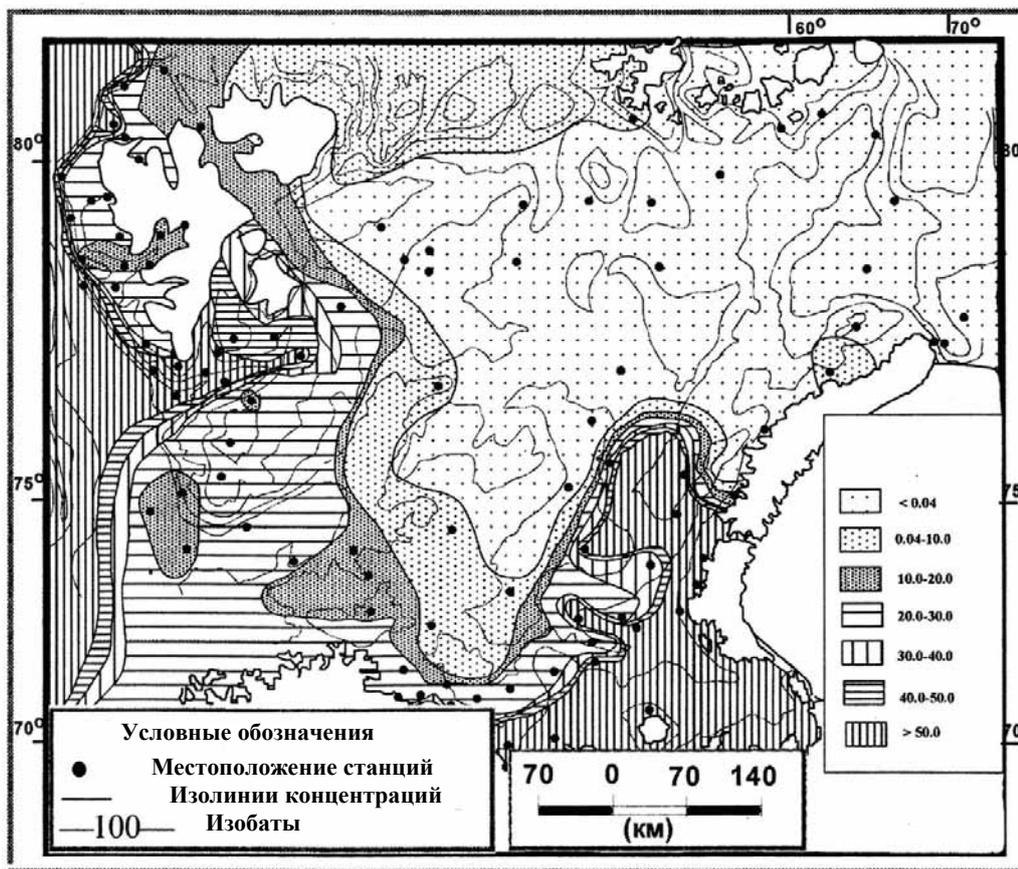


Рис.7. Карта распределения фенолов (в мкг/л) в придонном слое воды Баренцева моря.

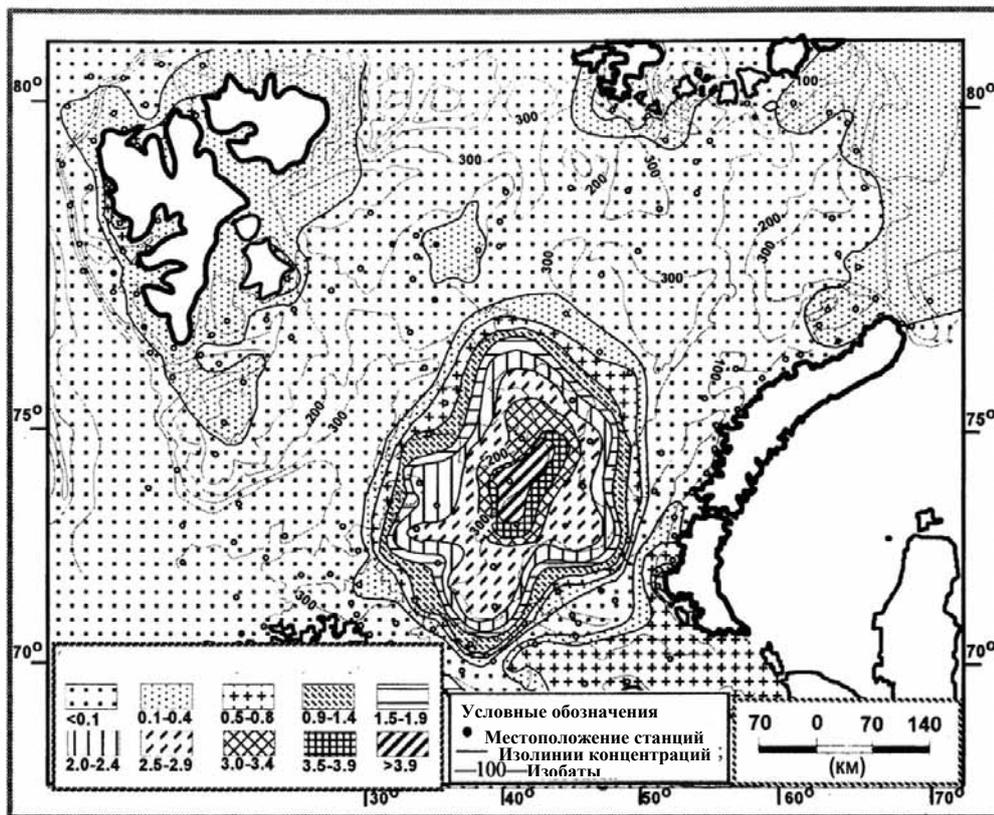


Рис.8. Карта распределения фенолов (в мкг/г) в поверхностном слое донных осадков Баренцева моря.

Пестицид ДДТ распределяется в придонной воде также как и ПХБ, участки их повышенных концентраций совпадают.

Средние содержания ХОС в донных осадках Баренцева моря также весьма низкие, от 40% определений для γ -ГХЦГ до 95% для ДДЭ оказываются ниже предела обнаружения метода. Относительно повышены содержания ПХБ в осадках прибрежных зон Шпицбергена, ЗФИ, Новой Земли. Осадки западной части Шпицбергена, вероятно, обогащены ПХБ за счет подтока с водами Гольфстрима и их последующей адсорбцией илами. Второй участок отмечается в Кольском заливе

(до 380 нг/г), прибрежной зоне Кольского полуострова, п. Лодейное (до 32,2 нг/г) и горле Белого моря (до 2,8 нг/г), где вероятно объединяются два потока ЗВ из Кольского залива и Белого моря.

Выделяются два участка у Новой Земли – южный примыкает к бухте, где проводились ядерные испытания, второй – на севере – является свалкой военных отходов.

Распределение в осадках пестицидов ДДТ, ДДЭ и ДДД в значительной мере близко к описанным зонам высоких содержаний ПХБ, потому здесь не приводятся.

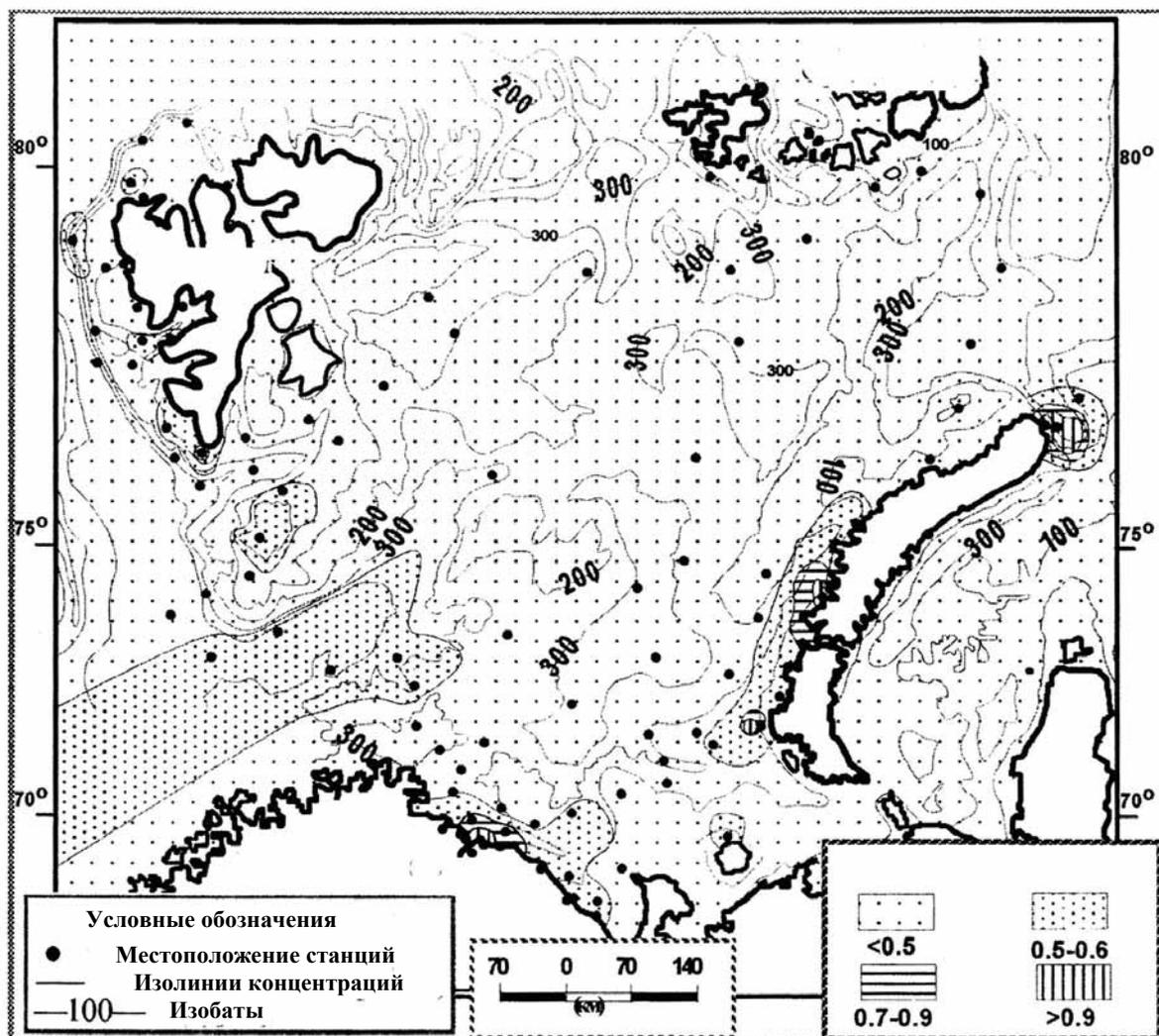


Рис.9. Карта распределения ПХБ (в нг/г) в поверхностном слое донных осадков Баренцева моря.

Тяжелые металлы

В течение 1991-1999 гг. было получено около 1000 проб придонной воды Баренцева моря (Иванов, 2002). Большая часть анализировалась на металлы по стандартным методикам Росгидромета (без разделения на растворенную и взвешенную фракции), в последние годы использовалась принятая у морских геохимиков методика раздельного определения растворенной и взвешенной форм, что дает намного больше полезной информации и в большей степени отвечает задачам экогеохимической

седиментации. Статистические параметры распределения Pb, Cu, Ni, Co, Zn, Mn и Fe и корреляционная матрица приведены в таблице 7.

Если учесть, что ПДК для Cu=1 мкг/л, для Pb=6 мкг/л, Zn, Ni, Co, Mn=10 мкг/л и Fe=100 мкг/л, то совершенно ясно, что ни по одному из металлов концентрации в придонных водах Баренцева моря к ПДК даже не приближаются. Только в нескольких случаях концентрация Cu была более 2 мкг/л (2ПДК), при средней концентрации 0,45 мкг/л, до 3,7 мкг/л достигала концентрация Mn в

центральной части моря и в Ист-фиорде и Варангер-фиорде (2,2-2,4 мкг/л). До 9-10 мкг/л доходили концентрации Zn и

Pb у архипелага ЗФИ и в Кольском заливе.

Таблица 7. Статистические параметры распределения и корреляционная матрица содержаний тяжелых металлов в придонном слое воды Баренцева моря

	Pb	Cu	Ni	Co	Zn	Mn	Fe
Кол-во обр.	104	103	104	104	104	104	102
Минимум	0.075	0.050	0.005	0.001	0.030	0.025	0.001
Максимум	1.300	1.200	0.810	0.050	5.800	2.700	8.900
Среднее	0.442	0.453	0.378	0.009	1.452	0.543	1.653
Станд. откл.	0.229	0.282	0.164	0.010	1.204	0.373	1.211
Коеф. вар.	0.519	0.623	0.435	1.100	0.829	0.687	0.733
Pb	1.00						
Cu	0.34	1.00					
Ni	0.05	-0.06	1.00				
Co	0.13	0.19	0.01	1.00			
Zn	0.36	0.20	0.12	0.01	1.00		
Mn	-0.01	0.11	0.08	0.13	-0.03	1.00	
Fe	0.21	0.00	0.27	0.05	0.17	0.51	1.00
Глубина моря	-0.19	-0.09	-0.06	-0.09	-0.21	-0.08	-0.24
Глубина набл.	-0.19	-0.09	-0.06	-0.09	-0.21	-0.08	-0.24
Температура	0.22	0.25	0.13	0.18	0.30	-0.19	-0.01
Соленость	-0.23	-0.23	-0.11	-0.14	-0.22	-0.07	-0.27
Коеф. ос. света	0.07	-0.11	0.03	0.00	-0.11	0.18	0.19
Плотность	-0.25	-0.30	-0.16	-0.18	-0.26	0.02	0.11

Также никаких заметных аномалий взвешенной формы металлов в придонных водах моря отмечено не было. Для Ni, Pb, Zn, Cu и Mn растворенная форма преобладает над взвешенной (на 63-95%), и только для Co (38%) и Fe (13%) картина обратная.

Таким образом, можно утверждать, что степень загрязнения придонных вод ТМ не велика. Наиболее загрязненными являются Кольский залив и прилегающая зона, Ист-фиорд и прибрежная зона Шпицбергена, а также отдельные участки вдольбереговой зоны ЗФИ и Новой Земли. Фиксируется влияние более соленых, относительно теплых атлантических вод на уровень концентраций ТМ в придонных водах Баренцева моря.

Поскольку нормативные показатели загрязнения донных осадков морей тяжелыми металлами в настоящее время отсутствуют, то проводилось сравнение с содержаниями ТМ в донных

осадках фоновых и антропогенно измененных акваторий:

Сравнение показало, что по всем металлам, кроме Cd, осадки Баренцева моря могут быть отнесены к фоновым. Содержания Cd, меняющиеся от 0 до 20 мкг/г, в среднем 6 мкг/г превышают фоновый уровень на порядок. Причины этого факта автор (Иванов, 2002) не объясняет.

Радиоактивное заражение

Представленные в «Обзоре загрязнения...» (2004) данные о концентрации ⁹⁰Sr в воде морей России, включая Баренцево и Белое моря, за период с 1996 по 2003 г. колебалась в пределах от 1,8 до максимум 28 мБк/л в 1998г., постепенно снижаясь год от года. В 2003 г. среднегодовая удельная активность в поверхностных водах Баренцева моря составляла 3,6 мБк/л. Подробный обзор радиоактивного загрязнения водной толщи морей Российской Арктики представлен в

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

книге Н.А. Айбулатова (2000) по состоянию на конец 90-х годов. Основной вывод – общий уровень радиоактивной загрязненности морей вод Арктики, кроме нескольких локальных регионов, в настоящее время мало отличается от фонового. Загрязненность вод Баренцева, а также Белого, Карского и моря Лаптевых связана с местными источниками и с деятельностью западноевропейских заводов.

Анализ динамики ^{137}Cs в толще морских вод Арктики показал, что после значительного пика в 1962 г., связанного с испытаниями ядерного оружия в атмосфере на Новой Земле, имеет место четкая тенденция к снижению уровня активности этого радионуклида.

Более детальные данные имеются по распределению радионуклидов в донных осадках Баренцева моря (Таблица 6). Средние значения ^{137}Cs очень низкие, концентрации ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra зависят от состава донных отложений и сопоставимы с фоновыми значениями для арктического шельфа. Распределение ^{137}Cs в донных осадках моря показаны на рис. 10. На общем низком фоне выделяется несколько зон повышенных активностей. Самая обширная зона в прибрежной части Шпицбергена связана с миграцией атлантических вод, зараженных радионуклидами Селлафилда и Ла Хагуа. Самые высокие значения активности ^{137}Cs отмечены в осадках Ист-Фьорда (36 Бк/кг). Другая зона примыкает к Новой Земле. Причина – близость НИП и зон захоронения радиоактивных отходов. Небольшие по площади участки повышенных значений наблюдаются в прибрежной зоне Кольского полуострова и в центральной части моря. Загрязненность прибрежной части Кольского полуострова – результат деятельности ВМФ и гражданского флота с ядерными энергетическими установками, центральной части моря – результат

взаимодействия загрязненных вод и донных осадков, богатых органикой и имеющих высокую сорбционную емкость.

Штокмановское ГКМ

Это газоконденсатное месторождение относится к крупнейшим на планете. С началом его освоения оно становится важнейшим объектом комплексного использования, что приведет к усилению техногенного стресса на морскую среду. Отличительной особенностью придонных вод Штокмановской структуры по сравнению с водами Баренцева моря (Иванов, Грамберг, Крюков, 1997) является их относительная обогащенность нефтяными углеводородами и ПАУ, с одной стороны, и обедненность фенолами, с другой.

Концентрации НУ в донных осадках полигона ниже, чем в осадках Баренцева моря. Однако содержания ПАУ в осадках полигона существенно превышают таковые для баренцевоморских осадков.

Вероятно, мигрирующие из нижележащих залежей легкие углеводороды извлекают из осадков ПАУ и переносят их на границу вода-осадок, где они частично накапливаются, а частично переходят в водную среду, где концентрации ПАУ также повышены. В осадках, в отличие от придонных вод, повышены и содержания фенолов.

Загрязнение хлорорганикой практически отсутствует. Для большинства тяжелых металлов в воде Штокмановского ГКМ наблюдается статистически значимое повышение концентраций по сравнению с водами открытого океана – для Fe в 40 раз, Zn в 8, Mn в 4 и Cr в 3,5 раза. Существенные различия отмечаются и при сопоставлении вод Баренцева моря с океанскими.

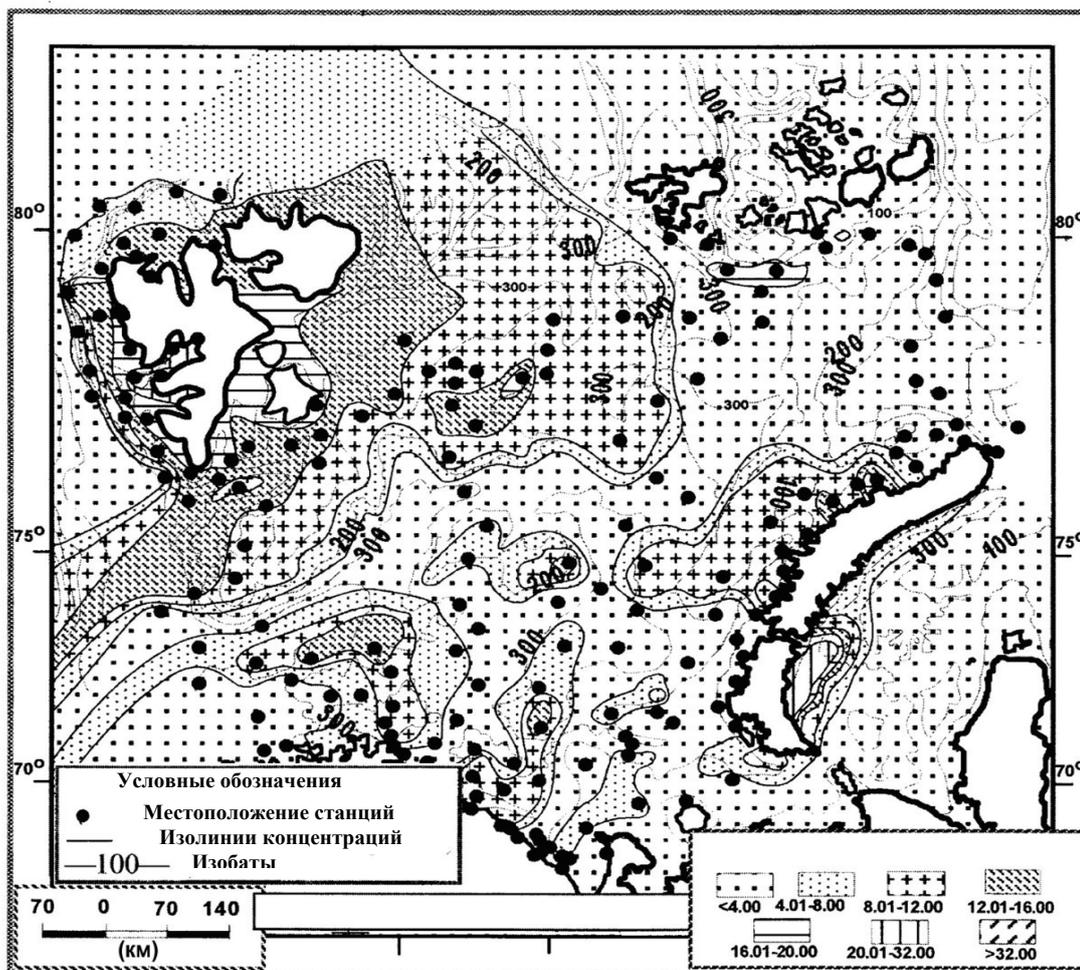


Рис.10. Карта распределения цезия-137 (в Бк/кг) в поверхностном слое донных осадков Баренцева моря.

Сравнение баренцевоморских вод с водами Штокмановского полигона показывает более высокие концентрации Fe, Zn и Mn и более низкие Ni, Pb и Co на полигоне. Поверхностные и придонные воды полигона практически не отличаются по уровню концентрации ТМ, кроме Pb, которого больше на поверхности.

Таким образом, анализ статистических данных показал, что содержания ЗВ в воде, взвеси и донных осадках Штокмановского ГКМ подвержены реальной природной изменчивости на сравнительно небольшом участке и доминирующее влияние на их изменчивость оказывают гидрологические характеристики водной

толщи и потоки газового флюида из подстилающих донных отложений.

Состояние природной среды Штокмановского полигона достаточно благополучное (Иванов и др., 1995). Биологические исследования не выявили каких-либо заметных изменений как видового разнообразия бентоса, так и их размерно-весовых и трофических характеристик (Кийко, Иванов, Погребов, 1995).

Кольский и Мотовский заливы

Ниже приведены материалы наблюдений Мурманского УГМК, проводившихся с 2001 по 2003 гг.. Исследовались биогенные элементы, НУ, фенолы, СПАВ, ТМ (Cu, Ni, Mn, Pb, Hg, Cr, V, Fe). Качество вод оценивалось по ИЗВ – индексу загрязненности вод.

Комплексная оценка представлена в Таблице 8 (Обзор ..., 2004).

Таблица 8. Оценка качества вод прибрежных районов Баренцева моря по ИЗВ

Район моря	ИЗВ			тенденция	Среднее содержание ЗВ		
	2001	2002	2003		в 2003 г., ПДК		
Кольский залив							
Южное колено	2,02	2,05	0,78	↓	НУ-1,2, СПАВ<1, фенолы<1		
Среднее колено	1,45	1,50	0,56	↓	НУ-0,8, СПАВ<1, фенолы-3		
Северное колено	1,20	0,80	0,47	↓	НУ-1,2, СПАВ<1, фенолы<1		
Мотовский залив	-	0,27	0,37	↑	НУ<1	-	-

По ИЗВ качество вод в 2003 г. в южном колене Кольского залива оценивается как «умеренно загрязненные» III класса (0,78), воды среднего колена оцениваются II классом, «чистые» (0,56), воды северного колена – II классом, «чистые» (0,47).

Донные отложения залива загрязнены по всем показателям. Содержания НУ доходили в южном колене до 4,6 мг/г, в ср. 3,03 мг/г, в среднем и северном колене несколько ниже – 0,96 и 0,98 мг/г соответственно.

Концентрации фенолов изменялись от 0,00 до 5,4 мкг/г в южном, в ср. 1,9, до 6,2 мкг/г в северном колене. Показательно изменяется содержание ТМ в осадках залива с юга на север: Cu – 165-100-38 мкг/г, Ni – 307-40-34, Pb – 64-28,7-32,7, Mn – 349-243-234, Cr – 374-134-159, Hg – 0,48-0,44-0,20. Отчетливо видно снижение уровня содержаний от наиболее загрязненных осадков южного колена на север (сравните с данными Таблицы 6 – для осадков Баренцева моря). Также достаточно высоки содержания ТМ в осадках Мотовского залива (средние значения): Cu – 57,5, Ni – 32,6, Mn – 233, Pb – 50,3, Cr – 166 мкг/г. Содержание НУ в осадках залива

менялось от 0,07 до 0,13 мг/г (в Кольском заливе, напомним, доходили до 1-4,6 мг/г).

4.2. Белое море

Северное управление УГМС проводит наблюдения за состоянием вод Белого моря, в первую очередь Двинского и Кандалакшского заливов как наиболее подверженных техногенным загрязнениям. Основными источниками загрязнения моря являются реки, выносимые в море сточные воды городов, поселков и предприятий. В 2000 г. в море поступило 4260,2 т нефтепродуктов, 62,4 т фенолов, 8,7 т детергентов. Высоких и экстремально высоких уровней загрязненности вод Двинского залива в августе и октябре 2000 г. не наблюдалось.

Двинский залив

Данные о концентрациях ЗВ в заливе в 2000 и 2003 гг. представлены в Таблице 9. Видно, что кислородный режим мало меняется год от года и находится в приемлемом состоянии. Концентрации нефтепродуктов, нитритов, разных видов ХОП, как правило, ниже ПДК, только в единичных случаях имеет место превышение ПДК по нефтепродуктам (не более чем в 1,5-2,0 раза).

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Комплексные биогеохимические исследования Белого моря, проводимые Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН ежегодно в разные сезоны с 2001 г., показывают, что речные воды бассейна обогащены в силу природных причин органикой, железом и марганцем. Изучались, помимо речных и морских вод, взвесь, донные осадки, снег, лед, лишайники и мхи. Концентрации Cu, Ni превышали ПДК в воде лишь в единичных случаях. Съемка донных осадков всех рукавов устьевой части Северной Двины и Двинского залива 2005 г. показала, что только в правом Мурманском рукаве реки было зафиксировано незначительное техногенное загрязнение донных осадков Cu, Zn, иногда Pb, Ni и Cr, а также нефтепродуктами в зоне расположения нефтеналивной базы.

Кандалакшский залив

В 2000 г. в Кандалакшский залив было сброшено более 13 млн.м³ сточных вод, с которыми поступило 114 т органических веществ, 126 т взвешенных веществ, 3,1 т НУ и другие ЗВ.

Таблица 9. Концентрации основных ЗВ в воде Двинского залива в 2000 и 2003 гг.

Гидрохимический параметр / тип ЗВ	2000 г.	2003 г.
Растворенный кислород, мл/л	7,48-11,71, ср. 9,78 (насыщение 75-108 %)	8,71-10,82, ср. 9,60
Нефтепродукты, мг/л	0,01-0,04, max 0,06 (1,2 ПДК)	ср. 0,01, max 0,08 (1,6 ПДК)
Нитриты, мкг/л	0,7-12,4, ср. 2,5(< 1 ПДК)	-
ХОП, мг/л:		
α - ГХЦГ	ср. 0,2, max 0,4	ср. 0,4

γ- ГХЦГ	ср. 0,4, max 0,5	ср. 0,3
ДДТ	0	0

В целом состояние вод залива в период до и после проведения дноуглубительных работ оставалось стабильным и соответствовало среднесезонным характеристикам (Табл.10).

По тяжелым металлам отмечалось превышение ПДК как в 2000 г., так и в 2003 г., особенно по Fe, Cu и Ni.

Качество вод Кандалакшского залива по комплексному индексу загрязненности (ИЗВ) в 2002 и 2003 гг. (ИЗВ=0,87) соответствовало III классу и воды относились к «умеренно-загрязненным» (в 2001г ИЗВ= 0,30-«чистые»).

Грунты залива, как отмечается в «Обзоре загрязнения...» (2001), в кутовой его части загрязнены НУ, фенолами и металлами в результате воздействия сбросов предприятий и населенных пунктов.

Таблица 10. Оценка качества вод Кандалакшского залива Белого моря в 2001-2003 гг. по комплексному индексу загрязненности вод (ИЗВ).

Район моря	ИЗВ			Среднее содержание ЗВ в 2003г., ПДК
	2001	2002	2003	
Кандалакшский залив	0,30	0,87	0,87	НУ-0,2; Cu-1,5; Fe-4,5

4.3. Карское море

Наблюдения за экологическим состоянием среды морей Российской Арктики, в том числе и Карского моря, регулярно проводит РЦ «Мониторинг Арктики». В 2000 г. региональный центр провел исследования в Байдарацкой Губе Карского моря, а в 2003 г. в

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Енисейском заливе (Результаты что ИЗВ=0,91 – воды «умеренно-показаны в Табл. 11). загрязненные».

Комплексная оценка качества вод Байдарацкой губы в 2000 г. показала,

Таблица 11. Основные гидрохимические показатели и концентрации ЗВ в воде Байдарацкой Губы (2000 г.) и Енисейского залива (2003 г.)

Гидрохимический параметр / тип ЗВ	Байдарацкая губа, 2000 г.	Енисейский залив, 2003г.
Растворенный кислород, мл/л	норма	ср. 9,33 (93-112% насыщения)
NO ₃ , мкг/л	–	ср. 181
NO ₂ , мкг/л	–	< 0,5
PO ₄ , мкг/л	–	18
Нефтепродукты, мкг/л	ср. 30 (0,64 ПДК)	ср. 35,3 (0,7 ПДК)
ПАУ (нг/л):		
нафталин	–	11,8
2-метилнафталин	–	5,6
флуорен	–	3,6
фенантрен	–	4,8
флуорантен	–	2,0
пирен	–	0,9
бенз(о)флуорантен	–	0,28
Σ ПАУ	–	28,9
ХОП (нг/л):	–	
Σ ДДТ	–	0,41
Σ ДДД	–	0,14
Σ ДДЭ	–	0,21
α – ГХЦГ	–	0,75
γ – ГХЦГ	–	0,89
Σ ПХБ	(0,69 ПДК)	3,11 (0,3 ПДК)
Fe, мкг/л	–	42,5
Mn	–	7,3

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Гидрохимический параметр / тип ЗВ	Байдарацкая губа, 2000 г.	Енисейский залив, 2003г.
Zn	14,4 (1,4 ПДК)	1,85
Cu	0,6	0,8
Ni	0,7	0,76
Pb	-	0,76
Cd	0,15	0,14
Cr	-	1,61
Sn	-	0,17
Фенолы, мкг/л	ср. 1,4 (1,4 ПДК)	1,2 (1,2 ПДК)

Серия совместных российско-германских экспедиций на научно-исследовательских судах РАН с 1993, 1997, 1999, 2000, 2001-2004 гг., позволила получить богатый материал о состоянии воды, взвеси, планктона, донных осадков Обской Губы, Енисейского залива и Центральной части Карского моря. Все материалы по органическому веществу, биогенным элементам, химическим элементам, включая ТМ, обобщены в работе (Gordeev et al, 2007). Обзор богатых материалов 7 крупных экспедиций за период 1993-2003 гг. показал, что по всем указанным параметрам экосистемы Обской губы и Енисейского залива находятся в практически антропогенно неизменном состоянии.

В течение нескольких лет также проводились измерения основных радионуклидов в воде и донных осадках обоих эстуариев (Stepanets et al., 2001, 2002 и др.). Авторы подчеркивают, что, например, концентрация ^{137}Cs в донных осадках Обской губы низкие. В Енисейском заливе, донные осадки которого характеризуются высокой фракцией частично окисленных глин с

высокой сорбирующей способностью, концентрации ^{137}Cs более высокие, достигающие 50 Бк/кг. Изучались также ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$.

Проведенные исследования указывают на то, что уровень концентрации радионуклидов в стоке рек Оби и Енисея и обоих эстуариях стабильно снижались все последние годы и находятся в настоящее время на фоновом уровне (Айбулатов, 2000).

4.4. Море Лаптевых

По данным РЦ «Мониторинг Арктики», в 2000 г. индекс загрязнения вод восточной части моря Лаптевых равнялся 1,37, что согласно принятой классификации качества морских вод воды моря Лаптевых можно оценить как «умеренно загрязненные». Фактические данные о концентрации ЗВ в водах моря представлены в Таблице 12.

В Хатанском заливе в 2000 г. ИЗВ=0,88 – «умеренно-загрязненные» воды. Относительно повышенные концентрации ЗВ отмечались в районе Ленского шельфа. В 20003 г. значение ИЗВ в Хатангском заливе осталось тем же – 0,88, концентрации НУ достигали

Таблица 12. Гидрохимические параметры и концентрации ЗВ в водах моря Лаптевых

Гидрохимический параметр / тип ЗВ	Восточная часть моря Лаптевых, 2000 г.	Хатангский залив, 2000 г.	Хатангский залив, 2003 г.
-----------------------------------	--	---------------------------	---------------------------

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Гидрохимический параметр / тип ЗВ	Восточная часть моря Лаптевых, 2000 г.	Хатангский залив, 2000 г.	Хатангский залив, 2003 г.
Растворенный кислород,	норма	норма	ср. 8,96
мл/л	-	-	(87-107% насыщения)
NO ₂ , мг/л	-	-	< 0,5
NO ₃ , мкг/л	-	-	122
N _{общий} , мкг/л	-	-	215
PO ₄ , мкг/л	-	-	13
P _{общий} , мкг/л	-	-	33
HУ, мкг/л	60 (1,15 ПДК)	40 (0,75 ПДК)	32,1 (0,64 ПДК)
ПАУ, нг/л:			
нафталин	-	-	11,4
2-метилнафталин	-	-	2,3
флуорен	-	-	2,0
фенантрен	-	-	6,2
антрацен	-	-	0,48
флуорантен	-	-	1,12
пирен	-	-	3,56
бенз(о)флуорантен	-	-	0,48
Σ ПАУ	-	-	20,9
Σ ДДТ	-	-	0,43
Σ ДДД	-	-	0,18
Σ ДДЭ	-	-	0,17
α-ГХЦГ	-	-	2,14
γ-ГХЦГ	-	-	3,25
Σ ПХБ			1,52 (ПДК 10)
Fe, мкг/л	-	-	3562
Mn	-	-	462
Zn	3	5	260
Cu	0,4	0,7	067
Ni	0,4	0,6	065
Co	-	-	0,07
Pb	-	-	0,69
Cd	0,1	0,12	0,11
Cr	-	-	0,18
Sn	-	-	0,12
Hg	-	-	< 0,01
Фенолы, мкг/л	2,2 ПДК	1,3 (1,3 ПДК)	0,89 (0,9 ПДК)
СПАУ, мкг/л	< 25	< 25	< 25

1,04 ПДК, фенолов – 1,8 ПДК, ХОС – 0,45 ПДК. Комплексные геохимические

исследования, выполненные в дельте Лены и море Лаптевых в 1989 и 1991

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

годах по программе SPASIBA, показали, что по ТМ воды Лены относились к наиболее чистым из вод крупных рек Мира, по некоторым ТМ – Cd, Pb, а также As к самым чистым. Анализ донных осадков дельты Лены и моря Лаптевых (Nolting et al., 1996) также показал отсутствие признаков техногенного загрязнения тяжелыми металлами.

Уровень концентраций радионуклидов в воде и донных осадках моря находится на уровне фона (Матишов и др., 1995; Айбулатов, 2000).

4.5. Восточно-Сибирское море

Данных о состоянии морской среды данной акватории очень мало. В 2002 г. исследования РЦ «Мониторинг Арктики» (Обзор..., 2001) показали, что по комплексной оценке качества вод моря ИЗВ=0,68, что согласно классификации они рассматривались как «чистые».

Средняя концентрация нефтепродуктов была на уровне 36 мкг/л (или 0,72 ПДК), фенолов – 0,7 ПДК, ХОС – 0,61 ПДК. Относительно повышенные концентрации ЗВ отмечались в средней части Восточно-Сибирского моря в районе устья реки Колымы. Концентрации тяжелых металлов уровня ПДК не достигали (мкг/л): Zn – 3, Cu – 0,7, Ni – 0,6, Cd – 0,1.

Исследования донных осадков на содержание в них ТМ в середине 80-х годов показали отсутствие каких-либо признаков загрязнения или влияния техногенных факторов на формирование их геохимической структуры (Опекунов, 1990).

Таким образом, загрязнение морской среды данной акватории можно считать несущественным.

4.6. Чукотское море

В отличие от других морей Российской Арктики, Чукотское море испытывает заметное влияние

тихоокеанских водных и воздушных масс.

По оценке РЦ «Мониторинг Арктики», качество вод Чукотского моря в 2000 г. оценивалось как «чистые» воды (ИЗВ=0,55). Концентрации нефтепродуктов в воде находились на уровне 29 мкг/л (0,48 ПДК), фенолы – 0,6 ПДК, ХОС – 0,56 ПДК. Концентрации ТМ в среднем были на уровне: Zn – 2 мкг/л, Cu – 0,5 мкг/л, Ni – 0,7 мкг/л, Cd – 0,1 мкг/л (все ниже 1 ПДК).

Относительно повышенные концентрации ЗВ отмечались в 2000 г. в восточной части Чукотского моря в районе Берингова пролива.

Концентрации бенз(а)пирена в поверхностных водах моря достигало значений 0,01 – 0,5, в придонных водах 0,01-0,6 нг/л. В донных осадках это ЗВ содержалось в количестве 2,28 мкг/кг. Из ХОС в водах Чукотского моря преобладают изомеры ГХЦГ: в западной части моря – 2,68 нг/л, в восточной – 2,46 нг/л. Концентрации ДДТ и его метаболитов составили соответственно 0,18 и 0,11 нг/л, ПХБ – 0,65 и 0,67 нг/л. В донных осадках восточной части моря несколько повышено содержание ПХБ – 16,5 мкг/кг, ДДТ – 1,58, α и γ – ГХЦГ – 0,43 и 0,23 мкг/кг. При этом в середине 90-х годов увеличение содержания ПХБ по сравнению с 1988 г. зафиксировано примерно в 2 раза. Однако все признаки загрязнения отмечаются только в прибрежной зоне моря в районах размещения немногочисленных поселков. В целом же Чукотское море характеризуется низким уровнем загрязнения морской среды. Состояние биоценозов оценивается как нетронутое (Андреева и др., 2004).

5. Оценка устойчивости арктических морей России.

Сотрудниками ВНИИОкеангеологии (Андреева и др., 2004) исследована проблема уязвимости арктических морей к антропогенному загрязнению на основе анализа факторов региональной устойчивости – таких как антропогенные нагрузки,

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

ассимилирующая способность морской среды к химическому загрязнению и устойчивость биоценозов (Таблица 13). Нагрузки оценивались через основные факторы загрязнения: речной сток, поступление ЗВ из рассредоточенных по побережью источников (условный

модуль диффузного загрязнения), атмосферный перенос ЗВ (условный модуль атмосферного загрязнения).

Таблица 13. Факторы и показатели оценки устойчивости арктических морей (региональный масштаб)

Фактор региональной устойчивости	Показатель	Характеристика
Потенциальная антропогенная нагрузка	Модуль твердого стока	$R_1 = M_1/S$, M_1 - масса твердого стока; S - площадь акватории
	Модуль ионного стока	$R_2 = M_2/S$, M_2 - масса ионного стока
	Условный модуль диффузного загрязнения	$D = L/S$, L - длина береговой линии
	Условный модуль атмосферного загрязнения	$A = S/V$, V - объем воды в бассейне
Ассимилирующая способность геосистемы	Климатическая зональность	Арктическая, субарктическая, умеренная, тропическая
	Удельный показатель седиментационной емкости акватории	$C = (S_a/S) \times 100\%$, S_a - площадь развития процессов устойчивой аккумуляции на дне
	Условия аккумуляции ЗВ	Очень благоприятные, благоприятные, относительно благоприятные, неблагоприятные
	Коэффициент ассимилирующей способности берегов	$E = l_1 + 2l_2 + 3l_3 + 4l_4$, l_n - протяженность $\sum_{n=1}^4 l_n$ береговой линии (км) по классам устойчивости берегов к загрязнению (см. текст)
Толерантность биоценозов	Естественная устойчивость	Наиболее устойчивы, относительно устойчивы, относительно уязвимы, наиболее уязвимы

Ассимилирующая способность морской среды обусловлена морфодинамическими и литогеохимическими факторами образования устойчивых концентраций ЗВ (через вероятность их образования), сорбционную емкость донных осадков, барьерную роль береговой зоны (разные типы берегов), а также внутренними механизмами, связанными с интенсивностью процессов

микробиологической и биохимической деструкцией ЗВ. Естественная устойчивость биоцентров оценивалась на основе экспертной оценки. Все факторы оценивались по 4-х бальной шкале (Таблица 14).

Условия переноса ЗВ и формирования их устойчивых скоплений определялись по результатам геоэкологического районирования акваторий арктических морей (рис. 2)

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

По этому показателю моря Российской Арктики разделяются на очень благоприятные для накопления ЗВ (отдельные районы Баренцева моря),

благоприятные (Карское море), относительно благоприятные (Чукотское море) и неблагоприятные (моря

Таблица 14. Показатели устойчивости морей России (региональный масштаб)

Показатель	Значения	Характеристика	Оценка в баллах
Модуль твердого стока	<10	Очень низкий	4
	11-20	Низкий	3
	21-30	Средний	2
	>31	Высокий	1
Модуль ионного стока	<75	Очень низкий	4
	76-150	Низкий	3
	151-225	Средний	2
	>225	Высокий	1
Условный модуль диффузного загрязнения	<0,0030	Очень низкий	4
	0,0031-0,0060	Низкий	3
	0,0061-0,0090	Средний	2
	>0,0090	Высокий	1
Условный модуль атмосферного загрязнения	<10	Очень низкий	4
	11-20	Низкий	3
	21-30	Средний	2
	>30	Высокий	1
Условия аккумуляции ЗВ	Площадное распространение	Очень благоприятные	1
		Благоприятные Относительно благоприятные	2
		Неблагоприятные	3
Климатическая зональность	Широтная зональность	Арктическая	1
		Субарктическая	2
		Умеренная	3
		Тропическая	4
Удельный показатель седиментационной емкости акватории	0,0-0,25	Очень низкий	1
	0,26-0,50	Низкий	2
	0,51-0,75	Средний	3
	0,76-1,0	Высокий	4
Коэффициент ассимилирующей способности берегов	<2,1	Очень низкий	1
	2,2-2,4	Низкий	2
	2,5-2,7	Средний	3
	>2,7	Высокий	4
Естественная устойчивость биоценозов	Экспертная оценка	Наиболее устойчивые	4
		Относительно устойчивые	3
		Относительно уязвимые	2

Восточно-Сибирское и Лаптевых). Климатические условия, определяющие активность внутренних ассимиляционных механизмов экосистем, оцениваются по климатическим зонам.

Оценки показывают, что арктические моря по ассимилирующей способности берегов делятся на 3 класса: с высокой, средней и очень низкой ассимилирующей способностью. К 1-му классу относится Чукотское море, для которого характерно широкое

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

развитие лагунных типов берегов. Ко 2-му классу можно отнести Восточно-Сибирское море с преобладанием осушенных берегов и море Лаптевых, для которого типичны аккумулятивные, абразионно-аккумулятивные, осушные и дельтовые берега. Наименьшими барьерными возможностями характеризуются Баренцево море с протяженной линией абразионных берегов.

Устойчивость биоценозов определялась для фоновых условий с учетом видового разнообразия, активности процессов метаболизма, структуры трофических цепей и т.д.

По степени устойчивости арктических морей к антропогенному загрязнению выделяется 4 группы бассейнов по значению балла устойчивости: неустойчивые (балл=1,8), малоустойчивые (2,3), относительно устойчивые (2,7) и устойчивые (3,0) (Таблица 15). К первой группе относится Карское море, основные проблемы которого связаны с очень низкой устойчивостью к речному, атмосферному и диффузному загрязнению и с низкими показателями седиментационной емкости морской среды. Во вторую группу входят моря Лаптевых и Баренцево. Первое характеризуется низкой устойчивостью к потенциальным внешним воздействиям, а Баренцево море – высоким модулем атмосферного загрязнения и низкими показателями ассимиляционной емкости. В третью группу входит Восточно-Сибирское море, где почти все рассматриваемые показатели сбалансированы. Наконец, четвертая группа представлена Чукотским морем, отличающимся высокими показателями устойчивости к потенциальным техногенным воздействиям.

Таким образом, ряд устойчивости арктических морей России к антропогенному загрязнению представляется в следующем виде: Чукотское > Восточно-Сибирское >

Баренцево = Лаптевых > Карское. Поэтому особое внимание следует уделить в первую очередь Карскому морю, затем Баренцеву морю и морю Лаптевых, чьи экосистемы находятся под наибольшей угрозой в связи с перспективами развития добычи углеводородного сырья в недалеком будущем.

Таблица 15. Факторы и показатели оценки устойчивости арктических морей России (региональный масштаб)

Морфометрические характеристики, факторы и показатели устойчивости	Моря российской Арктики				
	Баренцево	Карское	Лаптевых	Восточно-Сибирское	Чукотское
<i>Морфометрические характеристики</i>					
Площадь моря, км ²	1 405 000	883 000	662 000	913 000	582 000
Объем водной массы, км ³	316000	98 000	353 000	49 000	42 000
Длина береговой линии, км	6650	9500	7500	5900	1650
<i>Факторы и показатели устойчивости</i>					
Модуль твердого стока, т/км	6,07	37,74	36,07	30,69	5
Модуль ионного стока, т/км	16,89	236,08	110,22	19,59	8,75
Условный модуль диффузного загрязнения, 1/км	0,0047	0,011	0,011	0,0064	0,0028
Условный модуль атмосферного загрязнения, 1/км	39	9	2	19	14
Условия аккумуляции ЗВ	Очень благоприятные	Благоприятные	Неблагоприятные		Относительно благоприятные
Климатическая зональность	Субарктическая	Арктическая			
Показатель седиментационной емкости	0,66	0,46	0,73	0,87	0,45
Коэффициент ассимилирующего потенциала берегов	2,1	2,6	2,7	2,5	3
Устойчивость биоценозов	Относительно уязвимые	Наиболее уязвимые			Относительно уязвимые
<i>Оценка устойчивости</i>					
Средний балл	2,3	1,8	2,3	2,7	3
Характеристика устойчивости морской среды	Малоустойчивая	Неустойчивая	Малоустойчивая	Относительно устойчивая	Устойчивая

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. Л.: Гидрометеиздат, 1990, 304 с.
- Айбулатов Н.А. Проблемы геоэкологии шельфа и морских берегов. Геоэкология, 1993, № 3, с. 3-10.
- Айбулатов Н.А. Экологическое эхо холодной войны в морях Российской Арктики. М.: Геос, 2000, 306 с.
- Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне морей и проблемы экологии. М.: Наука, 2005, 364 с.
- АМАП (Arctic Monitoring Assessment Program) Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report, Oslo, 1997, 188pp.
- Андреева И.А., Зинченко А.Г., Опекунов А.Ю., Вайнштейн Б.Г., Кийко О.А., Петрова В.И. Геоэкологические обстановки на шельфе Арктических морей. В кн.: Геология и полезные ископаемые России. Кн. 1. Арктические моря. Т. 5. Арктические и дальневосточные моря. Ред. – И.С. Грамберг, В.А. Иванов, Ю.Е. Погребницкий. С.-Петербург, Изд. ВСЕГЕИ, 2004, с. 387-410.
- Виноградова А.А. Элементный состав приземного атмосферного аэрозоля Арктических районов. Изв. АН, физика атмосферы и океана, т. 29, № 2, 1993, с. 164-172.
- Виноградова А.А. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого Океана. Докторская диссертация на соискание степени доктора географических наук. ИФАН им. А.М.Обухова, М., 2004, 217 с.
- Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983, 160 с.
- Гордеев В.В., Джамалов Р.А., Зекцер И.С., Жулидов А.В., Брызгалов В.Н. Оценка подземного стока биогенных элементов в прибрежные моря Российской Арктики. Водные ресурсы, т.38, 1999, с.1-6.
- Иванов Г.И., Леонова Е.М., Бордуков Ю.К., Криницкий П.И., Нещеретов А.В. Геоэкологическое оценка состояния природной среды в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения. К кн.: Освоение шельфа арктических морей России. Спб., 1995, с. 319-321.
- Иванов Г.И., Грамберг И.С., Крюков В.Д. Уровни концентраций ЗВ в придонной морской среде западно-арктического шельфа. ДАН РАН, 1997, т.335, №3, с.365-368.
- Иванов Г.И. Методология и результаты экогеохимических исследований Баренцева моря. С.-Пб.: ВНИИОкеангеология, 2002, 154 с.
- Иванов Г.И. Геоэкология Западно-Арктического шельфа России: литолого-экогеохимические аспекты. Наука, С-Петербург, 2006, 304 с.
- Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. 2-е издание. М.: Гидрометеиздат, 1984, 560 с.
- Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л., Гидрометеиздат, 1989, 528 с.
- Кийко О.А., Иванов Г.И., погребов В.Б. Экологическое состояние бентосных сообществ западно-арктического шельфа России. В кн.: Проблемы развития морских геотехнологий, информатики и геоэкологии. Спб., 1994, с.142-143.
- Куделин Б.И. Карта стока подземных вод на территории СССР. Масштаб 1: 2500000. Москва-Ленинград, Главное Управление картографии.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

- Ландшафтно-геоэкологические исследования акватории Баренцева моря как основа для постановки долгосрочного мониторинга. И.А.Андреева, Б.Г.Ванштейн и др., В кн.: Концептуальные проблемы геоэкологического изучения шельфа. Спб., ВНИИОкеангеология, 2000, с 17-32.
- Ласточкин А.Н. Геоэкология ландшафта. Спб., Изд-во СпбГУ, 1995, 280 с.
- Леин А.Ю., Вогт П., Крейн К и др. Геохимические особенности газоносных (CH₄) отложений подводного грязевого вулкана в Норвежском море. Геохимия, № 3, 1998, с. 230-249.
- Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов. Океанология, т. 34, № 5, 1994, с. 735-747.
- Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Щипа Е., Рисанен Х. Радионуклиды в экосистеме региона Баренцева и Карского морей. Апатиты, КНЦ РАН, 1994, 240 с.
- Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск: Наука, 1995, 197 с.
- Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997, 413 с.
- Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2000 г. М.: Росгидромет, 2001.
- Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2003 г. М.: Росгидромет, 2004, 154 с.
- Опекунов А.Ю. Дифференциация осадочного материала на шельфе восточно-арктических морей (на примере Анадырского залива) Автореферат канд. дисс., Л., ВНИИОкеангеология., 1990, 24 с.
- Петрова В.И., Иванов Г.И. Органно-геохимические аспекты экологии Баренцева моря. В кн.: Освоение шельфа арктических морей России. С.-Пб, 1995, с. 371-372.
- Петрова В.И. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в донных осадках Мирового океана. Диссерт. докт. геол.-мин. наук. С.-Пб.: ВНИИОкеангеология, 1999, 311 с.
- Симонов А.И., Орадовский С.П., Юцак А.А. Современное состояние химического загрязнения вод северной Атлантики. Метеорология и гидрология, № 3, 1974, с. 61-69.
- Are F.E. The role of coastal retreat for sedimentation in the Laptev Sea. In: Kassens H., Bauch H., Dmitrenko I. et al. (eds.) Land-Ocean systems in the Siberian Arctic: dynamic and history. Springer, Berlin< p.287-299.
- Barrie L.A. Arctic air pollution: an overview of current knowledge. Atmospheric Environment, v. 20, № 4, 1986, p. 643-663. Duce R.A., Liss P.S., Merrill J.T., The atmospheric input of trace species to the World Ocean. Global Biogeochem. Cycles, v. 5, № 36 1991, p. 193-259.
- Eicken H., Kolatschek J., Freitag J., Lindemann F., Kassens H., Dmitrenko I. Identifying a major source area and constraints on entrainment for basin-scale sediment transport by Arctic sea ice. Geophysic. Res. Lett., v. 29, 2000, p. 1919-1922.
- Eicken H., Krouse H.R., Kadko D., Petrovich D.K. Tracer studies of pathways and rates of meltwater transport through Arctic summer sea ice. Journ. Geophys. Res., v. 197 (C10), 2002.
- Gordeev V.V., Martin J.-M., Sidorov I.S., Sidorova M.V. A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements and

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

- nutrients to the Arctic Ocean. *American J. of Sci.*, 1996, v.296, p.664-691.
- Gordeev V.V., Andreeva E.N., Kremer H., Lisitzin A.P., Salomons W., Marshall Crossland J.I. Russian Arctic Basins: LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment-Coastal Sea Interaction and Human Dimensions. A desk study of the Russian Arctic. *LOICZ Reports and Studies*, v. 29, 2006.
- Gordeev V.V., Rachold V. River Input. Ch. 2. Modern Terrigenous Organic Carbon Input to the Arctic Ocean. In: *he Organic Carbon in the Arctic Ocean*. Eds. – R. Stein, R.W. Macdonald, Springer, 2003, p. 33-41.
- Gordeev V.V., Beeskow B., Rachold V. *Geochemistry of the Ob and Yenisey Estuaries: A Comparative Study*. Reports of Polar and Marine Research. V.565, Bremerhaven, Germany, 2007, 235 pp.
- Grigoriev M.N., Rachold V., H.-W. Hubberten, L. Shirmeister. Organic Carbon Input to the Arctic Seas Through Coastal Erosion. In: *The Organic Carbon Cycle in the Arctic Ocean*. Eds. – R. Stein, R.W. Macdonald. Springer, 2003, p. 41-45.
- Holmes R.M., Peterson B.J., McClelland J.W., Gordeev V.V., Zhulidov A.V. A circumpolar perspective on fluvial sediment flux to the Arctic Ocean. *Global Biogeochem. Cycles*, v. 16, 2002, p. 1849-1862.
- Macdonald R.W., Solomon S.M., Cranston R.E., Welch H.E., Yunker M.B., Gobeil C. A sediment and organic carbon budget for the Canadian Beaufort Shelf. *Marine Geology*, v. 144, 1998, p. 255-273.
- Nolting R.F., Van Dahlen M., Helder W. Distribution of trace and major elements in sediment and pore waters of the Lena delta and Laptev Sea. *Marine Chemistry*, v. 53, 1996, p. 285-300.
- Pacyna J.M. Chemical tracers of the origins of arctic air pollution. In: *Pollution of the arctic atmosphere*. Ed. W.T. Sturges. L, N.-Y., Elsevier, 1991, p. 97-122.
- Pfirman S., Lange M.A., Wollenburg I., Schlosser P. Sea ice characteristics and the role of sediment inclusions in deep-sea deposition: Arctic and Antarctic comparisons. In: *Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*. Dordrecht: Kluwer, 1990, p. 187-211.
- Rachold V. Grigoriev M.N., Are F.E., Solomons S., Reimint E., Kassens H., Antonow M. Coastal erosion versus riverine sediment discharge in the Arctic shelf seas. *Intern. Journ Earth Sci.*, v. 89, 2000, p. 450-460.
- Reimnitz E., Dethleff D., Nurnberg D. Contrasts in Arctic shelf sea-ice regimes and some implications: Beaufort Sea versus Laptev Sea. *Marine Geology*, v. 119, 1994, p. 215-225.
- Stepanets O., Borisov A., Komarevsky V., Ligaev A., Sizov E., Solovjeva G. Radioecological research in the Yenisey and Ob rivers and adjacent Kara Sea shelf. In: *Reports on Polar and Marine Research*, v. 393, 2001, p. 197-204.
- Stepanets O., Borisov A., Ligaev A., Solovjeva G., Sizov E., Komarevsky V. Anthropogenic pollution of the Kara Sea and estuaries of the Ob and Yenusey rivers based on data of the 2000 and 2001 cruises. In: *Reports on Polar and Marine Research*, v. 419, 2002, p. 180-190.
- Vogt P.R., Cherkashev G., Ginsburg G., Ivanov G.I. et al. Haakon Mosby Mud Volcano provides unusual example of venting. *EOS*, v. 78, № 48, 1997, p. 549-557.

3.2. Состояние береговой зоны арктических морей России

Содержание

[1. Понятие морской береговой зоны \(МБЗ\).](#)

[2. Определение геоэкологии.](#)

[3. Геоэкологическая ситуация в береговой зоне арктических морей.](#)

[ЛИТЕРАТУРА](#)

1. Введение.	85
2. Источники поступления загрязняющих веществ и пути их миграции в морскую среду.	85
2.1. Экзогенные источники.	85
2.1.1. Речной сток.	85
2.1.2. Подземный сток.	87
2.1.3. Прибрежная эрозия.	87
2.1.4. Роль арктического морского льда в транспортировке терригенного материала.	88
2.1.5. Эоловый материал.	88
2.2. Эндогенные источники.	90
2.3. Акваполитехногенные источники.	91
2.3.1. Морская транспортировка нефти.	91
2.3.2. Океанические течения.	91
2.3.3. Дампиг отходов.	92
3. Геоэкологическое районирование арктического шельфа России.	92
4. Современное состояние морских экосистем.	96
4.1. Баренцево море.	96
4.2. Белое море.	108
4.3. Карское море.	109
4.4. Море Лаптевых.	111
4.5. Восточно-Сибирское море.	113
4.6. Чукотское море.	113
5. Оценка устойчивости арктических морей России.	113
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.	118
1. Понятие морской береговой зоны.	122
2. Определение геоэкологии.	123
3. Геоэкологическая ситуация в береговой зоне арктических морей.	124
ЛИТЕРАТУРА.	134
Раздел 3.3. Анализ нарушений природных ландшафтов АЗРФ.	135
3.3.1. Типы природных ландшафтов АЗРФ.	135
3.3.2. Обзор антропогенных воздействий в АЗРФ.	139
Исследованиями последних лет в Арктике России удалось выявить территории с сильными изменениями и нарушениями природной среды. Эти негативные процессы связаны с загрязнением наземных и прибрежных морских и речных экосистем тяжелыми металлами, нефтепродуктами, органическими соединениями различного происхождения, соединениями азота и серы и т.д., механическими нарушениями почв и грунтов, перевыпасом на оленьих пастбищах.	145
3.3.3. Антропогенные воздействия и деградация земель.	145

3.3.4. Анализ мерзлотных факторов устойчивости и эволюции природных ландшафтов АЗРФ	146
Общий принцип сохранения функциональной устойчивости ландшафтной среды и предупреждения развития деструктивных процессов на территориях индустриального освоения в АЗРФ заключается в стабилизации теплооборотов в кровле мерзлоты в пределах их отрицательных значений путем минимизации техногенных теплотоков в мерзлые грунты.....	148
3.3.5. Динамика ландшафтов АЗРФ при потеплении климата	151
3.3.6. Природные и антропогенные факторы абразии берегов	155
3.3.7. Типология и география техногенных воздействий и нарушений природных ландшафтов АЗРФ	160
В антропогенной трансформации растительности Арктики можно отметить следующие характерные черты. Происходит замена лишайникового покрова злаковым в пределах тундровой зоны. Снижается биоразнообразие, ряд видов (в первую очередь, лишайники) выпадает из состава естественных сообществ. В заселении антропогенных местообитаний принимают участие аборигенные виды, составляющие 40-60% местной флоры. Происходит синантропизация флоры, растет число заносных видов, особенно вблизи населенных пунктов. В антропогенных сообществах главную роль играют виды с широким географическим ареалом, что повышает количество общих видов для тех пунктов, где имеются нарушения.	160
Разрушение растительного покрова провоцирует эрозионные процессы. Скорость восстановительных первичных сукцессий в антропогенных экотопах низкая. Вторичные сукцессии идут быстрее, однако, для полного восстановления тундровых сообществ (если оно вообще возможно) требуется длительное время. Показано, что только сообщества болот могут практически полностью восстанавливаться за сравнительно короткий срок.	160
3.3.7.1. Нарушение растительного покрова	160
Площади нарушенных земель в Арктике России, тыс.кв.км (Крючков, 1994)	161
3.3.7.2. Нарушение почвенного покрова	165
3.3.8. Заключение	168
Все это в совокупности позволяет снизить неизбежную неопределенность оценок и получить достаточно объективную картину прогнозируемых природных нарушений при разных видах хозяйственной (иногда – бесхозяйственной) деятельности в море и на побережье, в том числе при реализации крупных региональных проектов.....	185
Пространственный масштаб	187
Временной масштаб	187
Обратимость изменений	188
Итоговые оценки	188
Литература	209

1. Понятие морской береговой зоны.

В настоящее время понятие «морская береговая зона» (МБЗ) трактуется неоднозначно (Сафьянов, 1978, Прибрежная..., 2004 и др.). В данном обзоре МБЗ определяется как территория сопряжения суши и моря, в пределах которой формируется морской берег в результате энергомассообмена

между акваторией и прилегающей сушей под влиянием ветровых морских волн как наиболее значимого экзогенного фактора её эволюции. Выше современного уреза воды располагается земноводная часть этой зоны, а в сторону акватории моря прослеживается её субаквальная часть. Верхняя граница МБЗ очерчивается линией максимального заплеска прибойного волнового потока, либо

бровкой активного клифа или тыловым швом современной морской террасы. Её нижняя граница обозначается дальностью выноса в акваторию твёрдых частиц формируемого берега поперечными волновыми компенсационными противотечениями, обусловленными штормовыми волнами. Эта граница в первом приближении соответствует контуру замыкания наиболее активного обмена веществом между берегом и морским дном, мористее которого амплитуда деформаций дна под воздействием волн становится сопоставимой с погрешностью промера (обычно это 5-10 см). Глубина воды, где происходит замыкание контура, соответствует удвоенной высоте волн данной обеспеченности. При этом её максимальное значение примерно совпадает с удвоенной высотой волн наиболее сильного шторма, фиксируемого раз в году. Для полярных акваторий с коротким безлёдным периодом среднюю величину глубины замыкания можно приравнять к удвоенной высоте волн с годовой обеспеченностью 0,14% - действующих не более 12 часов в году (Leont'ev, 2003). В условиях штормов промежуточной силы (между сильными и слабыми), имеющими значительную суммарную продолжительность и относительно частую повторяемость, свойства профиля береговой зоны определяются в наибольшей мере. В этом случае формируется квазиравновесный профиль, который, сохраняя свои основные черты, перемещается в пространстве как единое целое. Возраст современной МБЗ на региональном уровне различается. В глобальном масштабе она начала формироваться 4,5-6 тыс. лет назад на фоне относительной стабилизации или медленного повышения уровня Мирового океана и дифференцированных вертикальных неотектонических движений. Её нынешний профиль и облик морских берегов создавался в течение последних 2-2,5 тыс. лет, когда климат

установился близким к современному и режим продолжающейся морской трансгрессии стал относительно спокойным.

Динамическое состояние современного уровня Северного Ледовитого океана оценивается по-разному, но доминирует точка зрения, согласно которой он повышается со средней скоростью около 1,5 мм/год. На этом фоне современная МБЗ характеризуется динамикой, которая, наряду с волновым воздействием, определяется комплексом процессов и явлений природного и антропогенного происхождения. Важнейшим из них является новейшая тектоника, которая определяет, в частности, основные экзогенные берегоформирующие процессы (пассивное затопление, размыв, абразию, перестройку дельт и др.), их интенсивность и направленность эволюции МБЗ, опережая по своей значимости в высоких географических широтах роль климата и гидродинамического режима соответствующих акваторий. Наряду с колебаниями уровня морского бассейна, новейшие тектонические движения создают основной фон развития береговых процессов. О неотектоническом контроле развития МБЗ свидетельствует практически повсеместно отмечаемое совпадение границ структурных элементов и её морфодинамических районов и участков.

2. Определение геоэкологии.

Экологическая безопасность морской береговой зоны является составной частью национальной безопасности России. Особенно это касается наиболее уязвимых регионов, к числу которых относится МБЗ арктической области. В геоэкологическом аспекте МБЗ включает среду существования биоса, охватывающую приповерхностный горизонт земной тверди, поры в ее литологическом субстрате и выше

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

расположенную толщу воды (Сафьянов, 2006).

Геоэкологическое научное направление получило официальное признание лишь на XXU1 Международном геологическом конгрессе в 1980г. В настоящее время трактовка термина «геоэкология» неоднозначна (Осипов, 1997, Трофимов Зилинг, 2000, Концептуальные..., 2000, Айбулатов, Артюхин, 1993, Айбулатов, 1993, Геоэкология..., 2001 и др.). В настоящем обзоре этим термином обозначается научное направление, изучающее литосферную компоненту экосистем, т.е. экологические функции литосферы (её свойства и влияние на жизнедеятельность биоса). Иными словами, изучается область современного взаимодействия живого и неживого в геологической среде, в которую входят литологический субстрат со всеми особенностями его строения и связанные с ним рельеф земной тверди, вода, геофизические поля. Основная задача геоэкологии – изучение природных экологических свойств и изменений приповерхностных горизонтов литосферы с целью оценки их экологических функций (Трофимов, Зилинг, 2000). В свою очередь, понятием «экосистема» обозначается относительно автономная ассоциация биотических и абиогенных компонентов того или иного природно-территориального комплекса.

Учитывая, что геологическая среда является мощнейшим экологическим фактором, оценку геоэкологической ситуации можно осуществлять по каким-либо параметрам этой среды. Границы её

изменений можно проводить по вариациям какого-либо существенного литосферного компонента, фиксируя тем самым современное состояние геологической среды.

3. Геоэкологическая ситуация в береговой зоне арктических морей.

Геоэкологическую ситуацию береговой зоны арктических морей России можно оценить через призму динамики её берегов, которые дают наибольшую информацию о состоянии и тенденциях развития МБЗ, оказывая прямое влияние на биоту. Общая длина береговой линии в пределах арктического бассейна оценивается в 40 тысяч км, а протяжённость континентальной береговой линии арктических морей России составляет около 27 тыс. км (Калинина и др., 1992). (Таблица 1).

Берега логичнее всего охарактеризовать используя морфогенетический подход (Ионин и др., 1964), предполагающий анализ роли наиболее значимых активных и пассивных рельефообразующих факторов и процессов, следствием чего является образование определённых форм рельефа и их комплексов, на основании которых выделяется тот или иной тип берега и побережья (рис. 1 и 2).

Таблица 1. Длина абразионных берегов российской прибрежной зоны Арктики [Калинина и др., 1992]

Прибрежная административная единица	Общая длина береговой линии, км	Длина абразионных берегов, км	Поражённость абразией в %
Мурманская область	1730	220	13

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Прибрежная административная единица	Общая длина береговой линии, км	Длина абразионных берегов, км	Пораженность абразией в %
Карелия	600	-	-
Архангельская область:	12030	6750	56
Беломорские берега	1120	610	54
Ненецкий авт. округ	3180	1554	49
о-ва Новая Земля	4320	1614	37
о-ва Земля Франца Иосифа	3410	2972	87
Тюменская обл., Ямало-Ненецкий авт. округ	5570	1725	31
Красноярский край:	9510	2570	27
Таймырский авт. округ	7000	1650	24
о. Северная Земля	2510	920	37
Якутия:	7840	2930	37
материковое побережье	5420	1620	30
Ляховские о-ва	560	432	77
Новосибирские о-ва	1860	878	47
Магаданская область, Чукотский авт. округ	2660	992	37
Всего	39940	15187	38

Берега Баренцева моря.

В районе Кольского полуострова доминируют берега, сложенные кристаллическими породами Балтийского щита. Исключение составляют о. Кильдин и п-ова Рыбачий и Средний, сложенные метаморфизованными породами протерозоя. К западу от Кольского залива берега характеризуются фьордовым расчленением. Происхождение фьордов тектоно-эрозионно-ледниковое с заложением по тектоническим разломам. Для некоторых фьордов наблюдается прямое совпадение берегов с тектоническими нарушениями. Подводные береговые склоны крутые и представляют собой прямое продолжение сбросовых

поверхностей, образующих подводные продолжения берегов. В зоне прибойного потока обнажаются грубообломочные отложения, а мористее – глинистые или песчано-алевритовые илы (Каплин и др., 1991, Павлидис, Щербаков, 2000). Наиболее ярким представителем типичных фьордов (и самым крупным в этом регионе) является Кольский залив. К востоку от него до Лумбовского залива простирается невысокий, не изменённый морем сбросово-тектонический берег с чётко выраженными следами ледниково-экзарационной обработки склонов. Фьорды невелики по размерам, располагаются спорадически и не образуют сплошного фьордового побережья. В редких случаях на

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Кольском (или как его иногда называют Мурманском) побережье встречаются гроты и волноприбойные ниши, предполагается возможность проявления молодых сейсмотектонических дислокаций. В целом контур берега практически не меняется. Он застыл в своём развитии со времени поздне-неоплейстоценового

оледенения. В настоящее время берега отступают со скоростью около 1мм/год и испытывают поднятие до 2-5мм/год. Далее на юг начинается береговая зона Белого моря. Это субарктический бассейн, тесно связанный в своём развитии с Баренцевым морем, и поэтому логично рассмотреть также и его береговую зону в данном обзоре.

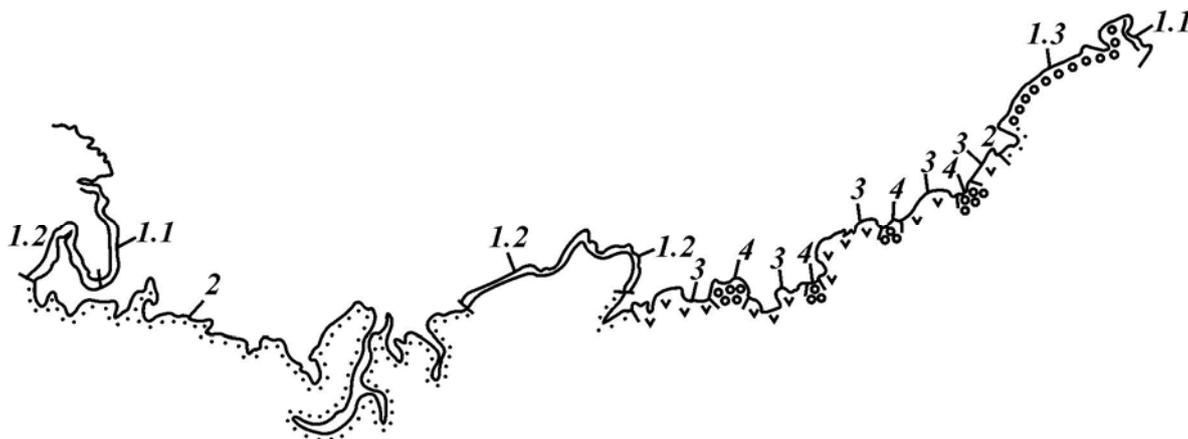


Рис.1 Схема типов побережий арктических морей России.

Ингрессионные побережья: горных и возвышенных территорий разной степени расчлененности (большой - 1.1, меньшей - 1.2), вдольбереговых горно-складчатых сооружений - 1.3; низменных аккумулятивных равнин с регионально выраженной ледниковой, флювиальной и лагунной аккумуляцией - 2; аллювиально-озерно-эоловых аккумулятивных равнин - 3; аллювиально-дельтовых равнин - 4

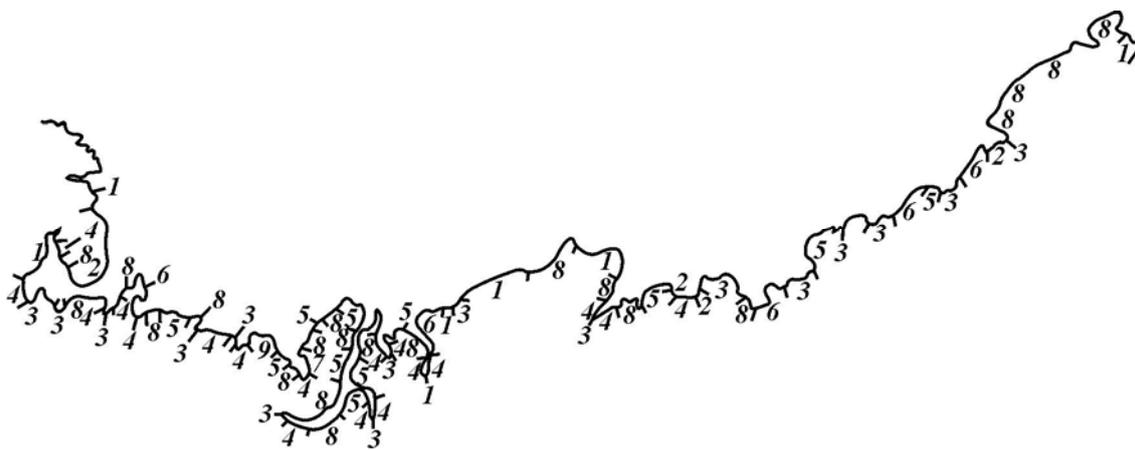


Рис.2 Схема морфогенетических типов берегов арктических морей России.

Сформированные тектоническими, субаэральными эрозионными и ледниковыми процессами, мало измененные морем: 1 - фиордовые и фиардовые (шхерные); 2 - первично ровные сбросовые. Формирующиеся преимущественно под действием неволновых экзогенных процессов: 3 - потамогенные (дельтовые), 4 - осушковые, 5 - термообразные, 6 - денудационные с регионально выраженными абразионно-денудационными, абразионно-солифлюкционными и обвальными осыпными явлениями.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Формирующиеся преимущественно под действием морских волновых процессов: 7 – выравняющиеся (абразионно-бухтовые, абразионно-аккумулятивные бухтовые), 8 – выровненные (абразионные, абразионно-аккумулятивные, аккумулятивные с примкнувшей террасой, аккумулятивные лагунные), 9 – вторичного расчленения (абразионно-аккумулятивные бухтовые).

Берега Белого моря.

По особенностям геолого-геоморфологического строения и гидрологических условий на побережье Белого моря выделяется ряд районов со специфичной природной обстановкой, в том числе по своеобразному строению и развитию их береговых зон (Невесский и др., 1977). Пограничный с Баренцевым морем район называется Воронкой. Его западный берег до устья р. Поной относится к фиардово-шхерному типу (фиарды, в отличие от фиордов, располагаются не в горных, а в равнинных областях). Берег слабо разрушается, главным образом, под воздействием физического выветривания. Южнее, до устья р. Варзуга, протягивается Терский берег, где примкнувшая аккумулятивная терраса высотой 3-4м придаёт ему аккумулятивный облик и выровненные очертания. Абразионные участки имеют подчинённое значение. Вследствие приливно-отливных явлений здесь формируются песчаные осушки. Поверхность приглубого склона, как правило, представлена навалом глыб с валунной отмосткой. Берег поднимается со скоростью до 5 мм/год.

Расположенные западнее берега Кандалакшского залива и Карелии примерно до г. Беломорска сложены кристаллическими породами Балтийского щита, характеризуются интенсивной расчленённостью фиардово-шхерного типа и поднятием со скоростью до 5мм/год (Бадюкова и др., 2006). Южнее местность значительно понижается и переходит в заболоченную низменность с холмистыми останцами кристаллических пород, встречающихся до с. Покровское в Онежском заливе. Берег здесь либо скалистый, либо сложен навалами глыб

и валунов, обрамлённых со стороны моря песчано-илистыми осушками шириной более 1км. Скорость поднятия берега здесь уменьшается, но всё же превышает 1,5мм/год. В устье р. Онега берег представлен заболоченной аллювиальной низменностью. Севернее с. Покровское кристаллический фундамент погружается под породы верхнего протерозоя и палеозоя, перекрытые рыхлыми ледниковыми и послеледниковыми отложениями. Берега Онежского полуострова широко представлены формами абразионно-аккумулятивного выравнивания, прослеживающимися до дельты Северной Двины, которая сложена песчаным аллювием и подвержена опусканию. Она имеет хорошо выраженную авандельту с возрастом 4-5 тыс. лет. От Двинской губы до Мезенского залива берег также абразионно-аккумулятивного выравнивания. Берега Мезенской губы на всём их протяжении представлены активными абразионными клифами, вырабатывающимися в рыхлых четвертичных отложениях при скорости отступления берега 3-5м/год (максимально до 13-17 м) (Невесский и др., 1977). За исключением опускающегося приустьевоего района р. Мезень берега поднимаются со скоростью, превышающей поднятие уровня моря.

Севернее, от м. Конушин до м. Канин Нос вдоль западного побережья п-ова Канин протягивается выровненный невысокий, преимущественно абразионный Канинский берег со скоростью отступления до нескольких метров в год. Его бóльшая часть сложена песчано-глинистыми отложениями и торфами. В местах развития последних проявляются

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

термоабразионные процессы. В целом, динамика береговой зоны Белого моря характеризуется преобладанием абразионных процессов, которые поставляют в акваторию осадочного материала в пять раз больше, чем речной сток. Кроме того, в динамике МБЗ большую роль играют приливы, вследствие которых очень ярко выражены осушки и подводные песчаные гряды в большей степени, чем в любом другом арктическом море России.

Продолжая рассмотрение береговой зоны Баренцева моря, вернёмся к полуострову Канин. Северный берег здесь приглубый и выработан в породах протерозойско-палеозойского возраста вследствие преобладания денудационно-абразионных процессов с участием термоабразии. Северные берега полуострова не обнаруживают заметных признаков поднятия или опускания. Поэтому можно считать, что они находятся в динамическом равновесии с трансгрессирующим морем, поднимаясь со скоростью, близкой к скорости трансгрессии. Восточные берега п-ова Канин, омываемые водами Чёшской губы, сложены рыхлыми морскими осадками и интенсивно абрадируются. На значительном их протяжении развиты проявления многолетней мерзлоты, что предопределяет термоабразионные процессы. Скорость отступления рассмотренных берегов достигает 2 м/год с наименьшими значениями в местах выхода на поверхность крепких древних пород (м. Канин Нос и м. Микулкин). Восточный берег термоабразионный, со скоростью отступления 1,5-3 м/год. Южный берег губы примыкает к заболоченной низменной равнине, относится к осушковому типу и подвергается пассивному затоплению. Берега Чёшской губы испытывают опускание со скоростью 1-5 мм/год и лишь в районе м. Бармин поднимаются со скоростью, превышающей скорость трансгрессии, т.е. более 1,5 мм/год.

Расположенный по границе с Печорским морем м. Св. Нос представляет собой перемычку, соединяющую останец палеозойских пород с коренным берегом в результате встречи поступающих от абразии вдольбереговых потоков и наносов песчаного материала СВ и СЗ направлений. Далее на восток вплоть до Югорского полуострова к урезу выходят ледниковые и морские отложения четвертичного возраста, слагающие низменную приморскую равнину. На побережье широко развиты аккумулятивные берега - лагунные, пляжевые, дельтовые и осушковые. От м. Св. Нос до Печорской губы берег представлен мощным песчаным баром, отделяющим несколько лагун. Местами этот бар переходит в островной (о. Сенгейский) и завершается аккумулятивным полуостровом Русский Заворот, на продолжении которого следует полуподводный островной бар Гуляевские Кошки. Берега в пределах бара на значительном протяжении термоабразионные со скоростью отступления более 1 м/год. Берега Печорской губы представлены низкими термоабразионными клифами и многорукавной дельтой р. Печора. Наибольшая скорость абразии (до 5 м/год) отмечается на Варандейском участке, отличающемся сравнительно приглубым склоном с уклоном 0,01. На отдельных участках Хайпудырской губы развиты осушки. Вертикальные движения рассмотренных берегов характеризуются тенденцией к опусканию со скоростью до нескольких мм/год.

Западное побережье Югорского полуострова характеризуется преобладанием абразионных берегов, поднимающихся со скоростью более 1,5 мм/год.

Берега Карского моря

От пролива Югорский Шар до г. Амдерма протягиваются абразионно-бухтовые берега, выработанные в палеозойских породах, а далее на юго-

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

восток береговая линия существенно выровнена термоабразионными процессами в четвертичных отложениях предгорной низменности. От Амдермы до устья р. Кара берег на большом протяжении представлен клифами. Далее на юг до широты о. Левдиев берег выровненный, а в кутовой части Байдарацкой губы берег осушковый илистый. Восточные берега Югорского полуострова поднимаются со скоростью более 1,5мм/год, а в кутовой части Байдарацкой губы опускаются со скоростью до 5мм/год. От кутовой части губы до размывающихся песчаных островов Марресальские Кошки берег в основном аккумулятивный, в районе пос. Марресале термоабразионный, отступающий со скоростью 2,5 м/год.

Западное побережье полуострова Ямал развивается в морских песчано-глинистых отложениях позднего неоплейстоцена и характеризуется чередованием выравнивающих аккумулятивных пляжевых и термоабразионных берегов. Скорость береговой абразии здесь достигает 3 м/год. Наличие широких аккумулятивных береговых форм свидетельствует о поднятии берегов, со скоростью превышающей 1,5 мм/год. У северного окончания полуострова формируется аккумулятивная песчаная коса, образующая м. Скуратова. Берег здесь преимущественно термоабразионный. Восточные берега Ямала представлены в основном термоабразионными формами, чередующимися с аккумулятивными участками, обычно с отмершим клифом и примкнувшей аккумулятивной террасой. Южнее пос. Новый порт берег аккумулятивный, отмельный. Всё это также свидетельствует о поднятии полуострова со скоростью более 1,5 мм/год. Кутовая часть Обской губы представлена нарастающей многорукавной дельтой выполнения, которая начала формироваться около четырех тысяч лет назад.

Западный берег Гыданского полуострова термоабразионно-

аккумулятивный. Северо-западное окончание полуострова представлено термоабразионной дугой протяжённостью 130 км и далее на восток прослеживается интенсивно отступающий (до 8 м/год) вследствие термоабразии берег полуострова Явэй. Береговая зона полуострова опускается под уровень моря со скоростью до 5 мм/год.

В Енисейском заливе - эстуарии северо-западный берег термоабразионный, за исключением аккумулятивного мыса-косы м. Песчаного. Он сформирован флювиогляциальными отложениями четвертичного возраста и отступает со скоростью от нескольких метров в год до 5-6 м/год. В катастрофические штормы скорость абразии резко возрастает. Так, в 1962г. отступление берега на отдельных участках достигло 20 м. Кутовая часть залива занята активной дельтой выполнения, заложившейся 5-7 тысяч лет назад. Её современная область формировалась на протяжении около 800 лет, выдвигаясь в настоящее время со скоростью, достигающей 20 м/год. Восточный берег залива выработан во флювиогляциальных и аллювиальных четвертичных отложениях. Он относительно стабилен за исключением отдельных участков, которые отступают со скоростью до 3 м/год. Это наблюдается, в частности, на петлевидной косе-мысе Шайтанском.

На побережье Таймыра преобладают денудационные формы рельефа ледникового происхождения, осложняющие исходный структурно-денудационный рельеф низких гор Бырранга. В районе о. Диксон преобладают выработанные в кристаллических породах абразионно-денудационные берега шхерного облика с каменными осушками. Далее на восток до устья р. Пясины берег выравнивающийся и несёт черты фиардового типа с широким проявлением абразионных и термоабразионных процессов. Самым

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

крупным фиардом является Таймырская губа, куда впадает р. Нижняя Таймырка. Особенно наглядно эти процессы проявляются на участках, где к морю выходят терригенно-морские отложения позднечетвертичного возраста. Устье р. Пясины представлено дельтой выполнения небольшого эстуария. Восточнее протягивается расчленённый шхерно-фиардовый берег, выработанный в метаморфизованных осадочных породах палеозоя. Встречающиеся небольшие аккумулятивные участки (полуостров-коса Михайлова и др.) размываются со скоростью до 1,5 м/год. Берега залива Толля и пролива Вилькицкого абразионно-аккумулятивные с преобладанием и интенсивным проявлением абразионных процессов. Даже в условиях прочных коренных скальных пород отступление берега составляет около 2 м/год. Северо-восточный берег Таймыра представлен не изменённым морем фиардово-шхерным типом. В неотектоническом плане берега Таймыра испытывают поднятие со скоростью, превышающей поднятие морского уровня на величину до 1 мм/год.

Подводя некоторые итоги по результатам анализа континентальной береговой зоны Баренцева и Карского морей, можно сказать, что её берега в большей мере формируются под воздействием морских волн и на значительном протяжении подвержены неотектоническому опусканию. Преобладание выровненного их контура позволяет считать, что такие берега находятся в стадии зрелости. Меньшую долю занимают выравнивающиеся абразионно-бухтовые берега первичного структурно-денудационного и вторичного абразионного расчленения, развитие которых можно отнести к стадии юности. Подчинённое значение имеют берега с отмирающими клифами, этап развития которых можно отнести к стадии их старости.

Берега моря Лаптевых.

От Таймыра до Верхоянского хребта побережье моря Лаптевых выработано в пределах Северо-Сибирской низменности Сибирской (Восточно-Сибирской) платформы. Восточный фиардово-шхерный берег Таймыра по направлению к Хатангскому заливу сменяется аккумулятивным, развитым в условиях низменного предгорья, сложенного рыхлыми морскими и аллювиальными отложениями. Берега Хатангского залива термоабразионные и термоабразионно-бухтовые с довольно широкими осушками. В районе бухты Нордвик берег выровненный и представлен отмершим клифом. До Оленёкского залива широко развиты выровненные абразионные берега, причём от Анабарского залива на восток преобладают термоабразионные процессы, приводящие к отступанию суши со скоростями до 4-5 м/год, а иногда и более высокими (до 10-20 м/год). Этот выровненный участок береговой линии заканчивается аккумулятивным мысом-косой Терпяй-Тумус, где берег вследствие термоабразии отступает со скоростью до 4 м/год. Анабарский залив является эстуарием одноимённой реки, которая не образует дельты. Его берега абрадируются со скоростью в десятки см/год. Южнее м. Терпяй-Тумус берег представлен отмершим клифом, за которым следует термоабразионный берег в аллювиальных отложениях, сменяющийся многорукавной дельтой р. Оленёк, а за ней – абразионным клифом, выработанным в мезозойских породах. На всём этом участке встречаются осушки и аккумулятивные береговые валы.

Дельта р. Лена – самая крупная на побережье Северного Ледовитого Океана. Её площадь составляет 28,5 (32?) тыс. км². Южная часть дельты, включающая о. Харданг-Сисе, представляет собой останец раннечетвертичной аллювиальной равнины высотой до 50 м и более. Берега острова и залива Куба (на

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

северо-западе острова) термоабразионные. Западная часть дельты представлена сложенным верхнечетвертичными алевритами островом Арга-Муора-Сисе, мористый край которого подвержен термоабразии. Из продуктов разрушения строится островной бар с дискретной протяжённостью более 70 км. Восточная часть дельты современная, нарастающая. Она формируется с позднего голоцена, а её современная гидросеть не старше 800-1000 лет. Эта часть дельты состоит из множества мелких островков высотой до 5 м и проток. Вся поверхность дельты р. Лена характеризуется интенсивной заозеренностью, особенно в её южной, наиболее древней части. Территория дельты подвержена неотектоническим блоковым движениям, скорость которых в голоцене достигает 3мм/год. Берег полуострова Быковский сложен терригенно-морскими отложениями и подвержен активной термоабразии. Западный берег зал. Буор-Хая денудационный, сложен терригенными породами пермо-триасового возраста, образующими обвалы и осыпи. В кутовой части залива берег отмельный, аккумулятивный, с хорошо выраженной осушкой. Он протягивается до дельты р. Омолуй, севернее которой берег выровненный, термоабразионный. Восточный берег залива стабильный, с отмирающими термоабразионными клифами и пляжами. В строении дельты р. Яна преобладают прибрежно – морские отложения типа причленённых баров, по которым развиваются термокарстовые озёра. Формирование дельты началось около 4 тысяч лет назад., а современный облик и характер гидросети существуют не более 600 лет. Далее, вплоть до Ванькиной губы прослеживаются отмельные осушковые берега. Губа отличается развитием гравийно-галечных пляжей. Полуостров Широкостан сложен мёрзлыми аллювиально-озёрными пылеватыми отложениями, называемыми едомой, и характеризуется чередующимися термоабразионными и аккумулятивными

участками с осушками. Мыс Святой Нос сложен коренными породами, образующими крутые денудационно-абразионные берега. Возраст современных береговых форм моря Лаптевых составляет 6-2 тыс. лет. Его берега испытывают преимущественное поднятие со скоростью около 0,5мм/год, а на отдельных участках более 2мм/год.

Берега Восточно-Сибирского моря.

Западные берега Восточно-Сибирского моря выработаны в пределах Приморской низменной равнины, сложенной аллювиально-озёрными и в меньшей степени – морскими отложениями четвертичного возраста. Восточнее м. Св. Нос до устья р. Колымы прослеживается выровненный термоабразионный берег, прерывающийся в районах Гусиной губы и устья р. Индигирка дельтами выдвигания. Дельта Индигирки в значительной мере образована отложениями береговых баров, а вдоль проток – аллювием. Она формировалась на протяжении 4 тыс. лет, а современный облик приобрела не ранее 1000 лет назад. Реки Индигирка и Колыма разделены Алазейским выступом, где наряду с термоабразионными берегами встречаются аккумулятивные участки с осушками. Восточное окончание выступа представлено термоабразионным мысом Крестовским, где скорость отступления берега оценивается неоднозначно. По некоторым данным она достигает 11м/год. Наибольшие скорости термоабразии наблюдаются на южном побережье о.Большой Ляховский – в 1955-1958 гг. они достигали 10-12 м/год, максимально до 30 м/год. Устьевая область р. Колыма характеризуется дельтой выполнения, формирующейся в значительной мере за счёт термоабразионного обрушения берегов проток. На всём протяжении от м. Св. Нос до устья р. Колыма берега испытывают слабое дифференцированное поднятие со скоростью превышающей

трансгрессивный эффект на величину до 0,5 мм/год. По направлению к Чаунской губе берег выровненный, состоящий из клифов термоабразионно-солифлюкционного происхождения и абразионного происхождения в коренных породах, а также аккумулятивных участков с пляжами и осушками. Берега Чаунской губы отличаются разнообразием, обусловленным разным геологическим строением отдельных участков и экспозицией к волнам и солнцу. Преобладают термоабразионные берега с отмирающими и отмершими клифами. В устьях небольших рек здесь сформированы пляжи и осушки. Берега дифференцированно поднимаются со скоростью 0,5-1 мм/год. К востоку от Чаунской губы берег приглубый с уклонами 0,01-0,02. От м. Шелагинского до зал. Нольде типичны выровненные абразионно-аккумулятивные берега с высокими абразионными клифами, выработанными в коренных породах, и аккумулятивные участки, сложенные галечниками. Далее, за небольшим участком термоабразионного берега в районе м. Аачим, протягивается выровненный галечный аккумулятивный берег. Этот берег переходит в м. Биллингса, который отделяет крупную лагуну Валькакиманка и морфогенетически является баром. На всём протяжении берега дифференцированно поднимаются со скоростью 1-1,7 мм/год.

Берега Чукотского моря.

От м. Якан до Колючинской губы преобладают выровненные береговыми барами-пересыпями аккумулятивные берега, сложенные гравийно-галечным материалом. Исключение составляет участок м. Шмидта, сложенный кристаллическими породами, где берег абразионно-денудационный. Берега поднимаются со скоростью, на 0,6-2 мм/год превышающей скорость поднятия уровня моря (Никонов, 1978, Золотарская и др., 1987). Берега Колючинской губы невысокие, но обрывистые, представлены

термоабразионными клифами. В её кутовой части развиты осушки. Генетически губа является крупным лиманом, образовавшимся вследствие голоценовой ингрессии моря в долину р. Ионивеем. По направлению на восток вдоль берега, сложенного материалом ледниково-морского происхождения, протягивается коса Беляк. Восточнее м. Дженретлен, сложенного гранито-гнейсами, отмечается ряд выступов побережья, также сложенных кристаллическими породами, образующими абразионно-денудационные, в основном обвалистые, берега. Местами к урезу воды выходят палеозойские метаморфизованные осадочные толщи, в пределах которых формируются выровненные абразионные берега. Далее к Берингову проливу расположена лагуна Уэлен, отгороженная от моря галечной пересыпью поперечного и вдольберегового питания, образующей выровненный аккумулятивный берег, поднимающийся, как и соседние западные расположенные берега, со скоростью около 1,5 мм/год. Выходящий к проливу м. Дежнёва сложен гранитами и сиенитами, которые образуют обрывистый денудационный берег, поднимающийся со скоростью более 2 мм/год. В целом, побережье Чукотского моря характеризуется преобладанием аккумулятивных берегов и является самым крупным на арктическом побережье регионом с широким развитием лагунных берегов.

Завершая обзор береговой зоны восточного сегмента российской Арктики, можно отметить, что в морях Чукотском и Лаптевых он характеризуется возрастанием динамического воздействия морских волн в восточном направлении, а в Восточно-Сибирском - в западном. Интенсивность волнового воздействия по мере убывания изменяется от наиболее сильной в Чукотском море до наименьшей в западной части Восточно-Сибирского моря. Вследствие

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

мелководности этих морей и их прибрежных зон развивающиеся здесь ветровые морские волны короткопериодные и крутые с максимальной высотой до 4м. Подходя к берегу под острым углом, они создают большое разнообразие аккумулятивных форм.

Подводя некоторые итоги анализа морской береговой зоны арктических морей России, можно сказать, что исходный контур современной береговой линии определен степенью исходной субаэральной расчленённости рельефа земной поверхности, которая затоплялась в ходе морской трансгрессии во второй половине голоцена. В результате взаимодействия моря и суши берега находятся в разной стадии их геоморфологического развития - от юной (начальной), когда берега не изменены морем (денудационные, сбросовые и др.) до зрелой (выровненные берега) и дряхлой, когда вдоль уреза воды протягиваются отмершие клифы.

Наиболее широко распространены низменные берега со слабо расчленённым рельефом приморских равнин, в геологическом строении которых в западном сегменте доминируют валунные суглинки, песчано-галечный и песчаный материал, а в восточном - аллювиальные, озёрно-болотные, флювио-гляциальные отложения, которые, как правило, многолетнемерзлые или многолетнеохлаждённые, образующие криогенные берега (термоабразионные, термоденудационные, абразионно-солифлюкционные и др.), занимающие около 60% протяжённости береговой линии. Предполагается, что за последние 5-6 тыс. лет термоабразией срезана полоса суши шириной до 10-30, а в отдельных местах до 50 км. Разная скорость абразии определяется геологическим строением берегов, уклонами исходной поверхности, её высотой над уровнем моря, степенью льдистости, климатическим и обусловленным им гидродинамическим

факторами, новейшей тектоникой, т.е. в основном природными причинами. Однако антропогенные и природно-антропогенные факторы в настоящее время также играют существенную роль (Безопасность России, 1999).

Наибольшая интенсивность абразионных процессов зафиксирована в Архангельской области, республике Саха-Якутия, в акватории Восточно-Сибирского моря. Как следует из Таблицы 1, поражённость берегов абразионным процессом превышает 50% на побережье Белого моря, Ненецком Автономном Округе, на Земле Франца Иосифа (до 87%!), на Ляховских и Новосибирских островах. Не все берега по своей ценности требуют каких то мер защиты. Так, вряд ли имеет смысл затрачивать огромные средства на защиту берегов моря Лаптевых, где скорость абразии достигает 55 м/год и где за несколько десятилетий исчезли острова Фигурина, Дионида и Меркурия. Также вряд ли имеет первоочередную важность защита берегов Якутии (скорость абразии до 7,5 м/год). Защите, в основном, подлежат участки развития нефтегазового комплекса в Западной Сибири (Айбулатов, 2005). Под влиянием глобального потепления климата в ближайшие 50 лет ожидается повышение уровня океана и сокращение зоны вечной мерзлоты в Якутии и Западной Сибири на 15-20%, что приведет к резкому усилению процессов абразии, интенсивность которых увеличится на порядок (Айбулатов, Артюхин, 1993).

Основные типы берегов (более детально они показаны на рис. 1, 2) представлены: 1-выровненными волновыми процессами абразионными, абразионно-аккумулятивными (когда, обычно в вогнутостях берега, сформированы примкнувшие аккумулятивные террасы, пляжи, береговые валы) и аккумулятивными разновидностями (в последнем случае обычно представлены аккумулятивными террасами, баррами-пересыпями, косами,

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

дельтами). Динамическое состояние таких берегов определяется, главным образом, количеством поступающего в береговую зону осадочного материала и относительными вертикальными неотектоническими движениями соответствующих территорий; 2-неизменёнными волновыми процессами берега, сложенные кристаллическими или метаморфическими осадочными породами. Динамическое состояние таких берегов в большей мере определяется денудационными процессами. На подводных береговых склонах осадочный покров, при преобладании песчаного материала, более разнообразен в западном сегменте российской Арктики.

Оценивая геоэкологический аспект состояния береговой зоны арктических морей России, можно сказать, что в экологическом отношении наибольшему стрессу подвержены районы литодинамических и геохимических барьеров, к которым прежде всего относятся приустьевые участки и дельты рек. С литологической точки зрения экологическая напряжённость возрастает с увеличением тонкозернистости осадков, распространённых в её пределах. И она тем выше, чем больше скорость осадконакопления, особенно тонкого материала - мелкого алеврита, пелита, глинистых частиц. Менее напряжёнными являются участки, приуроченные к положительным неотектоническим структурным формам, особенно если они ориентированы вдоль направления горизонтальных потоков вещества, а также участки склона с относительно крутыми уклонами (более 0,01) и приглубых берегов. Экологически благополучными являются участки абразии и зоны транзита осадочного вещества с большими значениями энергии волнений и разного рода течений (Мезенский залив, Горло и Воронка Белого моря и др.). Важным фактором переноса загрязняющих веществ являются припайные льды, и в этом отношении экологически наиболее

благополучным являются береговые зоны морей восточно-арктического сегмента, поскольку ледовая обстановка создаёт здесь большой потенциал к их самоочищению. Потенциальная экологическая напряжённость связана также с отрицательными неотектоническими структурными формами, где происходит накопление адсорбентов в виде тонкодисперсных осадков (грунтов), аккумулирующих загрязнители.

В заключение отметим, что геоэкологический фон береговой зоны арктических морей России в целом благополучный. Однако её некоторые конкретные районы, как урбанизированные, так и планируемые к антропогенному освоению требуют специального изучения.

ЛИТЕРАТУРА

Айбулатов Н. А. Проблемы геоэкологии шельфа и морских берегов// Геоэкология. 1993, №3. С. 3-17

Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии./ М., Наука, 2005. 364 с.

Айбулатов Н. А., Артюхин Ю. В. Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана./ СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 304 с.

Бадюкова Е. Н., Лукьянова С. А., Рычагов Г. К., Соловьёва Г. Д. Современные изменения морских берегов мира./ Современные глобальные изменения природной среды. Т. 2. М.: Научный мир, 2006. С. 11- 86

Безопасность России: Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Экологическая безопасность, устойчивое развитие и природоохранные проблемы. Коллективная монография под ред. К.Фролова./ М., МГФ «Знание», 1999, 704с.

Береговые процессы в криолитозоне. Новосибирск, Наука, 1984. 136 с.

Вильнер Б. А. Особенности динамики берегов северных морей./ Динамика и морфология морских берегов. М.: АН СССР, 1961. С. 14-22

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Геоэкология шельфа и берегов морей России. М.: Ноосфера, 2001. 427 с.

Динамика арктических побережий России. М.: МГУ, 1998. 248 с.

Золотарская С. Б., Никитенко Ю. П., Уфимцев Г. Ф. Восточная Сибирь и Дальний Восток./ Процессы формирования рельефа Сибири. Новосибирск: Наука, 1987. С. 116-121

Ионин А. С., Каплин П. А., Медведев В. С. Типы берегов и побережий Мирового океана, их классификация и вопросы районирования./ Теоретические вопросы динамики морских берегов. М.: Наука, 1964. С. 19-32

Калинина Л. И., Лукьянова С. А., Соловьёва Г. Д. Картирование абразионных берегов России// Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1992, № 3. С. 46-50

Каплин П. А., Леонтьев О. К., Лукьянова С. А., Никифоров Л. Г. Берега. М.: Мысль, 1991. 479 с.

Концептуальные проблемы геоэкологического изучения шельфа./ СПб.: РАН, 2000. 160 с.

Корейша М. М., Ривкин Ф. М., Иванова Н. В. Классификация берегов Арктических морей России для целей их инженерной защиты./ М-лы Междунар. Конфер.»Экстремальные криосферные явления: фундаментальные и прикладные аспекты». М.: ПНЦ РАН, 2000. С. 65-66

Кортаев В. Н. Эстуарно-дельтовые системы: морфология, эволюция и современная динамика./ Современные глобальные изменения природной среды. Т. 2. М.: Научный мир, 2006. С. 118.

Леонтьев О. К., Лукьянова С. А., Никифоров Л. Г. и др. Типы берегов и побережий Мирового океана. Комплексные исследования природы океана. 1979, вып. 6. С. 28-44

Морфология и динамика береговой зоны Печоро-Карского региона. М.: МГУ, 1985. 232 с.

Невесский Е. Н., Медведев В. С., Калинин В. В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.

Осипов В. И. Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты//Геоэкология.

Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1997, № 1. С. 3-11

Павлидис Ю. А., Щербаков Ф. А. Современные донные осадки арктических морей Евразии// Океанология, 2000. Т. 40, № 1. С. 137-147

Победоносцев С. В. Вертикальные движения побережий морей Европейской части СССР./ Колебания уровня морей и океанов за 15000 лет. М.: Наука, 1982. С. 93-102

Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология: XXI Международная береговая конференция. Калининград, КГУ, 2004. 289 с.

Проблемы геоэкологии акваторий и побережий. СПб.: ПГО «Севморгеология», 1991.141с.

Сафьянов Г. А. Береговая зона океана в XXI веке. М.: Мысль, 1978. 263 с.

Сафьянов Г. А. Состояние геосистемы береговой зоны океана./ Современные глобальные изменения природной среды. Т. 2. М.: Научный мир, 2006. С. 11- 86

Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозойе. Л.: Гидрометеоздат, 1970.562 с.

Совершаев В. А. Берегоформирующие факторы и районирование берегов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского по динамическому принципу./ Автореф. Дисс. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1980. 24 с.

Суздальский О. В. Литодинамика мелководья Белого, Баренцева и Карского морей./ Геология моря. Вып. 3, 1974. С. 27-33

Трофимов В. Т., Зилинг Д. С. Фундаментальные понятия экологической геологии// Известия секции наук о Земле РАЕН. 2000, 5. С. 85-95

Berichte zur Polar-und Meeresforschung.- Bremerhaven, AWI. 2000, № 426. 186 s.

Bruun P. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two- and three-dimensional usages // J. of Coastal Res. 1988. V. 4. № 4. P. 62

Hallermeier R.G. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate // Coastal Eng., 1981. Vol.4. P.253-277

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Hanson H. GENESIS: a generalized shoreline change numerical model // J. of Coastal Res. 1989. V. 5. № 1. P. 1-27.

History and Development of Arctic Coastal Dynamics (ACD)./ Arctic Coastal Dynamics.- Berichte zur Polar-und Meeresforschung.- Bremerhaven, AWI. 2005, v. 506. S. 2-4

Inman D.L., Elwany H.S., Jenkins S.A. Shorerise and bar-berm profiles on ocean beaches // J. of Geophys. Res. 1993. Vol. 98. № C10. P.18181-18199.

Leont'ev I. O. Modelling erosion of sedimentary coasts in the Western Russian

Arctic // Coastal Engineering. 2003. V. 47. P. 413 – 429.

Rachold V., Grigoriev M. N., Are F. E. et al. Coastal erosion vs. Riverine sediment discharge in the Arctic shelf seas// Intern. Journ. Of Earth Scienses (Geol. Rundsch.), 89. S. 450-460

Раздел 3.3. Анализ нарушений природных ландшафтов АЗРФ

Содержание

- 3.3.1. Типы природных ландшафтов АЗРФ
 - 3.3.2. Обзор антропогенных воздействий в АЗРФ
 - 3.3.3. Антропогенные воздействия и деградация земель
 - 3.3.4. Анализ мерзлотных факторов устойчивости и динамики ландшафтов АЗРФ
 - 3.3.5. Динамика ландшафтов АЗРФ при потеплении климата
 - 3.3.6. Природные и антропогенные факторы абразии берегов
 - 3.3.7. Типология и география техногенных воздействий и нарушений природных ландшафтов АЗРФ
 - 3.3.7.1. Нарушения растительного покрова
 - 3.3.7.2. Нарушения почвенного покрова
 - 3.3.8. Заключение.
- Список использованной литературы

3.3.1. Типы природных ландшафтов АЗРФ

Ландшафты района исследований формируются в условиях дефицита тепла, крайне непродолжительного вегетационного периода, почти повсеместного развития многолетней мерзлоты, высокой степени переувлажнения и т.д. (Евсеев, Красовская, 1996). Район расположен в двух географических поясах – арктическом и субарктическом (дальнейшая трактовка арктического и субарктического пояса не является основанием для пересмотра границ АЗРФ). Условно к нему можно отнести и северную часть умеренного пояса. Ландшафты островной и континентальной Арктики находятся под влиянием омывающих ее морей Северного Ледовитого океан. Ландшафты арктического региона характеризуются особенностями природных условий, к числу которых следует отнести:

- особую суровость и континентальность климата;
- повсеместное распространение многолетней мерзлоты;
- большое разнообразие геологических образований. Сочетание обширных, крупнейших в мире низменностей и равнин с большими и разнообразными плоскогорьями, горными массивами;
- зональное разнообразие ландшафтов от полярных пустынь до редкостойной северной тайги;
- самый разнообразный набор арктических и тундровых ландшафтов.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Специфика ландшафтов Арктики определяется, прежде всего, ее приполюсным географическим положением.

Арктический пояс – это область арктических пустынь, представленная на островах Северной Земли, Земли Франца-Иосифа, северной части Новой Земли, а также на континентальной части севера полуострова Таймыр. Для ледниковых ландшафтов этого пояса характерны ледяные купола, на поверхности которых поселяются снежные водоросли. Лишь небольшие свободные ото льда площади представлены ландшафтами полярных пустынь, где наблюдается распространение оголенных поверхностей земли, скал и россыпей камней. Наиболее стойкие растения и организмы скрываются между плитами скал и на их нижней поверхности. Они представлены налетами одноклеточных зеленых и сине-зеленых водорослей, накипных лишайников, печеночников и литофильных мхов. Отдельные высшие растения скупо разбросаны по защищенным укрытиям на значительном расстоянии друг от друга. Ценоотические связи между ними отсутствуют, корневые системы не сомкнуты, набор видов случаен, определяется заносами и возможностью вида выжить.

Субарктические ландшафты объединяют зоны тундры и лесотундры. В широтном отношении они подразделяются на арктические тундры, типичные тундры, южные тундры, лесотундры и редкостойные северные таежные леса. Выделяют три типа субарктических ландшафтов: восточно-европейско-западно-сибирские, восточно-сибирские и дальневосточные. В растительном покрове субарктических ландшафтов преобладают многолетние виды, низкорослые, приспособленные к использованию слоя приземного тепла и защитных функций снежного покрова (рис. 1).

Рис. 1. Горные ландшафты Субарктики

Для лесотундры и северных редколесий характерна угнетенность древесных видов, разреженность и осветленность древостоев, наличие ярусов кустарников, кустарничков, мхов и лишайников. На европейской территории выделяются южно-тундровые ландшафты в пределах Кольской, Канинской, Тиманской, Малоземельской, Большеземельской тундр (рис. 2-3). Типично тундровые ландшафты выделяются в пределах полуостровов Ямал, Гыдан и Таймыр. От Таймыра до Чукотки, от Хатангского залива до Колымы протянулась полоса ландшафтов равнинных мохово-лишайниковых и кустарничковых тундр. Специфическими ландшафтами засушливых континентальных районов субарктического пояса являются тундростепи (криостепи), получившие распространение на севере Якутии и Чукотки. Для них типичны дерновинные злаки и

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

осоки с участками ксерофильных лишайников и мхов. Наряду со степными злаками, встречаются тундровые кустарнички. Степень проективного покрытия не превышает 30%.

Рис. 2. Тундра Кольского полуострова	Рис. 3. Большеземельская тундра в районе Воркуты

Лесотундровые ландшафты образуют переход от тундры к тайге. В них доминируют тундровые кустарники и кустарнички, затем появляются угнетенные деревья и редколесье. Состав древесной растительности существенно меняется по широте и долготе. На Кольском полуострове в составе древесных пород преобладают низкорослые березы, частично сосны. Ближе к Уралу появляется ель сибирская. В Западной Сибири в ландшафтах преобладает лиственница сибирская, частично ель сибирская. В Восточной Сибири преобладает в ландшафтах лиственница Гмелина. Значительные части водораздельных поверхностей этих районов заняты болотами. На Дальнем Востоке переход от тундры к тайге представлен своеобразной притихоокеанской лугово-лесной зоной. Зональный тип растительности здесь образуют разреженные леса из каменной березы.

Северная часть умеренного пояса в восточно-европейской зоне представлена разреженными еловыми лесами со значительным участием березы пушистой. На востоке этой зоны появляется лиственница Гмелина. В наземном покрове – кустарнички, аналогичные тундровым. Для Западной Сибири характерно развитие редкостойных лиственничников и лиственнично-еловых лесов. В Средней и Восточной Сибири господствующее положение занимают лиственничные леса. Часто встречаются заболоченные участки с ерником, кустарничками и сфагнумом. Почвенный покров представлен различными вариантами подзолистых и болотных почв.

Согласно предложенному А.Г. Исаченко районированию ландшафтно-экологического потенциала рассматриваемую территорию Субарктики России можно подразделить на ряд провинций, ландшафты которых имеют свои особые черты и характеризуются близкими физико-географическими показателями. Выделенные эколого-географические районы в интерпретации Т.М. Красовской (2008), представленные в таблице 3.3.1, являются основой для планирования развития регионально адаптированного природопользования, не превышающего емкость ландшафтов территории.

Ландшафтно-экологическое районирование Субарктики России, в границах района исследования (Красовская, 2008)

Сектор	Зона (подзона)	Площадь, тыс. м ²	Провинция	Подпровинция
Восточно-Европейский	Субарктическая	310,3	Южная Новоземельская	Тундровая
			Кольская	Тундровая и лесотундровая
			Канинско-Тиманская	
			Нижнепечорская	
			Полярно-Уральская	Тундровая
	Таежная	526,1	Кольская	Северотаежная
			Двинско-Мезенская	Северотаежная
			Тиманская	Северотаежная
			Печорская	Северотаежная
Североуральская			Северотаежная	
Западно-Сибирский	Субарктическая	342,1	Ямало-Гыданская и Нижнеенисейская	Тундровая и лесотундровая
	Таежная	596,0	Обско-Зауральская	Северотаежная
			Обско-Иртышская	Северотаежная
			Приенисейская	Северотаежная
Средне-Сибирский	Субарктическая	1007,3	Таймырская и Лено-Анабарская	Тундровая
	Таежная	857,3	Путорано-Анабарская	Лесотундровая
			Путоранская	Северотаежная
			Анабарско-Котуйская	Северотаежная
			Оленекская	Северотаежная
			Тунгусская	Северотаежная
Восточно-Сибирский	Субарктическая	438,4	Лено-Колымская	Тундровая и лесотундровая
	Таежная	1509,7	Нижнеленская	Северотаежная
			Колымо-Индигирская	Северотаежная
			Верхояно-Колымская	Северотаежная
Дальне-Восточный	Субарктическая	761,9	Чукотско-Корякская	Тундровая и лесотундровая

При физико-географическом районировании российской Арктики выделяют ключевые районы, расположенные во всех ландшафтных зонах: экстроконтинентальный Восточно-Сибирский, континентальный Западно-Сибирский и умеренно-континентальный Восточно-Европейский. Важнейшими особенностями арктических ландшафтов являются:

- повышенная подверженность планетарно-космическим воздействиям;
- повышенная зональная дифференциация и градиентность среды;
- молодость ландшафтов при реликтовости многих их компонентов;
- повышенная активность стихийно-разрушительных явлений;
- упрощение видового разнообразия органического мира.

Эти особенности географической обстановки делают ландшафты арктической зоны РФ весьма чувствительными к внешним антропогенным воздействиям.

3.3.2. Обзор антропогенных воздействий в АЗРФ

Политика освоения арктического региона на протяжении десятилетий была связана с моноиндустриальным природопользованием, для которого характерна ориентация промышленности преимущественно на добычу и первичную переработку сырьевых ресурсов, часто по устаревшим технологиям. И на сегодняшний день удельный вес предприятий по добыче и переработке природных ресурсов, функционирование которых сопровождалось образованием значительного количества твердых, жидких и газообразных отходов, составляет около 70%.

До начала XX в. природопользование российской Арктики носило экстенсивный характер, базовыми направлениями которого являлось оленеводство, морской промысел, охота, рыбная ловля и ограниченно – лесозаготовки. Изменившаяся с начала 20-30-х годов структура природопользования и концепция освоения этого региона отдавали приоритеты развитию промышленности в ущерб традиционным отраслям хозяйства, что привело к возникновению обширных очагов сильного загрязнения и изменения природной среды (Стратегическая программа действий..., 2009). Этот этап освоения связан с разрушением северной природы на значительных площадях в результате химического загрязнения и механических нарушений вокруг сформировавшихся промышленных центров. Деградация природной среды перерастает локальный масштаб, приобретая региональный характер.

Антропогенное воздействие проявляется в загрязнении природной среды Арктики, в первую очередь химическом и физическом (радиационное и тепловое), а также в активизации деструктивных мерзлотных процессов, что негативно отражается на состоянии ландшафтов региона.

Химическое загрязнение природной среды является результатом неконтролируемых или слабо контролируемых сбросов-выбросов загрязняющих веществ с промышленных предприятий и охватывает около 600 тыс. км². Механические нарушения ландшафтов составляют, по данным землеотвода, около 30 тыс. км², однако следует учитывать, что реальная площадь нарушений обычно превышает в 3-5 раз официальные цифры. Наиболее сильные изменения охватывают территорию в 80 тыс. км², на которой наблюдаются коренные изменения геосистем, их частичная или полная деградация (Евсеев, Красовская, 2010).

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Общий характер техногенных воздействий на геосистемы Арктики определяется такими видами человеческой деятельности, как антропогенное изменение ландшафтов и их компонентов; изъятие природных ресурсов; загрязнение природной среды.

Основные негативные изменения в ландшафтах Арктики связаны со следующими причинами:

- хозяйственное освоение, не соответствующее экологической емкости природной среды при практическом отсутствии адекватных мер по ее реабилитации;
- ограниченный спектр хозяйственного использования природных ресурсов территории;
- конфликт между различными видами природопользования.

Совокупность перечисленных видов антропогенного воздействия и обуславливает появление в регионе **импактных районов (горячих точек)**, представляющих собой очаги экологической напряженности и нарушений природных ландшафтов различного ранга (Evseev, Belousova, 2000).

Загрязнение окружающей природной среды предприятиями *цветной металлургии* является причиной наиболее значительных глубоких изменений в арктических ландшафтах. Это наглядно иллюстрирует состояние природной среды вблизи промплощадок Норильска, Никеля и Мончегорска. Кроме основного металлургического производства, химическое загрязнение экосистем связано и с вспомогательными предприятиями, а также сопутствующими карьерами, отвалами, хвостохранилищами. Результатом явилось развитие участков с наиболее сильной трансформацией ландшафтов (зоны техногенных пустошей), сформировавшихся вблизи промплощадок. Для них характерны полная деградация растительного покрова (редкостойная тайга), сильно эродированные почвы (горизонт «В» выходит на поверхность), практически стертые различия высотных зон на прилегающих горных склонах. Постепенно территория покрывается разнотравьем, злаками и осоками, более устойчивыми к химическому загрязнению и частично препятствующими деградации почв. Результатом химического загрязнения также является сокращение площадей ягельников (на Таймыре), что негативно отражается на оленеводстве, составляющем основу хозяйственной деятельности малых народностей Севера. Повышенные уровни накопления токсических веществ в экосистемах отражаются на здоровье местного населения, что проявляется в повышенных показателях заболеваемости бронхо-легочными, онкологическими и кожными заболеваниями.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Загрязнению окружающей среды *предприятиями горнодобывающей промышленности* подвержены площади арктической зоны в сотни квадратных километров. Крупнейшие центры горнодобывающей промышленности расположены в Мурманской области (Апатиты, Кировск, Ковдор, Оленегорск, Мончегорск), на Севере Средней Сибири (Норильск-Талнах), на севере Якутии (Депутатский), на Чукотском полуострове (Валькумей, Певек, пос. Шмидта). В отличие от металлургических объектов здесь наиболее ярко выражены механические нарушения ландшафтов, а непосредственно химическое загрязнение обусловлено переносом большого количества токсичных соединений в виде пыли с обогатительных комплексов, карьеров, хвостохранилищ, отвалов и пр. В географическом отношении наиболее ярко подобный тип деградированных территорий выражен на Кольском полуострове, где в районе деятельности АО «Апатит» ежегодно в ландшафтах складировается более 30 млн. т отработанной породы, что занимает большие площади. В результате образовался достаточно мощный ареал распространения техногенных поллютантов – около 3000 км² (Красовская, 2008). Влияние промышленного производства не приводит к опустыниванию и интенсивной деградации ландшафтов, как вблизи предприятий цветной металлургии. Однако все же происходит попадание в почвы и растительность больших количеств токсичных соединений (до 70 тыс. т в год) в виде пылевых выбросов с обогатительных фабрик и хвостохранилищ АО «Апатит». Как следствие этого, вблизи предприятий наблюдается частичное усыхание растений, в первую очередь хвойных, выпадение малоустойчивых видов, особенно мхов и лишайников. Происходит изменение физико-химических свойств почв. Оседая на почву и накапливаясь на ее поверхности, пылевые частицы формируют своеобразный антропогенный горизонт, препятствующий нормальному развитию растений. В целом, согласно проведенным исследованиям, подобный тип антропогенного воздействия наиболее сильное негативное влияние оказывает на северотаежные геосистемы по сравнению с тундровыми.

Наиболее крупные горнодобывающие предприятия других районов связаны с разработкой и обогащением оловосодержащих руд (Депутатский, Валькумей). Однако, на этих территориях деградация ландшафтов выражена не столь ярко и площади антропогенных изменений составляют лишь десятки квадратных километров. В районах угледобывающей промышленности, наиболее ярко представленной в Республике Коми (Воркута, Инта), вблизи Норильска (Кайеркан), на Чукотском полуострове (Анадырь, Илуктин), наблюдаются аналогичные процессы.

Влияние *нефтегазового комплекса*. Добыча и транспортировка углеводородного сырья в арктических регионах России создают мощное антропогенное воздействие не

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

только на экосистемы суши, но и через систему стока начинают оказывать заметное давление на морские экосистемы Арктики. Особенно высоки нагрузки на ландшафты тундры, лесотундры и северной тайги Западной Сибири и Большеземельской тундры. Количество аварий на отдельных промыслах неодинаково, но прямо связано с размерами месторождений и соответственно общим количеством технических объектов на его территории, длительностью их эксплуатации, плотностью технических нагрузок на кв. км промысла. Каждый из них является потенциальным источником воздействия на окружающую среду.

При такой плотности технических объектов число аварий на промыслах в год только в Западной Сибири превышает 40 000. Возможная площадь загрязнения нефтяными углеводородами территорий вокруг кустов скважин в среднем оценивается в 2300 м². В таких условиях непрерывно загрязняются и выводятся из строя значительные площади земель.

Средние размеры аварийных разливов оцениваются в 0,5-1,5(2,0) га, в то время как площади катастрофических разливов составляют квадратные км (например, площадь аварии Возей - Головные сооружения превышали 60 км²). Сброс в окружающую среду таких огромных объемов нефтяных углеводородов и загрязнение почв, поверхностных, грунтовых и подземных вод приводит не только к экологическому неблагополучию на очень больших территориях суши, крупным экономическим потерям, но вследствие высокой подвижности поллютантов представляют серьезную угрозу для водных экосистем, включая моря Арктического бассейна.

Практически все вещества, входящие в состав формирующихся на промыслах техногенных потоков, геохимически активны, очень подвижны, способны активно взаимодействовать с вмещающими природными системами, часто высоко токсичны (среди них много веществ 1-2 классов опасности) и соответственно опасны для природной среды, особенно биоты. В результате нефтедобывающей деятельности за последние 30-35 лет природная среда арктической зоны подверглась беспрецедентному нефтяному прессу (особенно, если учесть практику сокрытия нефтедобывающими предприятиями аварий с экологическими последствиями). Глубокой трансформации подвергаются все компоненты ландшафтов, меняются почвенно-геохимические и ландшафтные процессы, что в свою очередь создает более «агрессивную» относительно технических объектов природную среду. Вторичные процессы - следствия усиливают потенциальную аварийность на территории промыслов.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Тяжесть возможных отрицательных экологических эффектов при загрязнении природной среды нефтью и нефтепродуктами обусловлена не только уровнями (объемами) собственно аварийного сброса поллютантов, но также особенностями их поведения в почвах и прежде всего активностью вторичной внутрипочвенной миграции (как вглубь почвы, так и от источника воздействия). Происходит постепенный сброс поллютантов в нижние горизонты почв, миграции к периферии ореола загрязнения и последующий «выход» за пределы первичного контура загрязнения—в окружающие «фоновые» почвы.

Накопление нефтяных углеводородов в наземных ландшафтах и подземной геологической среде привело (и продолжает приводить) к формированию специфических объектов — «Chemical time bombs (СТВ)» — долгоживущих вторичных источников загрязнения в почвах, грунтах, донных отложениях, подземных водах), определяющих непрерывную дестабилизацию природных процессов как «внутри» СТВ, так и в сопряженных с ними природных системах.

Суммарная нагрузка на природную среду нефтедобывающих предприятий, сосредоточенных в арктических регионах, определяют серьезную угрозу хронического загрязнения морей бассейна Северного Ледовитого океана, что с течением времени с большей долей вероятности может привести к дестабилизации ледового покрова Арктики и тяжелым глобальным последствиям.

Влияние *предприятий целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей отраслей* в большей степени отражается на состоянии поверхностных и грунтовых вод. К крупнейшим центрам целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, относятся Архангельск, Коряжма, Новодвинск. На целлюлозно-бумажных комбинатах ежегодно образуется миллионы тонн кородревесных отходов, что обуславливает негативные изменения наземных геосистем.

Влияние *предприятий топливно-энергетического комплекса*. Топливо-энергетические объекты в Арктике представлены серией крупных ТЭС, работающих на угле и мазуте, АЭС, а также мелких дизельных электростанций. Значительное воздействие оказывают различные тепловые электростанции, отопительные комплексы, работающие на угольном, чаще всего местном сырье. Данный вид топлива заметно ухудшает экологическую обстановку вокруг ТЭС, особенно при наличии других промышленных выбросов в атмосферу. Как показывает ряд исследований, шлейф от труб в зависимости от их высоты и физико-географических условий может достигать 10-20 км. Широкое использование в качестве топлива местного каменного угля является причиной

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

загрязнения наземных экосистем соединениями, названными выше. В районах складирования золоотвалов обнаружено заметное превышение величины ПДК в почвах по различным токсичным соединениям. Собственно под отвалами происходит загрязнение серой подстилающих почв и грунтовых вод. В результате интенсивно загрязненные поверхностные горизонты почвы оказывают влияние на видовой состав и химические характеристики растительного покрова. Отмечается резкое уменьшение доминирующих в тундровых ландшафтах мхов и лишайников, преобладание в составе фитоценозов низкорослых деревьев (ольха, ива, береза), кустарничков, злаков, осок. В сохранившихся видах фиксируются превышение содержания стронция, марганца, цинка, свинца и кадмия от 2 до 10 раз по сравнению с фоном. Кроме того, ТЭС производят опасное для Арктики тепловое загрязнение водных объектов и мерзлых грунтов.

Деятельность атомных станций (Полярные Зори, Билибино) не вызывает изменения наземных экосистем (содержание радионуклидов в них находится в пределах нормы). Потенциальную опасность в силу того, что объекты нуждаются в реконструкции вследствие длительного периода эксплуатации, представляют аварийные выбросы радионуклидов, имеющих возможность распространяться на большие площади и прочно фиксироваться местными ландшафтами на геохимических барьерах.

Роль транспорта в загрязнении окружающей среды Арктики. Транспортные центры арктической зоны (Мурманск, Салехард, Тазовский, Амдерма и др.) образуют очаги экологической напряженности различных масштабов вследствие загрязнения вод и почв нефтепродуктами, взвешенными веществами, тяжелыми металлами и значительных механических нарушений ландшафтов, особенно в районах с многолетней мерзлотой.

Воздействие военных объектов. Потенциальная опасность радиоактивного загрязнения Арктики сопряжена с расположенными на ее территории военными объектами, в первую очередь, деятельностью Северного Флота и Новоземельского государственного центрального полигона (ЦИП). Имеющиеся площадки для хранения твердых радиоактивных отходов не отвечают существующим требованиям, они открыты, незащищены от атмосферных осадков, не оборудованы системами их отвода. Вокруг них происходит радиоактивное загрязнение почв.

В меньшей степени антропогенное загрязнение вблизи военных объектов связано с разливом топлива на небольших площадях, свалками отработанной техники, бочек и пр.

В результате перечисленных антропогенных воздействий в Арктике сформировались импактные районы, характеризующиеся сильнейшей трансформацией естественного геохимического фона, загрязнением атмосферы, деградацией растительного

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

покрова, почв и грунтов, внедрением загрязняющих веществ в цепи питания, повышенной заболеваемостью местного населения.

Исследованиями последних лет в Арктике России удалось выявить территории с сильными изменениями и нарушениями природной среды. Эти негативные процессы связаны с загрязнением наземных и прибрежных морских и речных экосистем тяжелыми металлами, нефтепродуктами, органическими соединениями различного происхождения, соединениями азота и серы и т.д., механическими нарушениями почв и грунтов, перевыпасом на оленьих пастбищах.

3.3.3. Антропогенные воздействия и деградация земель

В последние десятилетия химическое загрязнение геосистем стало активно проявляться в районах разведки, добычи и транспортировки углеводородного сырья, особенно на севере Западной Сибири и северо-востоке ЕТР. Интенсивное освоение нефтяных и газовых месторождений привело уже к значительному накоплению в природных компонентах этих районов целого ряда загрязняющих веществ: нефтяных углеводородов, ПАУ, фенолов, конденсатов тяжелых металлов, а также к техногенному загрязнению почв. Все это приводит к непрерывному выводу из хозяйственного использования значительных площадей земель.

К основным факторам, способствующим деградации земель в Арктике, относятся фрагментация почвенно-растительного покрова и активизация деструктивных мерзлотных процессов, которые, в конечном счете, могут привести к необратимым экологическим последствиям.

Основными причинами деградации земель в северной тайге, лесотундре и южной тундре являются вырубка леса, а также лесные и тундровые пожары. Отмечается заболачивание гарей и отдельных районов вырубок. Здесь следует отметить достаточно низкую скорость восстановления зональной растительности в Арктике, чем в более южных регионах. Особо острой является проблема трансформации пастбищ домашнего северного оленя, составляющей в настоящее время более 60%.

Общая площадь земель, трансформированных в результате антропогенной деятельности, достигает в тундровой зоне 3% от общей площади материковой части российской Арктики (Евсеев, Красовская, 1996). При этом следует заметить, что в ряде районов (окрестности медно-никелевых комбинатов Норильска, Мончегорска и

Заполярного) в радиусе десятков километров нарушен почвенный покров, отмечается трансформация природных ландшафтов.

Наиболее интенсивная активизация процессов деформаций грунтов, термокарста и термоэрозии проявляется в очагах промышленного освоения и вдоль линейных сооружений (нефте- и газопроводов, железных и автомобильных дорог, линий электропередач и пр.). Ежегодный прирост некультивируемых нарушенных земель составляет: в нефтедобывающей промышленности – 5-6 тыс. га, в газовой промышленности – 2,5-3 тыс. га, на строительстве трубопроводов – 0,4-0,5 тыс. га.

Рекультивация земель в Арктике представляет собой труднейшую задачу. В арктических регионах технологии рекультивации загрязненных земель малоэффективны, а их регионально адаптированные схемы не разработаны. Традиционными способами рекультивируется около 50% земель, нарушенных при добыче газа, 60-70% – в нефтедобывающей отрасли и цветной металлургии.

3.3.4. Анализ мерзлотных факторов устойчивости и эволюции природных ландшафтов АЗРФ

Формирование, устойчивость и эволюция ландшафтной оболочки АЗРФ определяются важнейшими зональными факторами природной среды: суровыми зонально-климатическими условиями, угнетенным состоянием почвенно-растительного покрова, режимом полярного дня и полярной ночи, сезонно- или многолетнемерзлым состоянием верхних горизонтов литосферы, т.е. переходом температуры пород к отрицательным значениям, а грунтовой влаги в лед (Стратегическая программа действий, 2009). Именно лед и фазовые превращения воды являются ведущим модератором всех естественных процессов в литогенной основе ландшафтов АЗРФ и ведущим агентом морфолитогенеза в криолитозоне. В приповерхностных горизонтах литосферы лед как горная порода и минерал находится в термодинамических условиях, близких к точке фазовых превращений и, следовательно, в квазистабильном состоянии. Поэтому устойчивость и дестабилизация ландшафтов криолитозоны определяется не только внешними механическими воздействиями, но и изменением термодинамического состояния мерзлой литогенной основы. Любая естественная или техногенная причина, способная привести к повышению температуры мерзлых грунтов выше 0°C, вызовет дестабилизацию основы и потерю ею устойчивого состояния (Соломатин, Кочемасов, Моргунов, 2007).

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Следовательно, основными показателями, определяющими устойчивость функционирования ландшафтов АЗРФ, следует считать температурный режим их литогенной основы, количество, генетический тип и условия залегания подземных льдов, а также интенсивность денудационных процессов, способных нарушать теплоравновесие на поверхности земли и приводить к опусканию нулевой изотермы на глубину залегания льда или льдистой породы (Соломатин, 1992; Бабурин, Соломатин, 2009).

Все параметры и особенности ландшафтной структуры, определяющие ее устойчивость к внешним (техногенным) воздействиям складываются в результате естественно-исторического развития природной среды АЗРФ. Техногенные воздействия стимулируют и модифицируют естественные деструктивные мерзлотно-геоморфологические процессы, такие как термокарст, термоэрозия, термоденудация, солифлюкция. В определенных условиях эти процессы могут приобретать катастрофический характер.

В самой общей схеме стабильность функционирования ландшафтной среды АЗРФ определяется ее способностью гасить внешние воздействия. По сути, ландшафтная среда АЗРФ отличается от внемерзлотной территории повышенной энергией рельефа, а также динамикой развития и активностью процессов морфолитогенеза. По темпам денудации, согласно имеющимся оценкам, даже равнинные территории АЗРФ со сравнительно низкой энергией рельефа в некоторых случаях могут быть сопоставимы с горными условиями. Высокая энергия и динамика рельефа криолитозоны АЗРФ определяются, во-первых, наличием подземного льда в литогенной основе ландшафтов и, во-вторых, обильной обводненностью и, следовательно, активностью поверхностного стока на значительной части территорий. Ключевой характеристикой устойчивости и изменения ландшафтов арктической суши, как следует из анализа свойств льда как минерала и горной породы, является подземное льдообразование. Чем больше льдистость мерзлых пород и чем ближе к поверхности залегает подземный лед или льдистая порода, тем менее устойчива формирующаяся на ее основе ландшафтная структура (рис. 4).

Рис. 4. Арктическая суша, сложенная льдом (фото В.Е. Тумского)

Термика мерзлых пород как фактор устойчивости ландшафтов криолитозоны становится значимым только для пород, содержащих подземный лед. Для устойчивости грубоскелетных, тем более скальных грунтов, не имеющих в своем составе льдов, их термическое состояние не имеет существенного значения. Максимальной льдистостью обладает верхний ярус синкриогенеза самой высокоширотной области криолитозоны в

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

прибрежной части АЗРФ. Именно здесь располагаются самые высокольдистые криолитогенные образования – формация ледового комплекса в восточном секторе АЗРФ и формация погребенных глетчерных льдов – в западном секторе. Деграляция этих образований, развитие здесь склоновых процессов, термокарста и термоэрозии под влиянием естественных изменений внешних условий их функционирования, или в результате техногенных воздействий, неизбежно приведет к их полной и необратимой деграляции. Поэтому территории и участки прибрежной арктической суши, сложенные названными криогенными формациями, наименее пригодны для хозяйственного использования и должны быть отнесены к категории потенциально неблагоприятных для землепользования в планах индустриального освоения этих территорий. Например, значительная часть территории Бованенковского газоконденсатного месторождения на п-ве Ямал сложена породами с огромным количеством залежеобразующих пластовых льдов. Активизация в этих условиях термоденадационных процессов вследствие неадекватных методов хозяйствования при освоении месторождения или после прогнозируемого климатического потепления неизбежно приведет к деграляции залежей подземного льда, к значительному снижению гипсометрических отметок поверхности этой территории и к затоплению ее морскими водами. В этих условиях неуместны никакие инженерные конструкции, рассчитанные на длительную эксплуатацию. В долгосрочной перспективе любые геотехнические меры предупреждения развития деструктивных процессов на участках, сложенных льдонасыщенными породами, окажутся бесполезными. Здесь уместны только временные, сугубо функциональные инженерные модули.

Общий принцип сохранения функциональной устойчивости ландшафтной среды и предупреждения развития деструктивных процессов на территориях индустриального освоения в АЗРФ заключается в стабилизации теплооборотов в кровле мерзлоты в пределах их отрицательных значений путем минимизации техногенных теплотоков в мерзлые грунты.

Деструктивные процессы криоморфолитогенеза – это процессы деформаций и физико-механических нарушений в кровле мерзлых пород, сезонноталом слое и на дневной поверхности в АЗРФ, которые возникают в результате изменений условий тепломассобмена между мерзлой зоной литосферы и атмосферой.

Криолитогенные процессы можно разделить условно на две группы. Собственно мерзлотные процессы обусловлены исключительно процессами тепломассообмена и фазовых переходов воды в грунтах сезонноталого слоя или многолетнемерзлых пород. К ним относятся пучение, морозобойное растрескивание, солифлюкция, сортировка грунтов,

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

криотурбации, подземное льдообразование. Смешанные мерзлотно-геоморфологические процессы – это обычные процессы морфолитогенеза, в которых, однако, сказывается мерзлое состояние пород и подземного льда – термоэрозия, термоабразия, различные формы термоденудации. Специфику всех процессов криоморфогенеза определяют фазовые превращения воды – льдообразование и таяние льда в грунтах. Динамика деформаций температурного поля в приповерхностных горизонтах литосферы вызывает деформации грунтов и формирование положительных или отрицательных форм рельефа, активизацию склоновых процессов.

Важнейшее значение для криолитоморфогенеза имеет динамика процессов в деятельном слое. В слое сезонного оттаивания на водоупоре кровли мерзлоты в теплый период года создается повышенное влагосодержание, разуплотнение и снижение прочности грунта. Эти явления, несмотря на кратковременность теплого периода в АЗРФ, обуславливают повышенную динамику экзогенных процессов и разнонаправленных деформаций грунтов и дневной поверхности. Сезонная периодичность процессов промерзания-протаивания, переувлажнения и разуплотнения в деятельном слое обеспечивает ежегодные ритмы подготовки все новых объемов грунта в приповерхностных горизонтах к развитию деструктивных процессов. Мозаичность теплофизических свойств грунта приповерхностных горизонтов создают повышенную изменчивость в пространстве процессов сезонного и многолетнего льдообразования и, следовательно, морфолитогенеза, в том числе термоденудации.

Таким образом, для морфолитогенеза в АЗРФ характерны повышенная динамика экзогенных процессов, повышенная обводненность приповерхностных горизонтов грунта, рельефообразующая роль теплооборотов в системе атмосфера – литосфера. Следствием указанных особенностей криолитогенеза является генетическая неустойчивость рельефа, повышенные, по сравнению с внемерзлотными регионами, темпы рельефообразования, развития положительных и отрицательных форм рельефа с сопутствующими деформациями грунтов и дневной поверхности, динамичными склоновыми процессами. Именно степень доступности кровли мерзлых пород для начала фазовых превращений предопределяет ее неустойчивость и высокую потенциальную возможность активизации деструктивных процессов, таких как пучение, морозобойное растрескивание, деформации, склоновые смещения, термокарст, термоэрозия и другие.

В основе пространственно-временных закономерностей развития и распространения этих процессов и явлений лежат факторы фазовых переходов воды в грунтах, механизмы формирования и деградации подземных льдов, которые, в свою

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

очередь, являются следствием криоморфолитогенеза и подземного льдообразования. На активности развития термоэрозионных и склоновых процессов сказывается также угнетенность растительного покрова и слабая укрепляющая роль корневой системы для приповерхностного слоя грунта. В пределах Западносибирской равнины прослеживается зональность термоэрозионной пораженности территории (Воскресенский, 2001). В лесотундре и южной тундре объем термоэрозионных форм рельефа составляет $0,01 - 0,1 \text{ м}^3 / \text{км}^2$. Плотность термоэрозионных форм равна 6 на 1 км^2 , их средняя длина – 100-400 м, глубина вреза – 2-6 м. В расположенных к северу типичных тундрах объем термоэрозионных форм колеблется в пределах $0,1 - 1,0 \text{ м}^3 / \text{км}^2$, средняя длина – 300-400 м, глубина 10-12 м. В арктической тундре объем термоэрозионно переработанного материала максимален – от 0,5 до $2-3 \text{ м}^3 / \text{км}^2$, плотность оврагов на 1 км^2 достигает 10, длина 800 – 1600 м, глубина 15-18 м.

Интенсивность развития термокастовых форм рельефа зависит, прежде всего, от особенностей распространения залежеобразующих подземных льдов и льдистых пород в кровле мерзлоты. В процессе развития криолитозоны формируются термодинамически обусловленные горизонты подземного льдообразования, которые закономерно распределены в разрезе криолитозоны и создают ее пространственно-временную структуру (Соломатин, 1982, 1986 и др.).

Сезонные циклы активизации деформаций и нелитифицированность (неуплотненность) грунта в слое сезонного оттаивания стимулируют различные виды склоновых и других деструктивных процессов. Мощность слоя сезонного оттаивания колеблется не только в пространстве в зависимости от модификации свойств почвенно-растительного горизонта, но и во времени, в зависимости от климатических изменений или антропогенных воздействий различной амплитуды и периода. Над кровлей мерзлоты формируется переходный горизонт, который оттаивает лишь в самые теплые годы. Еще ниже располагается подошва слоя реликтового протаивания, соответствующая периоду последнего климатического потепления – климатическому оптимуму голоцена. Очевидно, что чем больше мощность слоя сезонного оттаивания, переходного и реликтового слоев, тем выше стабильность кровли мерзлоты и меньше опасность активизации деструктивных процессов.

Итак, потенциальная предрасположенность ландшафтов АЗРФ к активизации деструктивных мерзлотных процессов является функцией мощности, теплофизических свойств и пространственной изменчивости слоя сезонного оттаивания, температурного режима, типа, объема и особенностей залегания подземных льдов в кровле мерзлоты, а

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

также зависит от интенсивности термоденационационных процессов той или иной территории.

Чем ниже температура мерзлых пород, тем большие теплотраты необходимы для их протаивания и последующего размыва в процессе развития термоэрозийных процессов. Но термоэрозийная пораженность территории АЗРФ в большей степени определяется льдистостью мерзлых грунтов. Поэтому активность термоденационации меняется зонально и достигает максимума в самой северной области криоморфолитоогенеза – в области синкриогенеза, где подземное льдообразование достигает максимальных объемов. Причем в этих областях не только происходят современные процессы синкриогенеза, но и сохранились мощные сингенетические залежеобразующие льды плейстоценового возраста. В Западной Сибири ареалы залежеобразующих плейстоценовых льдов выклиниваются примерно на широте полярного круга. Следовательно, мерзлые породы более северных территорий криолитозоны не подвергались оттаиванию даже в эпохи климатических потеплений по крайней мере со времени формирования залежеобразующих подземных льдов (пластовых и жильных), в том числе и в период голоценового климатического оптимума. Тем не менее, в северных регионах АЗРФ, где сохранились эти плейстоценовые залежеобразующие подземные льды, существуют максимально благоприятные потенциальные криолитоогенные условия для активизации деструктивных мерзлотно-геоморфологических процессов. Понятно, что наличие и объем подземного льда создают лишь потенциальные предпосылки для активизации деструктивных процессов. Для их реализации необходимы определенные геоморфологические условия – достаточная энергия рельефа и предрасположенность к организации термокарстовых просадок, термоэрозийных потоков и склоновых процессов. Потенциальная опасность и режим развития термоэрозии зависит также от степени активности и распространения термокарста. Термокарстовые просадки модифицируют базис эрозии и регулируют сток, снижая, таким образом, масштабы термоэрозийной пораженности территории. В свою очередь, термоэрозийный сток дренирует территорию и таким образом препятствует возникновению застойных водоемов и термокарстовым просадкам.

Таким образом, развитие и распространение деструктивных процессов в АЗРФ определяется сложным взаимодействием теплофизических, гидрологических и геоморфологических факторов и процессов в ландшафтной среде этой территории.

3.3.5. Динамика ландшафтов АЗРФ при потеплении климата

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

В настоящее время проявляется повышенный интерес к проблеме потепления климата. Однако имеющийся эмпирический материал и теоретические представления пока не дают однозначного ответа на вопрос о причинах климатических изменений, и поэтому невозможно дать их однозначный долгосрочный прогноз. Проведенные исследования обнаружили, что потепление климата существенно неодинаково в разных районах России, а в сухопутной части АЗРФ оно выражено слабо (Павлов, Малкова, 2005). Информационной базой для количественных оценок динамики криолитозоны при возможных климатических изменениях послужили данные метеорологических станций (температура воздуха, атмосферные осадки, высота снежного покрова) и пунктов геокриологического мониторинга (температура многолетнемерзлых пород, глубина сезонного протаивания, развитие криогенных процессов), результаты геотермических измерений в буровых скважинах, а также результаты численного моделирования. Современное потепление климата объясняют, в основном, естественными причинами, связанными с природной цикличностью климатических характеристик, и с антропогенными воздействиями, вызвавшими усиление парникового эффекта. Отсутствие обоснованных представлений об относительной роли естественных и антропогенных причин формирования параметров современного климата затрудняет прогноз как климатических изменений, так и реакции на них мерзлоты. Поэтому прогнозная оценка перестройки мерзлотных условий определяется лишь выбором сценария ожидаемых климатических изменений. Вместе с тем мы можем дать вполне объективную систематизацию наиболее характерных показателей потепления климата. Однако обоснованный прогноз климатических изменений слишком важен не только для геокриологических выводов, но и для экономики и жизнеобеспечения населения, поэтому исследования должны быть продолжены. Без опережающего изучения геокриологических последствий потепления климата и техногенных воздействий арктическим регионам России и, прежде всего, районам хозяйственного освоения может быть нанесен невосполнимый экологический ущерб, а надежность большинства природно-техногенных систем существенно снизится. Последовательное и направленное потепление климата может повлечь развитие неблагоприятных деструктивных мерзлотных процессов, в том числе деградацию мерзлоты по площади, потерю прочности в грунтах оснований различных сооружений и нарушения функционирования природно-технических систем – газопроводов, дорог, жилищных и промышленных сооружений.

Материалы палеогеографических исследований подтверждают, что на протяжении длительной истории развития Земли происходили разнопериодные, но в целом

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

циклические смены теплых и холодных эпох. До сих пор сохранились сильно льдистые мерзлые толщи, сформировавшиеся в конце плейстоцена десятки тысяч лет назад, несмотря на последовавшее затем значительное потепление климата во время оптимума голоцена. Температура воздуха в Северном полушарии в XX веке повысилась в среднем на 0,6°C. Метеоданные позволяют выделить два периода с выраженным повышением температуры воздуха: с конца XIX века до 40-50 годов XX^{го} и с середины 60^х до настоящего времени. Повышение температуры воздуха в 1965 – 1995гг на территории Севера России составляет 1,1-1,2°C, тогда как глобальная температура выросла на 0,5-0,6°C. Характерно, что современные изменения климата определяются, в первую очередь, его зимними составляющими. Контрасты в сезонных изменениях температуры воздуха особенно ярко проявляются для территории Якутии, в меньшей степени они выражены в Западной Сибири. Прогнозируемое в XXI веке климатическое потепление будет значительно более выраженным в зимние месяцы, чем в теплые, что может способствовать уменьшению континентальности климата (Павлов, 2008). Следует подчеркнуть - палеогеографические данные свидетельствуют, что в прошлые теплые эпохи также происходило снижение континентальности климата.

В настоящее время разработан целый ряд сценариев климатических изменений: от значительного потепления до умеренного. Есть также прогноз похолодания. Исследования, основанные на анализе данных мониторинга климата и мерзлоты, показали, что в АЗРФ 1) современное потепление климата происходит не столь стремительно, как это предполагалось в работах автора теории антропогенного потепления климата М. И. Будыко; 2) максимум потепления фиксируется не в арктических, а в субарктических или умеренных широтах; 3) мерзлые породы вне регионов интенсивной техногенной нагрузки на мерзлотные системы сохраняют достаточную устойчивость в современных условиях климатических изменений. До начала 1970х годов практически не отмечалось потепления климата на территории арктических равнин и низменностей Европейского Севера и северо-востока страны. Повышение температур воздуха началось здесь с запозданием примерно на десятилетие по сравнению с умеренными широтам и к 2000 году не превышало 0,5°C. Можно отметить устойчивую тенденцию роста темпов климатических изменений в умеренных широтах (в среднем на 1,5°C за 1965 – 1999гг) по сравнению с арктическими широтами (1,2°C). Наибольшая интенсивность потепления приходится на 1980е гг. За последнее десятилетие XX века темпы потепления заметно снизились, а на территории Европейского Севера наблюдалось незначительное похолодание.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Современные изменения количества атмосферных осадков изучено значительно меньше, чем температурные флуктуации. Согласно оценкам, полученным с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана, потепление климата должно приводить к возрастанию количества атмосферных осадков, однако их региональное распределение зависит от особенностей циркуляции атмосферы и от испарения с поверхности земли.

Между многолетними повышениями температуры воздуха и количеством твердых осадков существует обратная связь. Это объясняется, возможно, тем, что снежный покров увеличивает альбедо земной поверхности. Например, в отсутствие снежного покрова температура земной поверхности возросла бы до $+18^{\circ}\text{C}$ вместо существующих реально $+14^{\circ}\text{C}$ (Павлов, 2008).

Достаточно большой объем мониторинговых исследований термики грунтов криолитозоны свидетельствует о заметной тенденции к повышению температуры мерзлых грунтов на значительной части криолитозоны российской территории. Особенно отчетливо эта тенденция проявилась в период с конца 1970х до середины 1990х годов. Современное повышение температуры мерзлых пород, по данным наблюдений в западной Якутии, может распространяться до глубины 60-80 метров, а в окрестностях Воркуты – до 110 метров. На территории арктических равнин, где современное потепление климата проявляется достаточно слабо, заметных изменений температуры грунтов не происходит. Наблюдения на севере Западной Сибири показывают, что изменение температуры грунтов может существенно меняться в разных ландшафтных условиях и в разные периоды времени. В целом же изменения колеблются в диапазоне $0,1 - 1,0^{\circ}\text{C}$ в период 1975 – 1999. А, начиная с 1996 года, фиксируется незначительное снижение температуры грунтов в соответствии с понижением температуры воздуха. В центральной Якутии, несмотря на хорошо выраженное потепление климата, изменение температур грунта выражено слабо и не повсеместно. На стационаре в г. Якутск за 30 летний период режимных наблюдений (1977-1999) произошло понижение температур мерзлых грунтов на $0,2 - 0,5^{\circ}\text{C}$ на луговом участке и на $0,1 - 0,2^{\circ}\text{C}$ в сосновом лесу. Возможно, это объясняется уменьшением мощности снежного покрова за этот период (Павлов, Малкова, 2005).

Многочисленные данные показали, что глубина сезонного оттаивания не имеет четкой связи с динамикой какого-то одного параметра климатических условий. Глубина протаивания значительно колеблется во времени и регионально, в зависимости, главным образом, от вариаций мощности снежного покрова.

Итак, можно констатировать, что при современной динамике климатических показателей заметных и направленных изменений мерзлотных условий не выявлено. При

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

некотором преобладании случаев повышения температуры грунта и увеличения мощности слоя сезонного оттаивания, наблюдаются и обратные тенденции. Соответственно, нет свидетельств масштабного нарастания каких либо деструктивных мерзлотно-геоморфологических процессов в настоящее время. Вероятно, необходимы значительно более существенные амплитуды климатических колебаний, чтобы они отразились в заметной тенденции в динамике этих явлений. Но драматические изменения мерзлотных условий и активности термоэрозионных, термокарстовых, склоновых и других нежелательных явлений следует ожидать лишь в районах распространения залежеобразующих подземных льдов и сильно льдистых грунтов. По некоторым оценкам, при повышении температуры воздуха на 1,5 – 3,5°С к 2025 г. произойдет полное оттаивание мерзлоты в полосе шириной 50 – 100 км от ее современной южной границы. А ощутимые изменения температуры и строения мерзлой толщи и проявления активизации мерзлотно-геоморфологических процессов распространятся почти на половину площади криолитозоны (Павлов, 2008). Столь значимая возможность кардинальных перемен мерзлотных условий превращает проблему климат – мерзлота в крайне актуальную и требующую самых тщательных разработок. Но можно также предположить, что при естественных климатических изменениях, которые должны происходить достаточно медленно, мерзлотные системы, за исключением указанных выше суперльдистых формаций, сумеют перестроиться и придти в соответствие с новыми условиями теплообмена между атмосферой и литосферой без каких либо катастрофических явлений в естественных условиях. Что же касается уже существующих сооружений на мерзлых грунтах, то считается, что разрушения оснований начнутся при незначительном повышении среднегодовой температуры, а при повышении температуры на 1,5°С разрушениям подвергнутся фундаменты всех сооружений. В этом случае антропогенные воздействия могут быть столь энергоемкими и интенсивными, что дестабилизация и деструктивный вектор развития мерзлотно-геоморфологической ситуации станут неизбежными.

3.3.6. Природные и антропогенные факторы абразии берегов

Береговая линия арктических морей России от Кольского полуострова до восточной оконечности Чукотского полуострова простирается на 22 635 км, а с учетом берегов арктических островов длина береговой линии возрастает до 36 136 км (Совершаев, Соломатин, 1998). Темпы абразионных процессов арктических берегов

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

определяются экзогенными факторами: волновой энергией моря, режимом морского льда, температурой воздуха, а также криолитогенными факторами: составом и льдистостью отложений, слагающих береговые уступы. Основные факторы динамики берегов можно разделить на активные и пассивные. К активным, обладающим кинетической энергией, относятся ветровые волны, волны зыби, приливные, сгонно-нагонные и постоянные течения. Наиболее существенную роль играют нормальная и вдольбереговая составляющие волновых энергетических характеристик (рис. 5). Вдольбереговые составляющие волновой энергии определяют продольное перемещение наносов. Они образуют зоны дивергенции, т.е. участки, где потоки наносов расходятся в разные стороны, и зоны конвергенции, где потоки наносов имеют встречное движение. В условиях конвергенции, приуроченных к вогнутым участкам береговой линии, происходит накопление осадков, тогда как на выступах береговой линии с дивергенцией вдольбереговых наносов возникают условия для размыва береговых уступов. К пассивным или фоновым факторам динамики береговой зоны, т. е. не оказывающим на берега непосредственных энергетических воздействий, относятся климатические, ледовые и криолитогенные факторы, строение и состав пород в береговых уступах и на подводном береговом склоне, геоморфологические особенности береговой зоны и прибрежной суши. В пределах арктического побережья России выделяется ряд крупных областей, отличающихся по геоморфологическому и мерзлотно-геологическому строению. Максимальные темпы абразионных процессов наблюдаются в пределах Ямало-Гыданской области Карского моря, где берега сложены льдистыми дисперсными породами, включающими залежеобразующие пластовые льды, и в Восточно-Сибирской области - от устья р. Хатанги в море Лаптевых до Чаунской губы в Восточно-Сибирском море, где берега крайне неустойчивы, поскольку в них обнажаются высокольдистые тонкодисперсные отложения, вмещающие мощные залежи жильного льда. В меньшей степени абразии подвержены скалистые берега Кольского полуострова, Чукотского полуострова от мыса Шелагского в Восточно-Сибирском море до мыса Дежнева. Здесь наибольшее развитие получили лагунно-баровые берега, примыкающие к узким полоскам низменной территории между берегом моря и горным обрамлением.

Рис. 5. Термоабразия берегов с инженерными сооружениями (фото С.А. Огорова)

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Берега арктических морей отличаются от других побережий Мирового океана тем, что на значительном протяжении они сложены мерзлыми породами, включающими подземный лед. Это определяет их неустойчивость не только к механическим, но и к тепловым воздействиям. В арктической зоне большую часть года берега прикрыты от волно-ветрового воздействия припайным льдом. Поэтому величина суммарного расхода энергии уменьшается здесь в 5-10 раз, составляя, по имеющимся оценкам, $0,62 \cdot 10^9$ – $0,31 \cdot 10^9$ кВт в год (Совершаев, 1992). Морские льды оказывают стабилизирующее воздействие на динамику береговой зоны. Но длительный 9-10 месячный период консервации береговой зоны и мерзлого состояния береговых откосов сменяется кратким сезоном резкой активизации гидродинамических процессов в совокупности с термоабразией. Подсчитано, что максимальный период открытой воды (27% годового времени), и, следовательно, наиболее интенсивное волновое воздействие на береговую зону отмечается у арктических берегов Чукотки, где, к тому же, проявляется отепляющее влияние тихоокеанского течения. Второй максимум динамической активности приурочен к центральной части моря Лаптевых, где сказывается мощный тепловой сток р. Лены. Самые же тяжелые ледовые условия и максимальная ледовая консервация береговой зоны наблюдаются в восточной части Восточно-Сибирского моря и смежной западной части Чукотского моря, где формируются устойчивые ледяные массивы Айонский и Врангелевский. Сходные ледовые условия складываются в районе пролива Вилькицкого. Следовательно, максимальное волновое воздействие испытывают берега, находящиеся в зоне влияния тепловых факторов, а наименьшее – берега в зонах формирования устойчивых ледовых массивов.

Определенную роль в динамике арктических берегов играют особенности распространения мерзлых пород на дне береговой зоны морей. Температура морских арктических вод не превышает $-1,8^{\circ}\text{C}$, за исключением акваторий, прилегающих к устьям крупных сибирских рек с их огромным тепловым стоком. Низкая температура воды обуславливает сохранение реликтовых мерзлых толщ в донных условиях, а у мелководных берегов, где припай смерзается с донными осадками, возникают новообразования мерзлых пород. Высокая минерализация поровых растворов в донных осадках препятствует их промерзанию даже при отрицательных температурах. Такие охлажденные породы наиболее широко распространены на дне арктических морей. По некоторым данным, многолетнемерзлые породы имеют широкое распространение на дне арктического бассейна.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Прямыми наблюдениями установлено, что на некоторых участках арктические берега Евразии за последние 5 тыс. лет отступили в сторону суши на 30, а местами на 50 км. По нашим данным, за то же время западная береговая линия п-ова Ямал сместилась вглубь суши на 18-20 км (Совершаев, 1992). Согласно имеющимся реконструкциям, древняя суша, ныне размытая, занимала значительные площади шельфа морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

Существенное влияние на динамику арктических берегов способны оказать техногенные воздействия. Их негативные последствия проявляются в повышении темпов отступления береговой линии, загрязнении и деградации береговых экосистем. В последнее время береговая зона арктических морей активно вовлекается в программы освоения природных ресурсов. Добыча нефти и газа требует разнообразного и сложного гидростроительства – морских портов, подходных каналов, буровых платформ, терминалов, наземных и подводных трубопроводов. Техногенные воздействия приводят к неизбежным нарушениям естественных процессов, к активизации деструктивных процессов, к загрязнению и деградации экосистем. В свою очередь, техногенная активизация термоабразионных процессов неизбежно приводит к осложнению условий промышленного освоения арктических побережий и к значительным непроизводственным затратам на ликвидацию негативных экологических последствий и на восстановление технических сооружений. Чтобы предотвратить или минимизировать отрицательные последствия хозяйственной деятельности в береговой зоне арктических морей, необходима жесткая регламентация хозяйственной деятельности, исходя из специфики естественной динамики берегов.

Рыхлые льдистые отложения, слагающие арктические берега на значительном их протяжении при контакте с морской водой, особенно в периоды кратковременных штормовых нагонов подвергаются интенсивному размыву и отступанию со скоростями в среднем 4 м/год, а иногда и до 10 м/год. При этом в сферу волнового воздействия поступает большое количество разнотерного обломочного материала. Согласно нашим данным, благодаря размыву, например, западного побережья п-ова Ямал в море поступает 2,3 млн. м³ песчано-алевритового материала.

К настоящему времени исследованы основные факторы динамики береговой зоны арктических морей. Рассчитаны волновые характеристики, определяющие интенсивность и направленность береговых процессов и вдольберегового распределения обломочного материала. Наиболее полно изучены природные условия для ключевых участков промышленного освоения береговой зоны западного сектора Арктики.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Первоочередными задачами дальнейших исследований рассматриваемых проблем являются следующие:

1. Исследование строения и распространения многолетнемерзлых пород в береговой зоне арктических морей;
2. Исследование устойчивости и динамики побережий, включая динамику и морфологию морского края дельт рек арктического бассейна в зависимости от гидрологических и мерзлотных факторов;
3. Оценка территориальных потерь за счет термоабразионных и других деструкционных процессов в контактной зоне «суша-море», определение количества обломочного материала, поступающего в море от разрушения берегов и от выноса рек, а также путей транспорта наносов в прибрежно-шельфовую зону.
4. Исследование штормовых нагонов и экстремальных волновых воздействий, оказывающих наиболее разрушительные воздействия на берега, в зависимости от их мерзлотно-геологического строения;
5. Исследование процессов воздействия на берега морских льдов. Блокируя морской берег в течение значительной части года, льды регулируют воздействие гидродинамических факторов и сокращают время их действия. С другой стороны, морские льды оказывают на берег и дно мелководья экзарирующее воздействие, следствием чего являются борозды пропахивания, валы напора и другие формы донного рельефа.
6. Исследование инженерно-геологических свойств сезонно- и многолетнемерзлых пород береговой зоны как основания для гидротехнических сооружений;
7. Организация мониторинга за динамикой береговой линии в районах существующих или проектируемых гидротехнических сооружений;
8. Составление карты динамики арктических берегов, в зависимости от гидрологических и мерзлотно-геологических факторов.

В связи с прогнозируемым климатическим потеплением и подъемом уровня моря следует ожидать интенсификации термоабразии арктических берегов, затопления и засоления низменных территорий приморских равнин, особенно сложенных породами с залежеобразующими подземными льдами. Учитывая огромную протяженность береговой линии арктических морей России и сложность организации натуральных наблюдений, особое значение приобретает использование дистанционных методов исследований состояния природной среды арктических морей на современной научно-методической основе.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Таким образом, динамика береговой зоны арктических морей отличается специфическими чертами, обусловленными зональными природными условиями. Главными отличительными особенностями береговой зоны здесь являются мерзлые породы, слагающие берега и в некоторых случаях дно морей, а также морские льды. Как следствие, термоабразионные процессы развиваются с повышенной скоростью, в прибрежную акваторию поступает большое количество сносимого сюда рыхлого материала, а это, в свою очередь, приводит к мелководности прибрежного шельфа, активности аккумулятивных процессов.

3.3.7. Типология и география техногенных воздействий и нарушений природных ландшафтов АЗРФ

В ряде районов Арктики серьезной проблемой является эрозия почв, являющаяся результатом нарушений естественного растительного покрова и загрязнений. Она вызвана таянием вечной мерзлоты, деградацией почвенного покрова и обезлесением.

В антропогенной трансформации растительности Арктики можно отметить следующие характерные черты. Происходит замена лишайникового покрова злаковым в пределах тундровой зоны. Снижается биоразнообразие, ряд видов (в первую очередь, лишайники) выпадает из состава естественных сообществ. В заселении антропогенных местообитаний принимают участие аборигенные виды, составляющие 40-60% местной флоры. Происходит синантропизация флоры, растет число заносных видов, особенно вблизи населенных пунктов. В антропогенных сообществах главную роль играют виды с широким географическим ареалом, что повышает количество общих видов для тех пунктов, где имеются нарушения.

Разрушение растительного покрова провоцирует эрозионные процессы. Скорость восстановительных первичных сукцессий в антропогенных экотопах низкая. Вторичные сукцессии идут быстрее, однако, для полного восстановления тундровых сообществ (если оно вообще возможно) требуется длительное время. Показано, что только сообщества болот могут практически полностью восстанавливаться за сравнительно короткий срок.

3.3.7.1. Нарушение растительного покрова

Деградация растительного покрова на обширных территориях Арктики обусловлена следующими основными факторами:

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

- загрязнение наземных и прибрежных морских и речных экосистем тяжелыми металлами, нефтепродуктами, органическими соединениями различного происхождения, соединениями азота и серы, радионуклидами и т.д.;
- механическое нарушение и уничтожение почвенно-растительного покрова при движении транспортных средств, строительстве, добыче песка, гравия, других ископаемых, создании искусственных покрытий, насыпей, отвалов;
- вырубка лесов (включая промышленные лесозаготовки, заготовку древесины для местных нужд и расчистку участков при строительстве);
- антропогенные пожары;
- перевыпас на оленьих пастбищах как следствие превышения пастбищных нагрузок в оленеводстве (табл. 3.3.7)

Таблица 3.3.7

Площади нарушенных земель в Арктике России, тыс.кв.км (Крючков, 1994)

Тип нарушения Регион	вырубка лесов	перевыпас оленей	пожары	механические нарушения	техногенные загрязнения (пыль, кислые осадки)		Всего
Кольский	40-45	40-45	10-15	3	20-30	100-120	
Восточно-Европейский	90-95	90-95	10-15	5-6	10-15	90-100	
Западно-Сибирский	150-160	150-160	15-18	6-7	3-4	4-5	
Средне-Сибирский	100-110	120-140	15-18	5-6	11	400-410	
Восточно-Сибирский	70-80	70-80	80-100	5-6	3-4	5-6	
Север Дальнего Востока	35-40	35-40	30-35	4-5	2-3	3	
							845-910

За последнее время наблюдается увеличение нарушенных земель за счет освоения новых месторождений углеводородного сырья и прокладки транспортных коммуникаций, а также дальнейшей деградации оленьих пастбищ.

На рассматриваемой территории можно выделить три типа зон повышенного загрязнения. Первый тип характерен для импактных районов Мончегорска и Никеля (рис. 6,7). Наблюдается исчезновение многих видов мхов и лишайников, прочих чувствительных к загрязнению видов, что приводит к отсутствию сомкнутого растительного покрова. На сохранившихся листьях и хвое древесных пород наблюдаются

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

морфологические изменения в виде хлороза, некроза, побурения хвои. Лишь на расстоянии более 10 км по направлению преобладающих ветров в древостое появляются хвойные, а в наземном покрове – другие типичные представители северной тайги.

Рис. 6. Зона антропогенной пустоши (район г.Мончегорск)	Рис. 7. Зона антропогенной пустоши, растительный покров (район п.Никель)

Второй тип зон повышенного загрязнения относится к районам разработки и обогащения апатито-нефелиновых руд в горном массиве Хибин (рис.8,9). Здесь не отмечается интенсивное опустынивание ландшафтов, как вблизи предприятий цветной металлургии. Основное поступление загрязняющих веществ идет от апатито-нефелиновых обогатительных фабрик АО «Апатит» и хвостохранилищ в виде пылевых выбросов (до 70 тыс. т в год), которые попадают на растительность в большом количестве и приводят к ее усыханию. Особенно губительны для растений соли алюминия. Поэтому непосредственно вблизи хвостохранилищ обогатительных фабрик наблюдается выпадение отдельных видов растительности.

Рис. 8. Кировский рудник (фото В. Жиганова)	Рис. 9. Отвалы рудника Центральный в Хибинах

Третий, комбинированный тип зоны повышенного загрязнения отмечается на юго-западном склоне Хибинского горного массива и вдоль побережья озера Имандра. Загрязнение территории обусловлено как влиянием комбината «Североникель» (г. Мончегорск), так и пылью хвостохранилищ апатито-нефелиновых обогатительных предприятий, разносимой на большие расстояния (рис. 10,11).

Рис. 10. Хвостохранилище на Кольском полуострове	Рис. 11. Нарушение рельефа в зоне воздействия горнодобывающего предприятия

Зона умеренного загрязнения занимает относительно незначительную площадь и также разделяется на три типа. Ее отличие выражено в меньшей степени измененности геосистем. В растительности отмечаются слабые изменения листьев и хвои, единичные сухие вершины высоких деревьев, выпадают лишь наиболее чувствительные виды растений, мхи и лишайники имеют значительное разнообразие.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Зоны пониженного и низкого загрязнения занимают значительно большую площадь по сравнению с зонами, упомянутыми выше.

Механическим нарушениям почвенно-растительного покрова подвержены территории, приуроченные к городам и прочим населенным пунктам, районам добычи полезных ископаемых, трассам линейных сооружений. Величина механической нарушенности составляет около 31 тыс. кв. км. Следует отметить, что приведенные значения характеризуют площади с полностью или частично уничтоженным растительным покровом. Однако, если речь идет об ущербе пастбищным ресурсам, то важно заметить, что из пастбищеоборота выводятся не только непосредственно нарушенные площади, но и вся территория окрестностей городов, линейных сооружений, а в районах нефтегазодобычи – вся территория месторождений. Таким образом, реальные площади, характеризующие потери пастбищ в Арктике в целом, составляют гораздо большее значение – порядка 80-100 тыс. кв. км (Евсеев, Красовская, 1996).

Вырубка лесов (включая промышленные лесозаготовки, заготовку древесины для местных нужд и расчистку участков при строительстве). Несмотря на относительно небольшую площадь вырубок (субарктические леса и редколесья преимущественно относятся к лесам первой группы, т.е. к охраняемым), этот фактор деградации природной среды региона является чрезвычайно важным. Промышленные лесозаготовки в регионе развиты относительно слабо. Преобладают заготовки древесины для местных нужд и вырубка лесов при расчистке стройплощадок, трасс линейных сооружений и пр. Важно отметить, что самовосстановление лесов в регионе происходит крайне медленно, что связано с заболачиванием вырубок. Имеет место так же факт отступления северной границы лесов к югу, в частности в районах интенсивного промышленного освоения. Особенно это ярко проявляется в районе Норильска. За период освоения в результате нерационального использования ресурсов и хозяйственной деятельности произошли коренные изменения местных ландшафтов, что проявилось в деградации и уничтожении растительного покрова и формировании своеобразной зоны северной антропогенной пустыни, где фактически исчезли неустойчивые к антропогенному воздействию виды. В результате этого в окрестностях города сохраняются лишь наиболее стойкие виды мхов, трав, кустарников. Еще в 1934 году на рассматриваемой территории произрастала северная тайга, а площадь покрытия хвойными породами измерялась сотнями квадратных километров. В составе лесов преобладала сибирская лиственница высотой до 10 м, встречалась ель, из лиственных пород – береза, рябина. Лишь вблизи Енисея в районе п. Дудинка появлялись типичные тундры с кустарничками и редкими чахлыми деревьями.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Остатки прежней тайги частично сохранились на участке Норильск – Талнах. В настоящее время в окрестностях Норильска полностью уничтожен лес, а обширные пространства в западной и северо-западной частях фактически превратились в тундру.

Антропогенные пожары. Пожары вообще обычны в субарктических лесах и редколесьях и без вмешательства человека, более того, они нередко являются необходимыми для возобновления субарктических и бореальных лесов. Однако антропогенные воздействия приводят к резкому увеличению частоты и масштабов возгораний по причине несоблюдения норм противопожарной безопасности, неосторожного обращения с огнем и др. Ежегодная площадь гарей составляет порядка 2-3 тыс. кв. км, однако в засушливые годы может превышать 10 тыс. кв. км. При этом не все пожары учитываются статистикой и в реальности могут достигать величин, в 10 и более раз превышающих статистическую отчетность. Важно также отметить, что при проектировании трубопроводов и других промышленных сооружений вероятность пожаров зачастую не учитывается. Согласно научным исследованиям, общая площадь гарей в тундрах и редколесьях составляет около 180 тыс. кв. км.

Перевыпас пастбищ. Несмотря на интенсивное промышленное освоение Севера, самым распространенным антропогенным процессом, который формирует характер биоты тундры и лесотундры, остается выпас оленей. До середины прошлого века пастбищные нагрузки, как правило, не превышались, при этом поддерживалась достаточно оптимальная, сложившаяся за предыдущие два столетия, структура оборота пастбищ. С началом коллективизации на Севере, периодом почти полного исчезновения частных стад, произошли изменения в распределении пастбищных нагрузок, которые уже к середине 60-х гг. прошлого столетия привели к существенной деградации пастбищ на значительных территориях. Еще больше ситуация обострилась в последние три десятилетия и причиной тому стало интенсивное промышленное освоение Арктики, отнявшее у оленеводства часть пастбищ, что привело к усилению пастбищных нагрузок на незатронутых промышленностью территориях. Другой причиной увеличения пастбищных нагрузок является развал коллективного хозяйства на фоне юридической неопределенности положения частных стад, права собственности на пастбища. Это привело к росту численности оленей в частной собственности оленеводов, что и вызвало резкое увеличение пастбищных нагрузок. По оценкам, последствия перевыпаса сказываются на территории, составляющей около 25-30% площади российской Арктики. Разрушение растительного покрова копытами оленей дополняет активная дефляция грунтов легкого механического состава на перевыпасаемой площади. Восстановление стравленных

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

пастбищ займет не менее столетия. При этом наибольший ущерб причиняется наиболее дефицитным и трудновозобновимым зимним пастбищам. Общая площадь территории, подверженной перевыпасу, включая пастбища, продуктивность которых утрачена частично, составляет около 500-530 тыс. кв. км.

К химическому загрязнению крайне чувствительны относительно примитивные группы, играющие большую роль в растительном покрове тундры – водоросли, лишайники, печеночные и листостебельные мхи, а также многие типичные арктические виды цветковых растений, обитатели специфических тундровых и полярнопустынных биотопов, в еще большей степени - типичные арктические виды животных. Лишайники интенсивно накапливают загрязняющие вещества в длительно живущих тканях и в итоге первыми выпадают из экосистем в зоне влияния металлургических комбинатов и химических производств. В результате интенсивно идет визуально трудно фиксируемый процесс обеднения и деградации экосистем, например лишайниковых и мохово-лишайниковых тундр и редколесий.

3.3.7.2. Нарушение почвенного покрова

Загрязнение почв специфической для конкретного источника ассоциацией элементов обусловлено многокомпонентным составом выбросов в атмосферу.

Исследуемые территории представляют собой своеобразную экотонную зону высокого ранга, находящуюся на контакте тундровой и северотаежной природных зон. Географические особенности данных территорий обусловили здесь крайне медленное (20-50 лет) разложение органического материала, замедленный биологический круговорот веществ, недостаток многих минеральных элементов, резкий дефицит кислорода. Это отражается на замедлении процессов химического выветривания и почвообразования. Тундровые экосистемы относят к зонам экологического риска, т.к. техногенное воздействие на них способствует нарушению структурно-функциональной организации и развитию в них трудно обратимых изменений, а также в связи с малой способностью к самовосстановлению. Процессы самоочищения почв в этом регионе проявляются значительно слабее, и возможно накопление большого количества токсичных соединений.

Содержание загрязняющих веществ в почвах является интегральной оценкой антропогенного воздействия в данной конкретной точке. Проведенные нами исследования показали значительное влияние выбросов от промышленных предприятий на состояние загрязнения поверхностного слоя почв. Концентрации некоторых загрязняющих веществ в почвах отдельных импактных районов достоверно выше фоновых уровней.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Рассмотрим более детально особенности нарушения почвенного покрова для различных районов Арктики.

Кольский полуостров. Основными источниками поступления загрязняющих веществ в почвы являются предприятия горнометаллургической и горнодобывающей промышленности. Участки деградированных почв отмечаются в районах Мончегорска и Никеля и занимают относительно малую площадь от 3,2 тыс. км² в радиусе до 15–20 км от городов. Они приурочены к промышленным зонам основных предприятий-загрязнителей, а также вытянуты по розе ветров до 2–3 км. В природном отношении это – антропогенные пустыни (техногенные пустоши), в которых уничтожена практически вся растительность и изменена структура почвенного покрова. На значительной площади почвы сильно деградированы, наблюдается смыв верхних органогенных горизонтов и выход на поверхность нижних минеральных горизонтов. Резко изменены физические и химические свойства почв. Отмечается высокий уровень загрязненности не только верхних органогенных горизонтов, но и минеральных почвенных горизонтов В и С. Зоны частично деградированных почв расположены на расстоянии 3–15 км от источника выброса загрязнений. Нарушения почвенного покрова по сравнению с предыдущей зоной выражены слабее. Эти зоны также приурочены к районам разработки и обогащения апатито-нефелиновых руд в горном массиве Хибин. Влияние промышленного производства здесь в первую очередь сказывается на механических нарушениях в геосистемах (карьеры, промзоны обогатительных фабрик, хвостохранилища). Здесь не отмечается интенсивное опустынивание ландшафтов, как вблизи предприятий цветной металлургии.

Значительно большую площадь по сравнению с зонами, упомянутыми выше, занимают участки начальных изменений природных ландшафтов, где хорошо заметны лишь механические нарушения – карьеры, отвалы и т. п.

Северо-Восток Европейской территории России. Для данного региона характерно преобладание механического воздействия на геосистемы над химическим. Наиболее четко антропогенные изменения в геосистемах отмечаются в районе Воркуты, что связано с угледобычей, развитой инфраструктурой, энергетикой, работающей на ископаемом топливе, развитой стройиндустрией. Сброс большого количества соленасыщенных шахтных и подземных вод вызывает глубокую перестройку почвенно-геохимических процессов. Наблюдается деградация почвенного покрова вблизи шахт и в районах добычи углеводородного сырья.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Север Западной Сибири. В районах добычи нефти и газа Ямало-Ненецкого АО наблюдаются механические нарушения почвенного покрова и накопление в местных геосистемах углеродистых соединений. В дальнейшем следует ожидать длительную аккумуляцию нефтепродуктов в почвах, водоемах, донных отложениях, причем очищение от них потребует около 50 лет. Необходимо отметить, что на данной территории значительное влияние на ландшафты оказывают механические нарушения; особенно сильный вред наносит тяжелый гусеничный транспорт, практически полностью разрушающий мохово-лишайниковый покров.

Север Средней Сибири. Для района Норильска характерно значительное изменение ландшафтов, обусловленное в первую очередь изменениями почвенно-растительного покрова, связанного с сильным загрязнением воздуха и механическими нарушениями. Непосредственно вблизи предприятий цветной металлургии – до 100 км по розе ветров – расположена зона антропогенной пустыни, аналогичной по структуре, описанной на Кольском полуострове, но значительно большей по площади. В настоящее время почвы, формирующиеся на возвышенных элементах рельефа глеемерзлотные, мерзлотно-таежные, подзолистые, сильно изменены, в первую очередь, в промзонах и в черте города и поселков, где значительная часть территории занята твердым покрытием. Сформировались своеобразные антропогенные почвы, лишенные верхних естественных горизонтов и значительно эродированные. Об интенсивности техногенной нагрузки свидетельствуют и исследования реликтовых торфяников в районах городов Норильск и Талнах, показывающие очень высокие концентрации Cu, Ni, а также Co, Cr, Pb в верхних горизонтах торфа. В ряде мест наблюдаются значительные механические нарушения геосистем (открытая добыча угля вблизи г. Кайеркан, медно-никелевых руд Норильским и Талнахским ГОКами).

Север Восточной Сибири. В экологическом отношении рассматриваемая территория является одной из самых чистых на Севере России. Локальные источники техногенного воздействия относительно слабые и не оказывают существенного влияния на местные геосистемы. Наиболее крупным центром промышленности является пгт. Депутатский. Существенного накопления металлов в почвах пока не происходит. Вероятно, повышенные концентрации связаны с влиянием хвостохранилища.

Характерны сильные механические нарушения почв, возникшие в результате золотодобычи вокруг пгт. Кулар и Власово, п. Энтузиастов.

Север Дальнего Востока. Наблюдается очаговое проявление механических нарушений почв и химического загрязнения природной среды. Механические нарушения

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

отслеживаются в окрестностях города Певек, а также поселков Валькумей, Иультин, Полярный и Ленинградский. Большие линейные механические нарушения геосистем связаны с эксплуатацией тяжелого гусеничного транспорта в тундрах. Химическое загрязнение природной среды проявляется около крупных населенных пунктов (из-за работы котельных, транспорта и т. п.) – гг. Певек, Билибино, Анадырь, пгт. Мыс Шмидта. Почвы фиксируют некоторое поступление поллютантов вблизи крупных горнодобывающих предприятий.

Наиболее значительные ареалы повышенных концентраций выявлены в районе Певека. На линии Певек – Валькумей наблюдаются наиболее заметные техногенные изменения, выраженные как морфологически, так и в повышенных концентрациях токсических веществ. По побережью Чукотского моря повышенные концентрации металлов зафиксированы также в окрестностях пгт. Мыс Шмидта; в районе поселков Ленинградский и Полярный. Однако преобладающим типом изменения геосистем этого района является не химическое загрязнение воздуха и почв, а загрязнение поверхностных вод (в основном ртутью, используемой на золотых приисках) и механические нарушения. Так, в районе вышеупомянутых поселков еще в 60-70-е годы на узкой низменной полосе при транспортировке разведочных скважин на платформах был содран весь напочвенный покров и оттаявшие летом грунты; из-за высокой льдистости мерзлых пород (70-80% от объема всей породы) территория превратилась в сплошной разжиженный плавун.

К иным негативным процессам, приводящим к деградации земель в регионе, можно также отнести такие геоморфологические процессы, как термокарст, солифлюкция, эрозия, дефляция, интенсивность которых возрастает на нарушенных участках и по их периферии. В отдельных случаях, как отмечается рядом исследований, ежегодный прирост нарушенных площадей за счет этих процессов может достигать 10-15%.

3.3.8. Заключение

Перспективы решения проблем деградации экосистем Арктики видятся в реализации двух основных задач – в оптимизации системы охраняемых природных территорий и в расширении работ по экологической реставрации (включая ее первые этапы – биологическую рекультивацию) при условии изменения существующей структуры и философии природопользования. Важно формирование единого природоохранного каркаса, представляющего собой репрезентативную сеть охраняемых природных территорий. Остается актуальным создание регионально адаптированных

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

экологических технологий использования природных ресурсов, транспорта и строительства.

Все проблемы рационального природопользования, сохранения экологического равновесия природной среды Арктики, разработка зональных модификаций технических и хозяйственных проектов, разработка методов прогноза, предупреждения и рекультивации техногенных нарушений возможны только на основе глубокого изучения и понимания законов функционирования компонентов ландшафтной среды, вовлекаемых в природопользование (Основы государственной политики..., 2009). Для достижения этих целей главными задачами являются:

- развитие исследований динамики зональных особенностей природной среды Арктики: палеогеографии, современного состояния, прогноза возможных изменений;
- квалифицированная экологическая экспертиза хозяйственных проектов;
- компенсация нарушенных земель за счет перевода в ранг охраняемых территорий, аналогичных им по площади и экологическому значению;
- выполнение мониторинга изменений ландшафтов в результате техногенных воздействий и климатических изменений.

Список использованной литературы

1. Бабурин В.Л., Соломатин В.И. География освоения и «горячие экологические точки» российского Севера. Трансграничное сотрудничество. Изменение климата и защита окружающей среды в Арктике. Мат-лы пятого Северного социально-экологического конгресса. М. 2009. сс 71-78.
2. Воскресенский К.С. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. Москва, 2001. 264 с.
3. Геоэкология Севера. Под ред. В.И. Соломатина. Изд. МГУ, 1992. 270
4. Грамберг И.С., Додин Д.А., Лаверов Н.П. и др. Арктика на пороге третьего тысячелетия. СПб.: Наука, 2000.
5. Евсеев А.В., Красовская Т.М. Эколого-географические особенности природной среды районов Крайнего Севера России. Смоленск, СГУ, 1996.
6. Евсеев А.В., Красовская Т.М. «Горячие точки» Российской Арктики // Вестник Моск. Ун-та, сер. Географ., 2010, №5.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

7. Загрязнение Арктики: Доклад о состоянии окружающей среды Арктики. АМАП. Осло, 1998.
8. Калабин Г.В. Экодинамика техногенных провинций Севера. – Апатиты: изд. Кольского научного центра РАН, 2000. – 292 с.
9. Красовская Т.М. Природопользование Севера России. – М.: URSS, 2008.
10. Крючков В. В. Деграция природной среды в Заполярье // Народное хозяйство Республики Коми. 1994. Т. 3. № 1. С 44–61.
11. Материалы парламентских слушаний «Активизация межпарламентского сотрудничества по вопросам обеспечения жизнедеятельности в Арктике». Москва, 2009, Т.1
12. Мельников Е.С., Горальчук М.И., Крицук Л.Н. и др. Основные особенности инженерно-геокриологических условий нефтегазовых месторождений в пределах различных ландшафтных провинций. В кн. Вечная мерзлота и освоение нефтегазовых районов. Москва. Геос. 2002. С. 116-139.
13. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу. М., 2009.
14. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск. Изд. Гео. 2008. 230 с.
15. Павлов А.В., Малкова Г.В. Современные изменения климата на Севере России. Новосибирск. Изд. Гео. 2005. 55 с.
16. Российская Арктика: на пороге катастрофы. М.: ЦЭПР, 1996.
17. Совершаев В.А. Береговая зона арктических морей. В кн. Геоэкология Севера. Под ред. В.И. Соломатина. Изд. МГУ. 2002. С. 55-61.
18. Совершаев В.А., Соломатин В.И. Проблемы исследований побережий и шельфа арктических морей. Динамика арктических побережий России. Москва. 1998. С. 7-12.
19. Соломатин В.И. Зонально-климатическая структура подземного оледенения. Вестн. Моск. ун-та . Сер. Геогр., 1981, №2, с. 39-44.
20. Соломатин В.И. Петрогенез подземных льдов. Изд. Наука. Новосиб. 1986. 215 с.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

21. Соломатин В. И., Кочемасов Ю.В., Моргунов Б.А. Лед и геоэкология Арктики. Энергия: экономика, техника, экология. №3. 2007 с. 32-39.
22. Стратегическая программа действий по охране окружающей среды арктической зоны Российской Федерации. Москва. 2009.
23. Evseev A.V., Belousova A.P. et al. Environmental hot spots and impact zones of the Russian Arctic. ACOPS, 2000.

Рисунки к Разделу 3.3. Анализ нарушений природных ландшафтов АЗРФ



Рис. 1. Горные ландшафты Субарктики



Рис. 2. Тундра Кольского полуострова

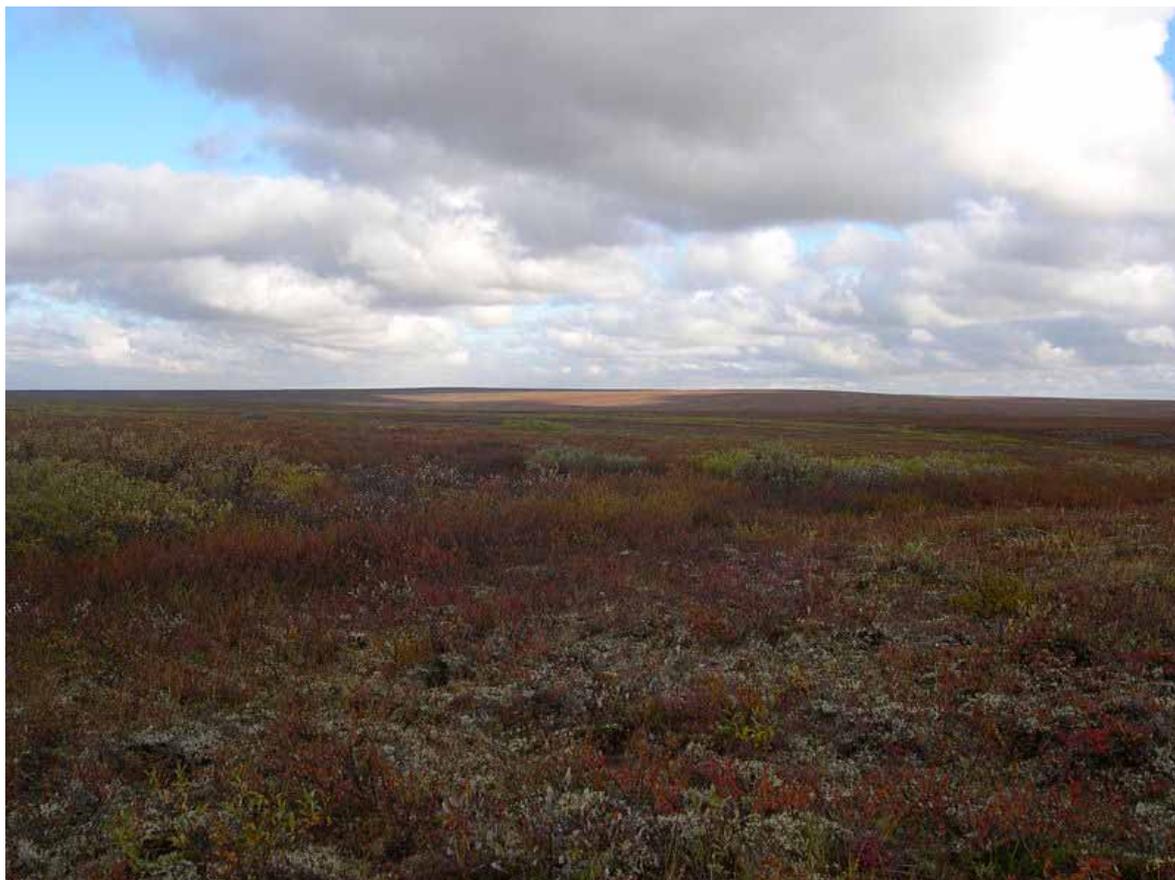


Рис. 3. Большеземельская тундра в районе Воркуты

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

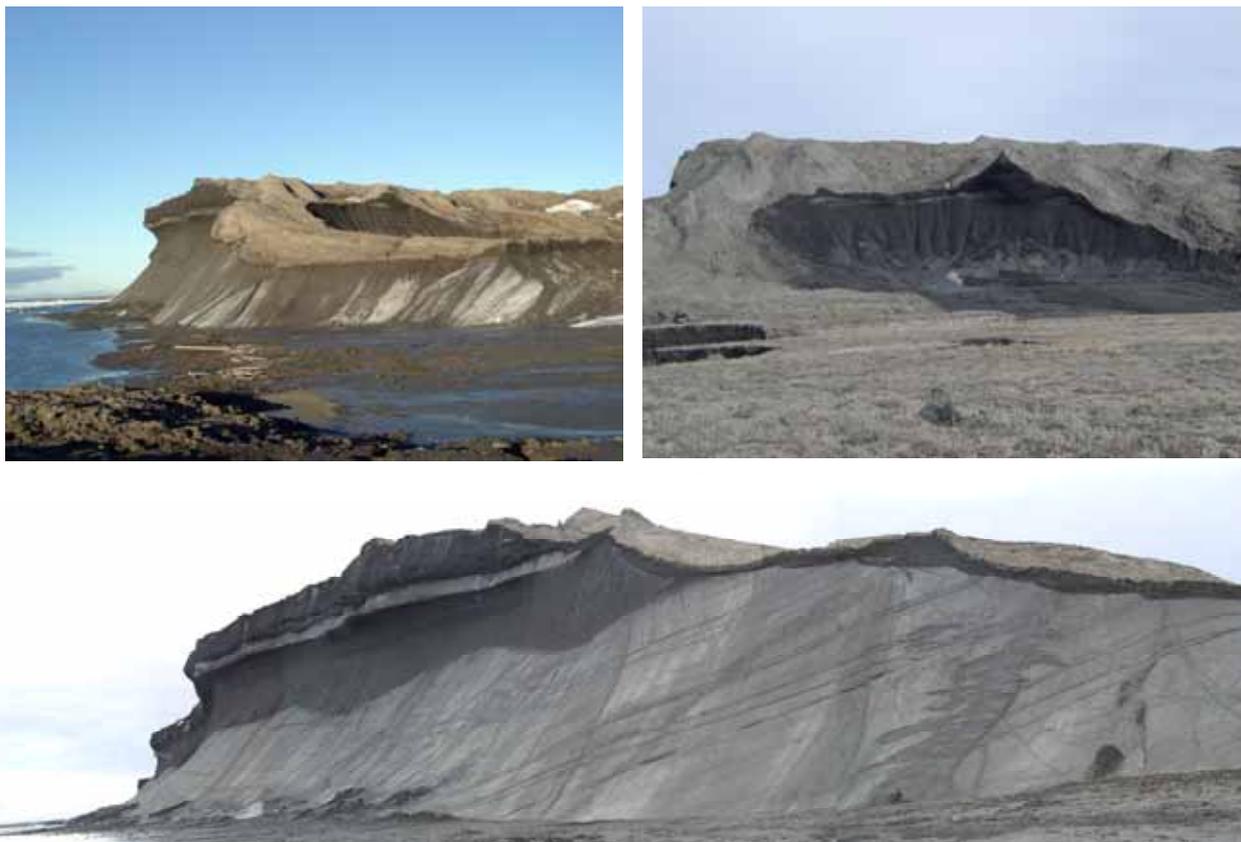


Рис. 4. Арктическая суша, сложенная льдом (фото В.Е. Тумского)



Рис. 5. Термоабразия берегов с инженерными сооружениями (фото С.А. Огородова)



Рис. 6. Зона антропогенной пустыши (район г.Мончегорск)



Рис. 7. Зона антропогенной пустоши, растительный покров (район п. Никель)



Рис. 8. Кировский рудник (фото В. Жиганова)



Рис. 9. Отвалы рудника Центральный в Хибинах



Рис. 10. Хвостохранилище на Кольском полуострове



Рис. 11. Нарушение рельефа в зоне воздействия горнодобывающего предприятия

3.4. Комплексная оценка антропогенного воздействия на арктическую морскую среду

Anthropogenic impact on marine ecosystems and bioresources in the Russian Arctic

Введение

Introduction

1. Методология комплексной оценки воздействия на морскую среду

Impact assessment methodology in relation to marine environment

1.1. Общая схема и этапы

General scheme and steps

1.2. Критерии оценок и пороги допустимых нарушений

Assessment criteria and levels of allowable disturbances

2. Характеристика антропогенного воздействия на моря Арктики

Characteristics of anthropogenic impact on the Arctic seas

2.1. Структура, факторы и масштабы воздействия

Structure, factors and scale of impact

2.2. Основные черты и особенности современной экологической ситуации

Main traits and peculiarities of current ecological situation

2.3. Экологические эффекты и последствия морского рыболовства

Environmental effects and impact of fisheries

3. Загрязнение как экологический фактор в арктических морях

Pollution as an ecological factor in the Arctic seas

3.1. Источники, состав и пути поступления

Pollutants sources, composition and pathways

3.2. Уровни содержания и распределение в море

Levels and distribution in marine environment

4. Оценка антропогенного воздействия на биоресурсы Арктики

Assessment of anthropogenic impact on Arctic marine bioresources

Выводы, рекомендации

Conclusions, recommendations

Литература

References

Введение

Существуют две основные группы внешних по отношению к морским экосистемам ключевых факторов воздействия, которые непосредственно влияют на состояние этих систем и их биоресурсы:

- **климатические изменения** во всем многообразии их проявлений и откликов в ходе физических, химических и биологических процессов в морской среде;
- **антропогенные нарушения** в широком смысле этого понятия, включая экологические последствия всех видов хозяйственной деятельности в море (рыболовство, судоходство, добыча углеводородов и пр.).

Это особенно характерно для морей Арктики и Субарктики, где климатические воздействия проявляются в наибольшей степени по сравнению со всеми остальными регионами северного полушария [IPCC, 2001]. Последствия этих воздействий в периоды похолодания Арктики в сочетании с чрезмерным рыболовством приводят к дисбалансу морских экосистем и драматическому падению рыбных запасов, как это многократно происходило в морях Западной Арктики во второй половине XX века [Матишов и др., 2001; Brender, 2005].

Термин «антропогенное (техногенное) воздействие» на природные системы давно вошел в лексикон природоохранной и экологической науки. В то же время работы, специально посвященные методологии оценок и анализу последствий этого многопланового явления применительно к морским водоемам (в том числе для морей Арктики) и с учетом двух главных аспектов – экологического и рыбохозяйственного, встречаются крайне редко. Большинство известных сводных публикаций в этой области ограничиваются описанием загрязнения морской среды и его экологических последствий (см., например, [Patin, 1982; GESAMP, 1993; Израэль, Цыбань, 1995; Фоун, 2000]). Это характерно также и для обзорных работ, посвященных антропогенной экологии арктических морей [Davis, 1996; Status Report, 1997; Матишов и др., 1997; Шпарковский, 1997; Меньшиков, 2000; Матишов, 2004], включая известные доклады в рамках Программы арктического мониторинга и оценки [AMAP, 1998; 2004].

Бесспорно, загрязнение является ведущим фактором антропогенного воздействия на морскую среду, но отнюдь не исчерпывает его и само может быть оценено в полной мере лишь в рамках анализа всех других последствий хозяйственной деятельности человека в море. В данной работе поставлена задача экспертной оценки экологической ситуации в морях российской Арктики и основных факторов, которые ее определяют. Для решения этой задачи использованы известные опубликованные данные и описанная ниже методология оценки антропогенного воздействия на морские экосистемы.

1. Методология комплексной оценки воздействия на морскую среду

1.1. Общая схема и этапы

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

На рис.1 показана общая схема решения задач оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) применительно к разным видам хозяйственной деятельности в морской прибрежной зоне и на шельфе. Предлагаемая схема, с одной стороны, достаточно традиционна и учитывает принятые в России общие нормативно-правовые правила и требования. С другой стороны, в ней заложены элементы и подходы, которые обычно отсутствуют в известных российских и зарубежных системах ОВОС. К их числу можно отнести:

1. Сочетание двух основных подходов к оценке возможных негативных эффектов, а именно – качественного (непараметрического) анализа и количественных (в том числе нормативных) расчетов предполагаемых потерь (ущербов), что позволяет скорректировать недостатки и ограничения каждого из двух подходов.
2. Введение пространственно-временной шкалы воздействий и градации нарушений по набору выделенных ключевых показателей.
3. Использование экосистемных (популяционных) критериев и порогов для оценки допустимости возможных эффектов.

Все это в совокупности позволяет снизить неизбежную неопределенность оценок и получить достаточно объективную картину прогнозируемых природных нарушений при разных видах хозяйственной (иногда – бесхозяйственной) деятельности в море и на побережье, в том числе при реализации крупных региональных проектов.

Важнейшим базовым элементом любой системы ОВОС должны быть наборы шкал для выбранных пространственных и временных масштабов воздействий, а также для дифференцированного описания их характера и интенсивности. В этой связи надо констатировать отсутствие каких-либо общепринятых методик таких оценок и неизбежность элементов условности и относительности при любых попытках описать состояние экосистемы или фактора воздействия на нее в категориях «хорошее»–«плохое», «сильное»–«слабое», «допустимое»–«недопустимое» и т.д. Это вполне естественно, так как хороших или плохих состояний природных экосистем в принципе не существует.

Наши представления о вредности любого техногенного воздействия условны по своей сути, что в полной мере относится к любым экологическим нормам и критериям оценок последствий. В то же время у нас нет другого способа конкретизировать результаты ОВОС и придать им хотя бы полуколичественный вид. В противном случае мы обречены на малопродуктивные попытки текстуальных или иных описаний сложнейших природных систем с бесконечным набором прямых и обратных связей (чаще всего нелинейных) без каких-либо надежных оснований для конечных выводов и с большим простором для субъективных трактовок.

Один из вариантов шкалы пространственно-временных масштабов антропогенного воздействия, а также степени его проявления (интенсивности) при разных видах морских и прибрежных работ приведен в табл.1. В отличие от других классификаций такого рода [Зеленков, Мискевич, 2000; Матишов и др., 2001] предлагаемые градации воздействий и эффектов основаны на критериях и порогах популяционных нарушений. Последние, в



Рис.1. Принципиальная схема, этапы и последовательность решения задач ОВОС и прогноза экологических последствий хозяйственной деятельности в прибрежной зоне и на шельфе морей [Патин, 2005]

свою очередь, опираются на анализ динамики развития стрессовых эффектов в морских экосистемах [Патин, 2005]. При всей условности такого подхода он позволяет дифференцировать воздействия и их последствия по интенсивности проявлений в различных пространственно-временных масштабах.

Анализ динамики токсических (стрессовых) эффектов в морской среде показывает, что наиболее быстрые и относительно легко регистрируемые эффекты возникают на суборганизменном (физиолого-биохимическом) и организменном уровнях с последующей компенсацией этих эффектов либо их передачей на более высокие уровни биологической иерархии в водоемах. Устойчивые нарушения в сообществах и экосистемах (экологические модификации) проявляются лишь при длительных воздействиях, которые могут приводить к структурно-функциональным изменениям на популяционном уровне, выходящим за пределы их естественной изменчивости в конкретных условиях данного региона. Некоторое представление об этих процессах можно получить по схеме на рис.2.

1.2. Критерии оценок и пороги допустимых нарушений

В рамках экосистемного подхода к оценке техногенных воздействий на морскую среду могут быть рекомендованы следующие экологические условия (критерии) допустимости таких воздействий:

Таблица 1. Шкала масштабов воздействия и градация экологических последствий при разных видах морской деятельности [Патин, 2001]

(в квадратных скобках указаны индексы относительных воздействий и нарушений;
знак Σ относится к сумме индексов)

Масштаб воздействия и характер эффектов	Показатели воздействия и ранжирование потенциальных нарушений
<i>Пространственный масштаб</i>	
Точечный [1]	Площадь воздействия менее 100 м ²
Локальный [2]	Площадь воздействия от 100 м ² до 1 км ²
Местный [3]	Площадь воздействия в пределах 1 – 100 км ²
Субрегиональный [4]	Площадь воздействия более 100 км ²
Региональный [5]	Площадь воздействия охватывает весь регион
<i>Временной масштаб</i>	
Кратковременное [1]	От нескольких минут до 24 ч
Временное [2]	От 24 ч до одного сезона

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Долговременное [3]	От одного сезона до одного года
Хроническое [4]	Более одного года
<i>Обратимость изменений</i>	
Обратимые [0] (острый стресс)	Параметры состояния среды и биоты восстанавливаются за время от нескольких часов до одного сезона
Слабо обратимые [3]	Параметры состояния среды и биоты восстанавливаются за время от одного сезона до трех лет
Необратимые [5] (хронический стресс)	Нарушения параметров среды и биоты сохраняются более трех лет
<i>Итоговые оценки</i>	
Незначительные [$\Sigma=2-4$]	Изменения среды и биоты отсутствуют или неразличимы на фоне природной изменчивости
Слабые [$\Sigma=5-7$]	Возможны регистрируемые нарушения среды и кратковременные (обратимые) стрессы в биоте ниже порога минимума реакций на уровне популяций (до 10^{-3} % от нормы параметров состояния)
Умеренные [$\Sigma=8-10$]	Наблюдаются нарушения среды и стрессовые изменения в биоте без признаков деградации и утраты способности системы к самовосстановлению
Сильные [$\Sigma=11-14$]	Проявляются устойчивые структурные и функциональные перестройки сообществ (около 10% от нормы параметров состояния популяций и сообществ)



Рис.2. Характер и последовательность проявления стрессовых эффектов на разных уровнях биологической иерархии в море

- воздействие и вызванные им эффекты носят кратковременный или временный характер и ограничены точечным или локальным масштабом;
- экологические последствия разовых воздействий в условиях острого (кратковременного) стресса обратимы и нивелируются за время, сопоставимое со временем воздействия;
- нарушения популяционной численности и воспроизводства ключевых видов (в том числе промысловых) отсутствуют либо неразличимы на фоне их естественной динамики в пределах ареала каждого из видов в районе планируемых или осуществляемых работ.

Одновременное выполнение всех этих трех условий в ситуациях, когда никаких других вредных воздействий в данном районе нет, может служить определенной гарантией экологической безопасности тех или иных видов морской деятельности.

Изложенные выше условия, градации и критерии для оценки экологических эффектов могут быть дополнены ориентировочными *порогами нарушений* на популяционном уровне. К их числу, согласно известной классификации [Реймерс, 1990], можно отнести следующие три порога:

- порог минимума реакций – до $10^{-2}\%$ отклонения от средней нормы для основных популяционных параметров (биомасса, численность и др.) в условиях хронического стресса и до $10^{-1}\%$ – в условиях острого стресса;
- порог нарушения стационарного состояния (колебаний) – около 10% от нормы популяционных параметров;
- порог постепенной деградации (деструкции) популяций и сообществ – более 50% от нормы основных параметров.

Предложенные пороги и критерии являются, конечно, условными и приближенными как, впрочем, и любые другие показатели такого рода, включая официальные нормативы качества окружающей среды.

2. Характеристика антропогенного воздействия на моря Арктики

2.1. Структура, факторы и масштабы воздействия

Общее представление о характере, структуре и последствиях негативного антропогенного воздействия на морские регионы российской Арктики можно получить из обобщенных экспертных оценок в табл.2. При этом мы опирались на массивы известных по данной проблеме материалов и на описанные выше критерии для дифференциации пространственных и временных масштабов воздействий и степени опасности.

Под экологическими последствиями подразумеваются такие изменения в морских водоемах, которые вызывают нарушения естественного состава биотопов (среды обитания гидробионтов), структуры и функций экосистем. Рыбохозяйственные последствия включают в себя снижение запасов промысловых видов, ухудшение их воспроизводства и товарных качеств, нарушение миграций и другие негативные изменения сырьевой базы, а также помехи рыболовству и морской аквакультуре. Эти две категории последствий в какой-то мере перекрывают друг друга. Так, практически при любом воздействии на морскую акваторию в ней будут возникать одновременно эффекты и последствия экологического и рыбохозяйственного характера, и провести между ними четкую грань не всегда возможно. В узкой прибрежной зоне на эти два типа последствий часто накладываются вредные эффекты санитарно-гигиенического характера за счет присутствия в городских и коммунальных стоках патогенных микроорганизмов.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Таблица 2. Экспертные оценки антропогенного воздействия и его последствий для арктических морей России

(оценки относятся к современным и прогнозируемым ситуациям с учетом максимальных рисков)

Виды деятельности и факторы воздействия	Характер, масштаб и степень опасности последствий					
	экологические			рыбохозяйственные		
	Л(М)	Р(СР)	Г	Л(М)	Р(СР)	Г
<i>Промышленная индустрия</i>						
Удаление сточных вод*	+++	++	–	++	+	–
Сброс твердых отходов*	+	–	–	+	–	–
Атмосферные выбросы*	++	++	+	+	+	–
Водопотребление	+	–	–	+	–	–
Аварийные ситуации*	++	+	–	++	+	–
<i>Сельское хозяйство</i>						
Вынос удобрений и биогенов*	++	+	–	+	+	–
Вынос пестицидов*	++	+	–	+	+	–
<i>Урбанизация, строительство и освоение морских побережий</i>						
Удаление коммунальных стоков*	+++	++	–	++	+	–
Разрушение берегов	+++	+	–	++	+	–
Водопотребление	+	–	–	+	–	–
<i>Теплоэнергетика</i>						
Атмосферные выбросы*	++	+	+?	+	–	–
Водопотребление	+	–	–	+	–	–
Тепловое загрязнение	+	–	–	–	–	–
<i>Добыча нефти и газа на шельфе</i>						
Сейсморазведка	+++	+	–	+++	+	–
Удаление отходов буровых и промысловых работ*	++	–	–	+	–	–
Строительство платформ, терминалов, трубопроводов	+++	+	–	+	+	–
Захоронение конструкций	+	–	–	+	–	–
Аварийные ситуации*	+++	++	–	++	+	–

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

<i>Добыча нефти и газа на суше</i>						
Поступление нефти в водоемы*	+++	++	–	++	++	
Переходы трубопроводов через реки	++	–	–	+	–	–
Аварии на трубопроводах*	+++	++	–	++	+	–
<i>Интродукция и акклиматизация вселенцев</i>						
Модификация экосистем	+++	+++	–	++	++	–
Нарушения биотопов	+++	++	–	++	++	–
<i>Дноуглубительные работы</i>						
Разрушение берегов и дна	+++	++	–	+++	+	–
Повышение мутности	+++	+	–	+	–	–
<i>Гидростроительство</i>						
Нарушения речного стока	+++	++?	–	+	?	–
<i>Морской дампинг (сброс отходов)</i>						
Нарушения на дне, повышение мутности*	++	+	–	+	–	–
<i>Судоходство</i>						
Сброс и сливы судовых отходов*	++	+	–	+	+	–
Физические воздействия	+	+	–	++	–	–
<i>Морские перевозки нефти</i>						
Сброс балластных и льяльных вод*	++	+	–	+	–	–
Аварии танкеров*	+++	++	–	+++	+	–
Инвазия организмов-вселенцев	++	?	–	?	?	–
<i>Рыболовство</i>						
Селективное изъятие биомассы, нарушение структуры экосистем	+++	+++	+	+++	+++	+
Сбросы приловов*	++	+	–	–	–	–
Нарушения дна и бентоса при донных тралениях	+++	+	–	++	+	–
<i>Лесное хозяйство</i>						
Эрозия берегов и нарушение баланса поступления взвеси в море	+++	+	–	+	–	–

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Примечания:

1. Масштаб воздействия: Л(М) – локальный (местный), Р(СР) – региональный (субрегиональный), Г – глобальный.
 2. Степень опасности (экологический риск): +++ сильная, ++ умеренная, + слабая, – незначительная, ? неопределенная;
 3. Определения масштабов и степени опасности даны в табл.1.
- * – виды деятельности, сопровождаемые загрязнением.

Что касается масштаба этих последствий, то локальный и местный уровень обычно ограничивается зоной очевидных и легко регистрируемых нарушений на расстоянии обычно не более десятков километров от источника воздействия, региональный и субрегиональный масштаб охватывает последствия в пределах обширных акваторий (отдельные моря, крупные заливы, эстуарии больших рек и др.), тогда как глобальный уровень относится к эффектам и последствиям (обычно гипотетическим и трудно доказуемым) в районах, удаленных от прямого антропогенного воздействия. Такое разграничение ситуаций по их масштабам, конечно, условно. Например, региональная экологическая ситуация в любом из арктических морей, которая складывается в результате совокупного (кумулятивного) проявления многих воздействий, может радикально измениться за счет только одного локального события, например в результате сильного нефтяного разлива. В свою очередь, региональные экологические аномалии постепенно формируют глобальный фон, и четкие переходы между ними не существуют либо их невозможно зафиксировать.

При всех ограничениях изложенного подхода он тем не менее позволяет не только дифференцировать факторы воздействия, но и дать относительную качественную оценку опасности последствий (в соответствии со шкалой и определениями в табл.1) при разных типах и масштабах их проявлений в арктических морях. Разумеется, приведенные в табл.2 оценки носят экспертный характер и отражают типичные для Арктики ситуации экологического неблагополучия, которые могут сильно варьировать в пределах обширных акваторий арктических морей России.

2.2. Основные черты и особенности современной экологической ситуации

На основе сводных оценок в табл.2 и известных обобщающих работ [АМАР, 1998; 2004; GIWA, 2004; 2005] можно сделать несколько главных выводов относительно общей экологической ситуации в морях Арктики:

1. Прежде всего обращает на себя внимание чрезвычайная многофакторность и мозаичность источников антропогенного воздействия на арктические моря. Мы видим здесь такие разноплановые явления как сбросы промышленных, хозяйственно-бытовых и других отходов, нарушения берегов и донных отложений, промысловое изъятие морских организмов, инвазия видов-вселенцев, судоходство, добыча углеводородов и т.д. Недооценка этой вполне очевидной комплексности воздействия человека на природу моря

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

и однофакторный подход к природоохранной стратегии существенно снижают эффективность программ по защите морей [GESAMP, 2001].

2. Наиболее сильные антропогенные воздействия на арктические моря сосредоточены на их берегах, в заливах, губах и в прибрежных водах. Как показано на рис.3, здесь выделены 16 импактных зон с повышенными уровнями экологического риска за счет влияния речного стока, атмосферного загрязнения и хозяйственной деятельности на морских берегах и в прибрежных водах.

3. При переходе от западного фланга арктического побережья (Баренцево, Белое и Карское моря) к восточным окраинам (Чукотское и Берингово мор) тяжесть всех видов антропогенного пресса существенно снижается. По экспертной оценке [Evseev et al., 2000], в бассейне Баренцева моря кризисная экологическая ситуация сложилась в Кольском заливе, а в бассейне Карского моря экологический кризис наблюдается в Обской и Тазовской губах.

4. *Сильные и умеренные* негативные последствия антропогенных воздействий для прибрежных морских экосистем Арктики чаще всего ограничены *локальным* или *местным* масштабом. Для *регионального* и *субрегионального* уровней обычно характерны *умеренные, слабые* или *незначительные* экологические риски (определения масштабов и степени опасности см. в табл.1). Исключением является морской рыболовство в Западной Арктике (в основном в Баренцевом море), *сильное* воздействие которого проявляется на *региональном* уровне.

5. Что касается обратимости экологических последствий в импактных зонах, то обычно речь идет о *слабо обратимых* или *необратимых* нарушениях (хронических стрессах) в прибрежных экосистемах, восстановление которых (в случае снятия антропогенного воздействия) возможно за время, исчисляемое годами.

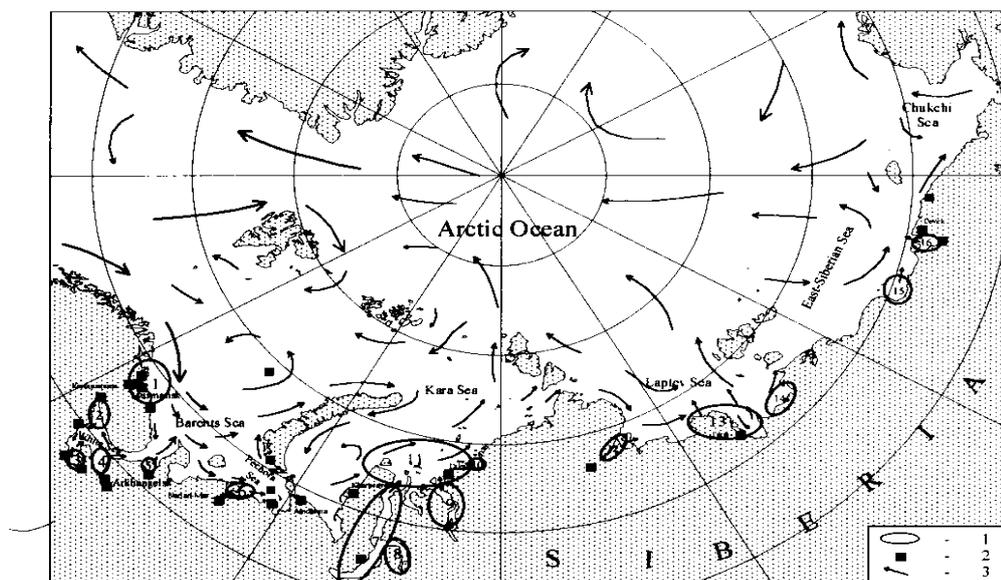


Рис.3. Импактные зоны на побережье арктических морей [Evseev et al., 2000]:

1 – области влияния речного стока; 2 – расположение источников локального загрязнения (горячие точки); 3 – направление дрейфа льдов

6. Загрязнение сопутствует большинству видов деятельности человека на берегу и в море и является наиболее распространенным фактором экологического неблагополучия в морской среде Арктики. В свою очередь этот фактор весьма разнороден по своему происхождению, составу и степени опасности, что рассмотрено ниже.

Отметим, что многие виды антропогенного воздействия не отличаются по своему характеру и последствиям от природных возмущений, которые всегда были и будут проявлять себя независимо от деятельности человека. Резкие колебания речного стока и нарушения экологических условий в прибрежной зоне во время паводков, штормовые и прибойные эффекты, выходы подземных газов и углеводородов на морском дне, аномалии химического состава среды в биогеохимических провинциях – вот далеко не полный перечень такого рода природных возмущений, которые многократно отмечались в арктических морях [Петрова, 2001; Иванов, 2003; NAS, 2003; Немировская, 2004]. Антропогенные воздействия отличаются от них лишь географией, масштабами и частотой проявления.

Судя по результатам последнего анализа экологической ситуации в различных регионах Мирового океана [GESAMP, 2001], к наиболее серьезным проблемам глобального уровня относятся:

- нарушения прибрежных экосистем и разрушение берегов;
- влияние коммунальных стоков на экологию прибрежных вод и здоровье людей;
- переловы и сокращение запасов рыб и других видов биоресурсов.

Такого рода диагноз может быть распространен и на российские моря Арктики, во всяком случае – на бассейны Баренцева, Белого, Печорского и Карского морей, где, как следует из последних официальных материалов [МПП, 2003; 2004], антропогенный пресс на прибрежные акватории и речной сток не снижается, а рыбные запасы находятся в депрессивном состоянии в основном из-за нерациональной промысловой эксплуатации. В ближайшие годы экологическая ситуация в этих регионах может осложниться в результате крупномасштабного освоения морских нефтегазовых месторождений [Патин, 2001; GIWA, 2004].

Анализ динамики экосистем Баренцева и Белого морей показывает, что главной причиной экологических деформаций на региональном уровне в этих морях является чрезмерный вылов рыбы и других промысловых организмов [Матишов и др., 2000; 2001]. Другой причиной заметных и тревожных экологических перестроек в Баренцевом море может быть инвазия камчатского краба, который успешно адаптировался за последние 10-20 лет к новым условиям, достиг численности более 1 млн. особей и уже сейчас оказывает заметное негативное воздействие на состояние донных биоценозов и, возможно, рыбных запасов [GIWA, 2005].

2.3. Экологические эффекты и последствия морского рыболовства

Тысячи рыболовных судов, оснащенных современными орудиями промысла (пелагические и донные тралы, яруса, ловушки и др.), постоянно бороздят воды морей и океанов и вылавливают ежегодно более 80 млн.т/год биомассы промысловых рыб и беспозвоночных. Ежегодный улов России составляет сейчас 3–4 млн.т морепродуктов, из них 20-30% приходится на моря Западной Арктики (в основном Баренцево море).

Очевидно, что столь масштабная деятельность, которая обеспечивает около 20% потребности людей в животном белке и без которой трудно представить существование человечества в современных условиях, неизбежно сопряжена (как и в случае аграрно-промышленного комплекса) с негативными воздействиями на окружающую среду. В последние годы эта проблема находится в фокусе внимания ряда международных организаций [ЮНЕП, 2001; GESAMP, 2001; OSPAR, 2001; Degnbol et al., 2003; ICES, 2004], которые ставят рыболовство на первое место среди всех остальных видов морепользования по степени антропогенного пресса на морские экосистемы. Этот вывод несомненно относится к экологической ситуации в рыбопромысловых морях российской Арктики (Баренцево, Белое и Берингово моря), где негативные последствия рыбного промысла могут существенно усиливаться за счет региональных климатических аномалий (см. раздел «В3. Влияние изменений климата на экосистемы и биоресурсы морей российской Арктики»).

Основные эффекты и факторы воздействия промышленного рыболовства на морские экосистемы включают в себя:

Переловы, то есть избирательное изъятие биомассы промысловых видов сверх допустимых лимитов. Это влечет за собой не только критическое (часто кризисное) состояние промысловых популяций и соответствующее падение уловов, но и нарушение трофической структуры морских экосистем (в частности, укорочение пищевых цепей) на субрегиональном и региональном уровнях. Многочисленные примеры таких ситуаций, в том числе в арктических морях России, подробно описаны во множестве научных публикаций (см., например, [ICES, 2000; Пономаренко, Зеленков, 2000; Матишов и др., 2001; Brender, 2005]). Так, перелов мойвы в 80-е годы в Баренцевом море существенно отразился на численности трески, тюленей и рыбадных колониальных птиц, а их переход на питание другими кормовыми объектами привел к радикальному изменению экосистемных процессов в море [Матишов и др., 2000]. Анализ статистики уловов и трофической структуры экосистем в различных рыбопромысловых регионах показал существенное уменьшение длины пищевых цепей в зонах длительного воздействия промысла [Pauly, Palomares, 2005].

Элиминация непромысловых видов (сброс в море случайных приловов). Такая практика широко распространена и уже привела к необратимому подрыву популяций некоторых видов с низкой скоростью воспроизводства. Это относится, в частности, к скатам северных европейских морей, численность которых за счет случайных приловов

катастрофически снизилась за последние сто лет [ICES, 2000]. Известны случаи массовой гибели морских птиц, попадающих в рыболовные сети. Например, «прилов» птиц при рыбном промысле российских судов в арктических морях в 1996 г. составил около 200 тыс. особей, а у берегов Аляски – более 11 тысяч [CAFF, 1998]. Аналогичные эпизоды известны также для тюленей, гибель которых в сетях при рыбном промысле в арктических морях в 80-е годы исчислялась тысячами голов [ЮНЕП, 2000]

Сброс в море «нежелательных» уловов. В силу разных причин (превышение квот по уловам, нарушения допустимого размера рыб, переориентация промысла и пр.) такого рода сбросы давно стали рутинной промышленного рыболовства и могут достигать внушительных размеров – от 20 до 80% от улова для разных объектов промысла. Это означает, что ежегодно в мире за борт рыболовных судов в море выбрасывается около 30 млн.т (!) биомассы морских организмов [GESAMP, 2001]. Такие сбросы нарушают природный баланс пищевых цепей в море, являются источником локального органического загрязнения и приводят к аномальным всплескам численности отдельных видов. Какой-либо официальной статистики и мониторинга подобных операций для арктических морей России не существует. Имеются сведения о возможности сброса в Баренцевом море до 30% уловов трески с размерами меньше установленной промысловой меры [GIWA, 2004]. В порядке сравнения можно привести данные по Северному морю, где сброс «нежелательных» уловов (unwanted catches) в 90-е годы колебался в очень широких пределах – от 3 до 90% от общих уловов в зависимости от объектов промысла (треска, камбала, сельдь и др.) и типов рыболовства (пелагический лов, донные траления) [ICES, 2000].

Физическое воздействие на морское дно. В результате многократных донных тралений происходят масштабные нарушения верхнего слоя донных осадков и населяющих их бентосных сообществ. В районах традиционного тралового промысла (например в Северном море) такие воздействия приводят к гибели 20-40% бентосных организмов и охватывают более 50% площади региона [ICES, 2000]. Прямые визуальные наблюдения в Баренцевом море показали, что обширные участки дна в районах рыболовства испещрены следами донных тралов в виде борозд шириной 2-3 м и глубиной до 0,8 м [Айбулатов, 2005]. Надо полагать, что экологические последствия и негативное воздействие на биоресурсы в таких ситуациях достаточно ощутимы, однако их количественные оценки для арктических морей России до сих отсутствуют.

Бесспорно, эти и некоторые другие негативные последствия морского рыболовства в разных ситуациях и регионах проявляются по разному. Однако сам факт таких последствий, их масштабность и серьезность не вызывают сомнений. Поиски решения подобных проблем ведутся сейчас в рамках экосистемного подхода к эксплуатации биоресурсов и концепции «устойчивого рыболовства» [ICES, 2000; Degnbol et al., 2003].

3. Загрязнение как экологический фактор в арктических морях

Существуют по меньшей мере две причины, которые позволяют рассматривать загрязнение как главное и наиболее распространенное проявление антропогенного воздействия на арктические моря. Первая из них состоит в том, что загрязнение сопутствует большинству из перечисленных в табл.2 видов прибрежной и морской деятельности в Арктике. Другая причина связана с тем, что в отличие от наземных биогеоценозов, где загрязняющие вещества прочно фиксируются в почвах и растениях, в морской среде они могут быстро распространяться на большие расстояния от источников загрязнения. В Арктике масштабные процессы гидрологического переноса примесей и выноса в моря с речным стоком дополняются их накоплением на поверхности льдов и дальним переносом с ледовым покровом.

3.1. Источники, состав и пути поступления

При всем разнообразии видов хозяйственной деятельности и факторов антропогенного воздействия на морские регионы Арктики существуют три основных канала поступления загрязняющих веществ в морскую среду:

- непосредственное удаление в море жидких и твердых отходов (промышленные, городские и другие сточные воды, судовые сбросы, дампинг грунтов и т.д.);
- вынос загрязняющих веществ в прибрежную зону с терригенным стоком, в основном с реками;
- атмосферный перенос и выпадение аэрозольных примесей на морскую поверхность.

Глобальные оценки основных каналов поступления загрязняющих веществ в морскую среду, сделанные группой экспертов ООН в 1992 г. [GESAMP, 1992] и подтвержденные позже [GESAMP, 2001], приведены на рис.4.

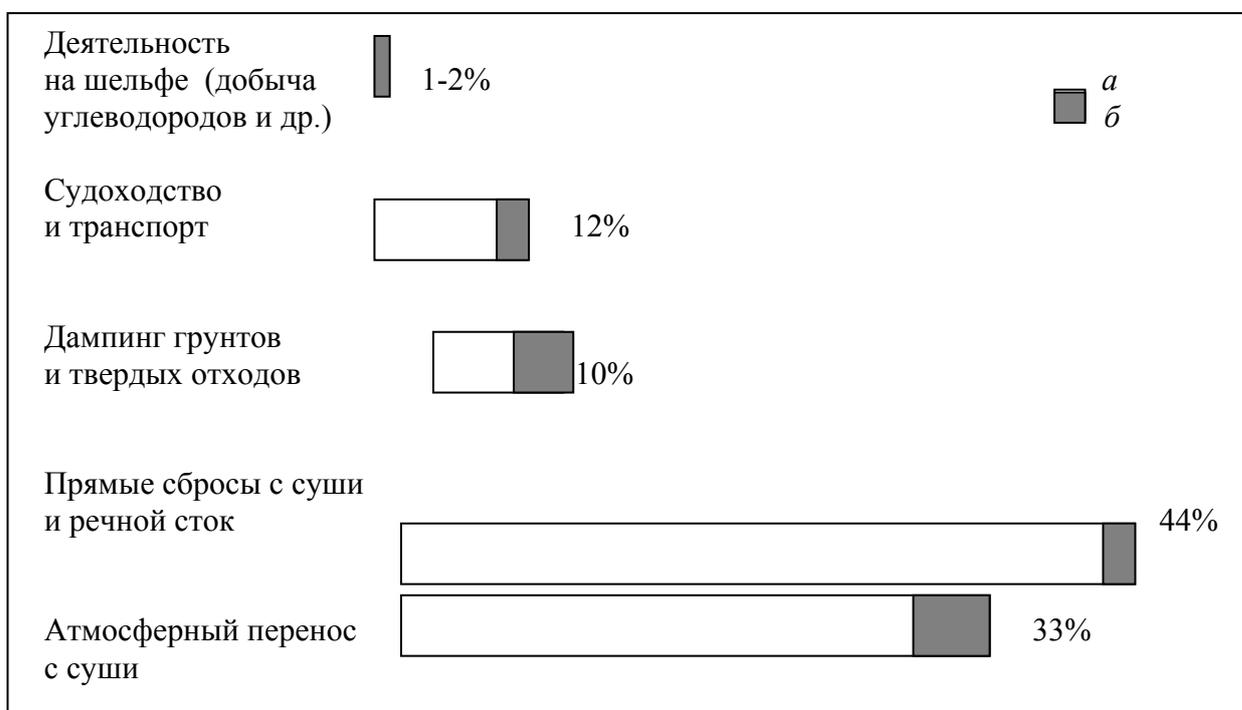


Рис.4. Относительный вклад (в %) основных каналов поступления загрязнения в морскую среду: *a* – поступление в прибрежные воды, *б* – поступление в открытые воды (построено по данным [GESAMP, 1992; 2001])

Из этих сводных данных видно, что преобладающие глобальные потоки загрязнения в море (около 80%) идут с суши и включают в себя прямые сбросы в прибрежные воды, речной сток и атмосферный перенос, причем основная масса поступающих в море загрязняющих веществ (более 90%) распределяется в узкой полосе прибрежной зоны.

В первом приближении эту глобальную картину можно экстраполировать на морской сектор Арктики, хотя для разных веществ и в разных ситуациях относительный вклад каждого из возможных каналов в суммарный поток загрязнения в арктические моря будет, естественно, разным.

Прямое поступление сточных вод с береговых источников в окраинные моря Северного Ледовитого океана составляет в последние годы 110-150 млн.м³, из них более 90% приходится на побережья Баренцева и Белого морей [МПП, 2003; 2004]. Здесь же расположено большинство импактных зон и «горячек точек», существующих сейчас на берегах арктических морей (см. рис.3), которые являются источником локального загрязнения морской прибрежной зоны, прилегающего берега и воздушной среды.

Вынос загрязняющих веществ в прибрежные акватории Арктики с речным стоком примерно в 10 раз превышает их прямой сброс в морскую среду. По некоторым данным [Максимова, Брусиловский, 2000] в окраинные моря российской Арктики ежегодно выносятся реками 1225 млн.м³ неочищенных стоков, что составляет 70% речного стока со всей территории России. Из этого объема 71% приходится на Белое море, 16% – на Карское, 9% – на Баренцево море и 4% – на остальные моря.

Устойчивое превышение ПДК многих загрязняющих веществ в атмосфере промышленных приморских центров Арктики составляет десятки раз [Меньшиков, 2000]. Атмосфера Арктики является своеобразной холодной ловушкой для атмосферных выбросов из средних широт Евразии [Шоу, 1995], однако надежные количественные оценки вклада этого канала в суммарное поступление и баланс отдельных загрязнителей для разных арктических морей пока отсутствуют.

Среди приоритетных компонентов крупномасштабного загрязнения Арктики обычно выделяют группу наиболее распространенных загрязняющих веществ, к которым относятся:

- тяжелые металлы: ртуть, свинец, кадмий;
- стойкие органические загрязнители: ДДТ, ПХБ, ПАУ, альдрин, дельдрин, токсафен, гексахлоран и др.;
- нефть и нефтепродукты: сырая нефть, мазут, бензин и др.;

- искусственные радионуклиды: стронций-90, цезий-137, плутоний-239.

Именно эти вещества формируют так называемое фоновое (глобальное) загрязнение морской среды, признаки которого можно обнаружить сейчас практически в любой точке Мирового океана, в том числе в морях Арктики [GESAMP, 2001; АМАР, 2004; GIWA, 2004].

3.2. Уровни содержания и распределение в море

Сводные данные о характерных уровнях (диапазонах) содержания наиболее распространенных загрязняющих веществ в морской воде, промысловой биоте и донных осадках для основных экологических зон арктических морей России приведены в табл.3. При составлении этой сводки были использованы известные опубликованные материалы [Davis, 1996; Status Report, 1997; Матишов и др., 1997; Патин, 1997; Шпарковский, 1997; Шапоренко, 1997; АМАР, 1998; Матишов, 1998; Савинов и др., 1998; Гухман, 1999; Меньшиков, 2000; Фоун, 2000; Патин, 2001; Денисов, 2002; МПР, 2003; Иванов, 2003; АМАР, 2004; Матишов, 2004; Немировская, 2004; Оберюхтина, 2005; GIWA, 2004; 2005].

Таблица 3. Характерные уровни содержания загрязняющих веществ в морской воде (числитель, мкг/л), донных осадках (знаменатель, мкг/кг сухого веса), ледовом и снежном покрове (мкг/л) и промысловых организмах (мкг/кг сырой массы) на шельфе арктических морей России

Экологические зоны и группы биоты	Компоненты загрязнения					
	ХОВ*	ПАУ**	НУ***	Ртуть	Свинец	Кадмий
Открытые воды шельфа	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-4} - 10^{-2}$	1 - 10	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-3} - 10^{-2}$
	10 - 10^2	$10^2 - 10^3$	$10^2 - 10^4$	10 - 10^2	$10^3 - 10^4$	$10^2 - 10^3$
Прибрежные воды	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-3} - 10^{-2}$	10 - 10^2	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-2} - 1$	$10^{-2} - 10^{-1}$
	$10^2 - 10^3$	$10^2 - 10^3$	$10^2 - 10^4$	$10^2 - 10^3$	$10^2 - 10^3$	$10^2 - 10^4$
Заливы, губы, устья рек	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^2 - 10^3$	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-1} - 1$	$10^{-2} - 10^{-1}$
	$10^3 - 10^4$	$>10^3$	$>10^4$	$10^2 - 10^3$	$10^2 - 10^3$	$10^2 - 10^4$
Низовья рек	$10^{-2} - 1$	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^2 - 10^3$	$10^{-2} - 10^{-1}$	1 - 10^2	$10^{-2} - 10^{-1}$
	$10^3 - 10^4$	$>10^3$	$>10^4$	н.д.	н.д.	н.д.
Районы локального загрязнения	>1	$>10^{-1}$	$>10^3$	$10^{-1} - 10$	$10^2 - 10^3$	$10^{-1} - 10$
	$>10^4$	$>10^4$	$>10^6$	н.д.	н.д.	н.д.
Ледовый и снежный покров	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-3} - 10^{-1}$	н.д.	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-1} - 1$	$10^{-1} - 1$
Промысловые рыбы	1 - 10^2	10 - 10^3	1 - 10^4	1 - 10^2	10 - 10^2	1 - 10

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

(открытые воды)						
Промысловые беспозвоночные	$10 - 10^3$	$10 - 10^3$	$10 - 10^4$	$10 - 10^3$	$10 - 10^2$	1 - 10
Млекопитающие (открытые воды)	$10 - 10^3$	$10 - 10^2$	1 - 10^3	$10 - 10^2$	$10 - 10^2$	1 - 10

* ХОВ – хлорорганические вещества; ** ПАУ – полициклические ароматические углеводороды; *** НУ – нефтяные углеводороды; н.д. – нет данных.

Приведенные данные показывают весьма высокий разброс концентраций – в пределах одного-трех порядков величин. Это отражает, несомненно, как естественную изменчивость содержания токсикантов в зависимости от множества природных и антропогенных факторов, так и неизбежные аналитические погрешности и разброс результатов из-за методической несогласованности данных разных авторов. По этой причине трудно оперировать какими-либо надежными средними уровнями даже в пределах отдельных участков шельфа, и тем более – для всего арктического шельфа России. Тем не менее эти данные позволяют сделать несколько общих выводов:

1. Прежде всего надо отметить явное нарастание уровней загрязнения при переходе от открытых пелагических областей шельфа к прибрежным водам, заливам, губам, устьям и эстуариям рек, что вполне закономерно, если учесть наземное происхождение основных источников морского загрязнения и решающую роль речного стока в балансе поступления загрязняющих веществ в моря Арктики. Эта глобальная закономерность давно известна [Патин, 1979; Patin, 1982], она характерна для большинства морских регионов, и арктические моря России в этом отношении не представляют исключения. Вместе с тем имеется различие, которое состоит в том, что уровни фонового загрязнения морей Арктики в целом понижены по сравнению с морями умеренных широт [АМАР, 2004; GIWA, 2005].

2. Исходя из приведенных в табл.3 уровней загрязнения арктических рек и известной суммарной величины их стока (около $1,5 \text{ км}^3/\text{год}$), можно оценить примерные объемы выноса отдельных загрязнителей с речными водами в морскую среду Арктики. Эти объемы составляют величины порядка $10-10^3 \text{ т/год}$ для ХОВ и ПАУ, 10^4-10^5 т/год для НУ и $10-10^2 \text{ т/год}$ для ртути и свинца. Приведенные величины соизмеримы с известными оценками атмосферных потоков этих веществ в арктические моря [MacDonald, Bewers, 1996; АМАР, 1998]. Надо учесть при этом, что атмосферные выпадения распределяются весьма равномерно на обширных пространствах морей, тогда как речной сток формирует области повышенного загрязнения в относительно узких прибрежных зонах, эстуариях, губах и заливах шельфовых морей Арктики.

3. Другая, важная в экологическом плане общая черта распределения загрязняющих веществ в морской среде Арктики, заключается в их локализации в так называемых сопряженных средах, то есть на границе раздела атмосферы с водными массами и ледовым покровом, а также в верхнем слое донных осадков. Концентрации всех

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

техногенных примесей в этих средах значительно (иногда на несколько порядков величин) превосходят соответствующие уровни в морской воде. Некоторые исследования [Davis, 1996; АМАР, 1998] показывают также многократное (до 10 раз) обогащение арктических льдов загрязняющими примесями по сравнению с морской водой, что может ухудшать экологическую ситуацию в периоды таяния льдов.

4. Известный для всех морей процесс накопления (депонирования) загрязняющих веществ в донных осадках значительно усиливается в условиях Арктики из-за относительно высокой интенсивности процессов биоседиментации и низких (обычно отрицательных) температур в придонных слоях, что резко замедляет скорость распада всех органических соединений. Среди них особого внимания в программах арктического мониторинга заслуживают ПАУ, которые отличаются высокой устойчивостью, способностью к биоаккумуляции и канцерогенными свойствами.

5. Уровни содержания компонентов загрязнения в биомассе рыб, беспозвоночных и млекопитающих на несколько порядков (обычно в пределах от 10^2 до 10^3) превышают их концентрации в морской воде. Биоаккумуляция тяжелых металлов (особенно ртути) и хлорорганических веществ (особенно ДДТ и ПХБ) сопровождается эффектом нарастания концентраций по мере увеличения длины пищевых цепей в море. Самые высокие концентрации этих токсикантов характерны для депонирующих органов и тканей (печень, жировые ткани и др.) морских организмов, замыкающих пищевые цепи в море (млекопитающие, птицы).

6. Однако в целом объекты морского промысла в России, в том числе из арктических морей, загрязнены существенно меньше по сравнению с сельскохозяйственной продукцией и не представляют опасности для здоровья населения [Патин, 1994; Савинов и др., 1998]. Это в полной мере относится и к радиоактивному загрязнению. Содержание искусственных радионуклидов в промысловых организмах Арктики (даже в районах локальных радиоактивных сбросов) обычно в десятки и сотни раз меньше принятых в России официальных норм радиационной безопасности [Патин, 1994; GIWA, 2005]. Анализ этой проблемы применительно к коренному населению арктической части Канады показал, что вклад искусственных радионуклидов в суммарную дозовую нагрузку для людей не превышает 2-3% от общей дозы, причем главным источником этого вклада служат не морепродукты, а животная пища сельскохозяйственного происхождения [MacDonald, Bewers, 1996].

Как следует из результатов многочисленных исследований и мониторинговых наблюдений, российские моря Арктики следует ранжировать по мере снижения антропогенной нагрузки и риска деградации их прибрежных экосистем в следующем порядке: Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Берингово, Чукотское. Повсюду в этих морях наиболее высокие уровни загрязнения и соответствующие экологические нарушения наблюдаются в *мелководной прибрежной зоне* вблизи населенных пунктов, портов, гаваней, а также в зоне влияния речного стока. По мере удаления от таких импактных районов в сторону открытого моря все показатели

экологического неблагополучия снижаются до величин, регистрация которых становится практически невозможной на фоне естественной динамики природных процессов.

Таким образом, современное загрязнение арктических морей России сосредоточено в основном в прибрежных водах, причем речь идет не обо всей прибрежной зоне и тем более – не об открытой части шельфа, а лишь об импактных зонах, то есть *относительно локализованных участках акваторий*, прилегающих к районам прямого влияния антропогенных воздействий. По ориентировочной оценке, площадь акваторий этих импактных зон не превышает 1% от общей площади прибрежной зоны морей Арктики, которая в свою очередь занимает не более 10% от площади арктического шельфа.

4. Оценка антропогенного воздействия на биоресурсы Арктики

Описанные выше проявления антропогенного воздействия (в основном загрязнения) на арктические моря приводят к локальным перестройкам в прибрежных морских экосистемах, включая изменения биомассы и продуктивности, упрощение видовой структуры сообществ и ряд других экологических аномалий (см. рис.2), которые могут привести в конечном счете к снижению численности и запасов промысловых видов, что показано схематически на рис.4. Известны многие сотни публикаций с описанием этих процессов в самых разных морских регионах и ситуациях.



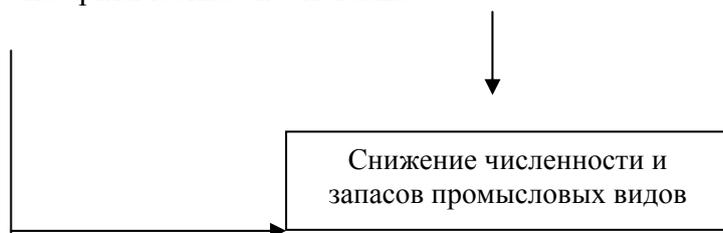


Рис.4. Источники и механизмы воздействия загрязнения на морские прибрежные экосистемы и биоресурсы

В контексте данной работы следует обратить внимание на специфику экологии рыб северных морей, подверженных сильному влиянию речного стока. Это относится прежде всего к Белому, Печорскому и Карскому морям, мелководные шельфы ежегодно принимают более 1 млн. км³ пресного стока Северной Двины, Печоры, Оби и Енисея. Ихтиофауна таких регионов включает следующие группы рыб:

- морские пелагические и придонные рыбы, обитающие в открытых водах шельфа;
- морские неритические виды, жизненный цикл которых протекает в прибрежной зоне;
- солоноватоводные рыбы, которые либо постоянно обитают в опресненных районах морей, подверженных речному стоку и таянию льдов, либо нагуливаются в этих районах, а размножаются в низовьях рек (полупроходные рыбы);
- проходные рыбы, уходящие на нерест вверх по рекам, тогда как их молодь скатывается в море, где и проводит основную часть жизни;
- пресноводные рыбы, обитающие только в пресных водоемах и водотоках бассейна.

Исходя из отмеченной выше закономерности распределения загрязняющих веществ в морской среде (см. раздел 3.2), вполне очевидно, что усиление их вредного воздействия на разные группировки рыб, будет происходить как раз в той последовательности, в какой они были только что перечислены. Иначе говоря, обитающие в чистых открытых водах морей пелагические рыбы (мойва, сельдь, треска, минтай и др.), которые составляют основу промысловых уловов России в Баренцевом и Беринговом морях, практически не подвержены какому-либо заметному антропогенному воздействию, кроме рыболовства. Некоторое ухудшение условий обитания в прибрежной зоне можно ожидать для рыб-бентофагов и рыб с демерсальным типом икрометания (отложение икры на донных субстратах) в ситуациях повышенного загрязнения прибрежных донных осадков. Однако такие эффекты обычно не проявляются в виде острой интоксикации, и их трудно различить на фоне высокой природной смертности на ранних стадиях развития рыб [Patin, 1995].

Совсем иначе дело обстоит, когда мы обращаемся к трем последним из перечисленных выше экологических группировок рыб. Нет никаких сомнений по поводу пагубного воздействия загрязнения на ихтиофауну полупроходных, проходных и пресноводных рыб российской Западной Арктики и Субарктики, что описано во многих публикациях. Достаточно напомнить о подрыве запасов ценных видов рыб (семга, пелядь, сиви и др.) в бассейнах Северной Двины, Печоры, Мезени и других нерестовых рек

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Европейского Севера [Матишов, 1998], депрессивном состоянии рыбного населения почти на всем Кольском полуострове [АМАР, 1998], нарушении воспроизводства осетровых рыб Западной Сибири и утрате рыбохозяйственного значения некоторых сибирских рек [Михайлова, 1995].

Сравнительная качественная оценка степени опасности загрязнения арктических морей России для отдельных групп промысловой биоты дана в табл.4, а в табл.5 отражена степень загрязнения морской среды основных прибрежных районов на примере Карского моря.

Из приведенных в табл.4 качественных сравнительных оценок следует, что:

- наиболее сильное негативное влияние загрязнения характерно для тех видов и групп промысловых организмов, жизненный цикл которых частично или полностью приурочен к прибрежной полосе, зонам смешения морских и пресных вод и особенно к низовьям рек, где происходит размножение и нагул проходных рыб (лососевые и др.);
- в большинстве ситуаций сильное загрязнение и его последствия для рыбных ресурсов (за исключением пресноводной фауны) ограничены локальным или местным масштабом;
- морские рыбы и беспозвоночные, обитающие в открытых водах шельфа за пределами прибрежной (неритической) зоны и составляющие основу промысловых уловов практически не подвержены воздействию загрязнения.

Что касается строгих количественных оценок влияния загрязнения и других форм антропогенного воздействия на морские рыбные и другие биологические ресурсы, то такие оценки до сих пор отсутствуют. Это относится не только к арктическим морям России, но и к любым другим морским регионам, что вполне понятно, если учесть многофакторность антропогенного воздействия, чрезвычайную сложность происходящих при этом процессов и высокую изменчивость состояния популяций промысловых видов под влиянием природных факторов и промысла.

Опираясь на всю совокупность известных материалов об экологической ситуации в морях и океанах, есть основания полагать, что общая интенсивность биопродуцирования (включая рыбопродуктивность) прибрежных экосистем в районах хронического загрязнения снизилась за последние десятилетия примерно на 10% по сравнению с доиндустриальным периодом. Эта экспертная оценка была получена путем сопоставления фактически измеренных и экспериментально установленных действующих (вредных) концентраций основных загрязняющих веществ в морской среде [Patin, 1995].

Таблица 4. Эколого-рыбохозяйственная оценка опасности загрязнения для основных групп промысловых биоресурсов арктических морей России

Экологические и систематические группы организмов	Степень и масштаб опасности в разных регионах					
	Моря западной Арктики		Моря Сибири		Чукотское и Берингово моря	
	Л(М)	Р(СР)	Л(М)	Р(СР)	Л(М)	Р(СР)
Морские рыбы и беспозвоночные						
- пелагиаль	+	-	-	-	-	-
- бенталь	++	-	-	-	-	-
- неритическая зона	++	+	+	-	+	
Полупроходные и солоноватоводные рыбы	+++	++	+	+(?)	++	+(?)
Проходные рыбы	+++	++	+	+(?)	+	+
Пресноводные рыбы	+++	+++	++	+	+	+
Морские млекопитающие						
- ластоногие	++	-	+	-	+	-
- китообразные	-	-	-	-	-	-
Морские птицы	++	-	+	-	+	-
Объекты марикультуры	+++	-	-	-	+	-

Примечания:

1. Масштаб воздействия: Л(М) – локальный (местный), Р(СР) – региональный (субрегиональный), Г – глобальный.
2. Степень опасности: +++ сильная, ++ умеренная, + слабая, – отсутствие, ? неопределенная.

Определения масштабов и степени опасности даны в табл.1.

Таблица 5. Загрязнение морской среды районов Карского моря выше эколого-рыбохозяйственных ПДК [GIWA, 2004]

Район	Уровни загрязнения выше ПДК								
	ДДТ	ГХЦГ	ПХБ	НУ	ПАУ	Cu	Zn	Mn	Fe
Енисейский залив	√	√		√	√	√	√	√	√
Район о-ва Ушакова	√								

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Обская губа		√	√	√	√	√	√	√	√
Пясинский залив		√				√			
Тазовская губа				√					
Байдарацкая губа	√			√					
Побережье Ямала			√						
Район Белого о-ва	√								
Мыс Харасавейский			√	√					
Район Диксона				√					
Район Амдермы				√					

В качестве ориентира эту ориентировочную глобальную оценку можно экстраполировать и на прибрежные акватории арктических морей России (в первую очередь для Баренцева, Белого и Карского морей) как верхний предел возможного негативного воздействия загрязнения на морские экосистемы и биоресурсы этих регионов. С учетом отмеченной выше неоднородности распределения загрязнения в прибрежных водах и соотношения площадей импактных зон и всего шельфа можно принять, что максимально возможный рыбохозяйственный ущерб от современного загрязнения Арктики не превышает потери 0,01% биомассы промысловых видов, обитающих в водах арктического шельфа России. Ясно, что такая величина не может быть зафиксирована на фоне высокой природной изменчивости запасов, численности и уловов промысловых организмов.

Таким образом, современное загрязнение морской среды Арктики ограничено прибрежными водами и акваториями, прилегающими к районам прямого влияния хозяйственной деятельности, и его негативное воздействие не может быть причиной каких-либо заметных нарушений запасов и уловов промысловых видов. Аналогичный вывод был сделан по результатам анализа экологической ситуации для северных морей Европы [Foyn, 2000].

Выводы, рекомендации

1. Антропогенное воздействие на арктические моря России отличается многофакторностью, разнообразием источников и крайней неоднородностью пространственного распределения. Наиболее сильные воздействия и негативные последствия сосредоточены в пределах узкой прибрежной полосы суши и моря.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

2. При переходе от западного фланга арктического шельфа (Баренцево, Белое и Карское моря) к восточным окраинам (Чукотское и Берингово мор) тяжесть всех видов антропогенного пресса существенно снижается.
3. *Сильные и умеренные* негативные последствия антропогенных воздействий для прибрежных морских экосистем Арктики чаще всего ограничены *локальным* или *местным* масштабом. Для *регионального* и *субрегионального* уровней обычно характерны *умеренные, слабые* или *незначительные* экологические риски.
4. Загрязнение сопутствует большинству видов деятельности на берегу и в море и является наиболее распространенным фактором экологического неблагополучия в морской среде Арктики. Экологические и рыбохозяйственные последствия загрязнения проявляются только в относительно локализованных участках акваторий, прилегающих к районам прямого влияния антропогенных воздействий. По ориентировочной оценке, площадь акваторий этих импактных зон не превышает 1% от общей площади прибрежной зоны морей Арктики, которая в свою очередь занимает не более 10% от площади арктического шельфа.
5. Максимально возможный рыбохозяйственный ущерб от современного загрязнения Арктики не превышает потери 0,01% биомассы промысловых видов, обитающих в водах арктического шельфа России. Такая величина не может быть зафиксирована на фоне высокой природной изменчивости запасов, численности и уловов промысловых организмов.
6. Морские рыбы и беспозвоночные, обитающие в открытых водах шельфа за пределами прибрежной (неритической) зоны и составляющие основу промысловых уловов в Арктике, практически не подвержены воздействию загрязнения.
7. Почти все виды антропогенного воздействия на морские экосистемы не отличаются по своему характеру от природных возмущений, которые проявляют себя независимо от деятельности человека. Антропогенные эффекты лишь изменяют масштаб, частоту и интенсивность нарушений, влияющих на состояние морских организмов, популяций и сообществ.
8. Наиболее сильное и масштабное воздействие на пелагическую экосистему морей Западной Арктики (особенно Баренцева и Белого морей) оказывает рыболовство. Среди факторов этого воздействия решающая роль принадлежит переловам, которые приводят к критическому (часто кризисному) состоянию промысловых популяций и соответствующему падению уловов. Кроме того, нерациональное рыболовство сопряжено с нарушением трофической структуры морских экосистем, элиминацией непромысловых видов, сбросом в море приловов и ухудшением состояния донных биоценозов в результате траловых операций.
9. В качестве актуальных направлений дальнейших исследований и мониторинга загрязнения арктических морей России следует рекомендовать:

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

- унификацию и интеркалибрацию аналитических методов определения компонентов загрязнения морской среды;
- совершенствование методологии оценки воздействия на морскую среду и биоресурсы на основе экосистемных подходов и с учетом специфики природных условий в арктических морях;
- оценку региональных потоков и баланса наиболее распространенных токсикантов для экосистем арктических морей;
- выявление роли маргинальных фильтров (седиментационных ловушек) в процессах накопления загрязняющих веществ в эстуарных и приустьевых зонах северных рек;
- оценку соотношения природного фона и антропогенного вклада в балансе тяжелых металлов, ПАУ и нефтяных углеводородов в экосистемах арктических морей;
- исследования фоновой экологической ситуации в районах планируемого освоения морских нефтегазовых месторождений на шельфах арктических морей России.

10. При планировании будущих действий по охране морской среды и биоресурсов Арктики следует учитывать, что наиболее вероятные негативные последствия экологического характера могут возникнуть в результате:

- разведки и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений (в первую очередь в Карском, Печорском и Баренцевом морях);
- транспортировки углеводородов танкерами вдоль побережья Кольского полуострова и по Северному морскому пути;
- продолжения практики нерационального (неустойчивого) рыболовства, особенно перелова массовых видов рыб и беспозвоночных в морях Западной Арктики;
- расширения экспансии видов-вселенцев, уже акклиматизированных в арктических морях (в первую очередь камчатского краба в Баренцевом и Норвежском морях), и возможности новых инвазий (особенно в результате танкерных операций с балластными водами).

Литература

Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии. – М.: Наука, 2005. – 364 с.

Гухман Г. Экологическое состояние российских морей // Энергия: экономика, технология, экология. – 1999. - №5. – С.34-37.

Денисов В.В. Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. – 502 с.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Зеленков В.М., Мискевич И.В. Оценка возможного воздействия добычи нефти на морские арктические экосистемы на примере Приразломного месторождения в Печорском море // Материалы международного семинара «Охрана водных биоресурсов в условиях освоения нефтегазовых месторождений на шельфе РФ». – М.: Госкомрыболовство, 2000. – С.48-59.

Евсеев А.В. Природопользование на побережье арктических морей России // Биологические основы устойчивого развития прибрежных морских экосистем. – Апатиты, 2001. – С.85-88.

Иванов Г.И. Уровни концентраций загрязняющих веществ в придонной морской среде Штокмановского газоконденсатного месторождения // Докл. РАН. – 2003. – Т.390, №4. – С.542-547.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Панов Г.В., Колобова Т.П., Куликов А.С. Современное состояние прибрежных экосистем морей Российской Федерации // Метеорология и гидрология. – 1995. – №9. – С.6-21 .

Максимова М.П., Брусиловский С.А. Анализ источников, распределения и трансформации загрязняющих веществ в прибрежных водах морей российской Арктики // Биологические ресурсы побережья Российской Арктики. – М.: Изд-во ВНИРО, 2000. – С.70-73.

Матишов Г.Г. (ред.). Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. – 468 с.

Матишов Г.Г. (ред.). Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып.1. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – 557 с.

Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л. Современный климатический тренд и состояние биоресурсов Баренцева моря // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. – М.: Научный мир, 2001. – С.289-296.

Матишов Г.Г., Денисов В.В., Чинарина А.Д., Кирилова Е.Э. Динамика экосистем и биоресурсов европейских морей России // Изв. РАН, сер. геогр. – 2000. - №6. – С.28-36.

Матишов Г.Г., Павлова Л.Г., Ильин Г.В., Щекатурина Т.Л., Миронов О.Г., Петров В.С. Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение). – Апатиты, 1997. – 404 с.

Меньшиков В.Ф. Экологическая безопасность – проблемы загрязнения Арктики // Мировой океан: проблемы изучения, освоения и использования ресурсов и пространств. Информационно-аналитический сборник, вып.1. – М.: ВИНТИ, 2000. – С.114-131.

МПП (Министерство природных ресурсов РФ). Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 2002 г.». – М., 2003. – 479 с.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

МПР (Министерство природных ресурсов РФ). Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 2003 г.». – М., 2004. – 490 с.

Немировская И.А. Углеводороды в океане. – М.: Научный мир, 2004. – 328 с.

Оберюхтина И.А. Характеристика загрязнения Белого моря в 2002-2003 годах // Материалы отчетной сессии СевПИПРО по итогам НИР в 2002-2003 гг. – Архангельск, 2005. – С.13-23.

Патин С.А. Влияние загрязнения на биологические ресурсы и продуктивность Мирового океана. – М.: Пищепромиздат, 1979. – 304 с.

Патин С.А. Экологические аспекты качества морской среды и промысловых организмов // Материалы Международной конференции «Технология переработки гидробионтов» (М., 27-30 октября 1993 г.). – М.: Изд-во ВНИРО, 1994. – С.24-30.

Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. – М.: Изд-во ВНИРО, 1997. – 350 с.

Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – 340 с.

Патин С.А. Антропогенное воздействие на морскую среду и биоресурсы: Методология оценок и современная ситуация // Антропогенные влияния на ввозные экосистемы. – М.: МГУ, 2005. – С.32-60.

Пономаренко В.П., Зеленков В.П. Биологические ресурсы побережья Российской Арктики. – М.: Изд-во ВНИРО, 2000. – 203 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование (словарь-справочник). – М.: Мысль, 1990. – 638 с.

Савинов В.М., Савинова Т.Н., Петров В.С. Тяжелые металлы и хлорированные углеводороды в промысловых гидробионтах Баренцева моря и Северо-Восточной Атлантики // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. – С.358-377.

Шапоренко С.И. Загрязнение прибрежных морских вод России // Водные ресурсы. – 1997. – Т.24. – №3. – С.320-327.

Шоу Г.Э. Загрязнение Арктики // Изв. Русск. Геогр. Об-ва. – 1995. – Вып.1. – С.3-14.

Шпарковский И.А. (ред.). Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение). – Апатиты, 1997. – 404 с.

ЮНЕП (Программа ООН по окружающей среде). Глобальная экологическая перспектива. Доклад ЮНЕП о состоянии окружающей среды в конце тысячелетия – ЮНЕП, 2000. – 398 с.

АМАР (Arctic Monitoring and Assessment Programme). AMAP assessment report:

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

Arctic pollution issues. – Oslo: AMAP, 1998. – 859 p.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). AMAP Assessment 2002: The influence of global change on contaminant pathways to, within, and from the Arctic. – Oslo: AMAP, 2004. – 65 p.

Brender K. Effect of climate change on fish distribution and dynamics on the North Atlantic // ESSAS Symposium. – 2005. – 24 p.

CAFF (Conservation of Arctic Flora and Fauna). Incidental take of seabirds in commercial fisheries in the Arctic countries. – Technical report No.1 from the Circumpolar Seabirds Working Group. – 1998.

Degnbol P., Carlberg A., Ellingsen H., Tonder M., Varjopura R., Wilson D. Integrating fisheries and environmental policies. Nordic experience. – A report prepared for the Nordic Council of Ministers (NCM). – NCM, 2003. – 110 p.

Davis N. The Arctic wasteland: a perspective on Arctic pollution. – 1996. – Vol.32. – No.182. – P.237-248.

Evseev A.V., Belousova A.P., Ivanov V.V., Krasovskaya T.M., Sazykina T.G., Solntseva N.P. Environmental hot spots and impact zones of the Russian Arctic. – UNEP, ACOPS, GEF PDF-B Project No.GF/1100-99-13. – Moscow. – 2000. – 51 p.

Foyn L. (ed.). Environmental impact and fisheries. – TemaNord, 2000. – 105 p.

ICES (International Council for the Exploration of the Sea). The status of fisheries and related environment of Northern Seas. A report prepared for the Nordic Council of Ministers. – Copenhagen: ICES, 2000. – 163 p.

ICES (International Council for the Exploration of the Sea). Report of the ICES Advisory Committee on the Marine Environment. – Copenhagen: ICES, 2004. – 263 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate change 2001, Third Assessment Report of the IPCC. The scientific basis (v.1). Impacts, adaptations, and vulnerability (v.2). Mitigation (v.3). – Cambridge Univ. Press, 2001.

GESAMP (UN Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). The state of the marine environment. – Oxford: Blackwell Scientific Publications Ltd, 1992. – 128 p.

GESAMP (UN Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). Impact of oil and related chemicals and wastes on the marine environment // GESAMP Reports and Studies. – 1993. – No.50. – 180 p.

GESAMP (UN Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution). A Sea of trouble // GESAMP Reports and Studies. – 2001. – No.70. – 35 p

GIWA (Global International Waters Assessment). GIWA Regional assessment 1A – Russian Arctic. – University of Kalmar, Sweden, 2004. – 105 p.

Глава 3. Современное геоэкологическое состояние АЗРФ и антропогенное воздействие на арктические экосистемы.

GIWA (Global International Waters Assessment). GIWA Regional assessment 11 – Barents Sea. – University of Kalmar, Sweden, 2005. – 110 p.

MacDonald R.W., Bowers J.M. Contaminants in the Arctic marine environment: Priorities for protection // ICES J. Mar. Sci. – 1996. – Vol.53. – P.537-563.

NAS (National Academy of Sciences). Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects. National Research Council. – Washington, D.C.: The National Academies Press, 2003. – 265 p.

OSPAR (OSPAR Commission for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic). Quality Status Report 2000. – London: OSPAR Commission, 2000. – 108 p.

Pauly D., Palomares M.-L. Fishing down marine food web. It is far more pervasive than we thought // Bull. Mar.Sci. – 2005. – Vol.76, No.2. – P.197-211.

Patin S.A. Pollution and biological resources of the oceans. – London: Butterworth Scientific, 1982. – 290 p.

Patin S.A. Global pollution and biological resources of the World Ocean // World Fisheries Congress Proceedings. – New Delhy: Oxford and IBH Publ. Co., 1995. – P.69-95.

Patin S.A. Environmental impact of the offshore oil and gas industry. – N.Y.: EcoMonitor Publ., 1999. – 435 p.

Savinov V.M., Savinova T.M., Carrol J. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in sediments of the White Sea, Russia // Mar. Pollut. Bull. – 2000. – Vol.40. – No.10. – P.807-818.

Status Report on the marine environment of the Barents Region. The Joint Norwegian-Russian Commission on Environmental Cooperation. – Oslo: Ministry of Environment, 1997. – 97 p.