



HAL
open science

Геоэкологическое картографирование Арктических морей России

Polina Lemenkova

► **To cite this version:**

Polina Lemenkova. Геоэкологическое картографирование Арктических морей России. [Research Report] PhD Report (Autoreferat) at Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Lomonosov Moscow State University. 2004, pp.21. ⟨hal-02023832⟩

HAL Id: hal-02023832

<https://hal.science/hal-02023832>

Submitted on 18 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC0 - Public Domain Dedication 4.0 International License

Московский Государственный Университет
Географический факультет
Кафедра картографии и геоинформатики

Реферат
“Геоэкологическое картографирование Арктических морей России”

Выполнила:
Леменкова П.А.

Научные руководители:
д-р геогр. наук, проф. Лурье И.К.,
канд. геогр. наук, в.н.с. Суетова И.А.

Москва – 2004

Геоэкологическое картографирование многоаспектно и охватывает в поле своего исследования большое количество как природных, так и антропогенных факторов, которые необходимо учитывать при создании как комплексных, так и тем более синтетических карт оценки экологической обстановки региона. Принципиальные сложности геоэкологического картографирования, ощутимые уже при картографировании наземных экосистем, еще более усиливаются при исследовании экологии акваторий, т.к. последние являются сложными по своей структуре многокомпонентные геосистемы, и любой анализ, любая оценка экологического состояния акваторий требует обязательного учета всех ее компонентов, “вкладов” их в общее состояние.

Зачастую сложности возникают при выборе той или иной классификации, т.к. как правило преобладают в основном качественные характеристики факторов, которые довольно трудно оценивать количественно; при отсутствии методик проведения комплексной оценки экологических фактов, процессов и явлений. Кроме того, при составлении синтетических геоэкологических карт невозможно давать оценки и строить прогнозы путем взаимного наложения, простого суммирования частных статических и динамических характеристик и покомпонентных оценок (как в комплексных картах).

Несмотря на изложенный ряд трудностей, в рамках исследовательского проекта планируется составление Экологического атласа Арктических морей, используя при этом компьютерные технологии, различных программных продукты, в т.ч. ГИС, для создания геоэкологических карт и их последующего анализа.

Основными процессами в работе при этом являются:

- сбор необходимых исходных картографических материалов
- цифрование растровых материалов,
- обработка и редактирование цифровой картографической информации;
- создание карт в электронном виде.
- согласование карт в рамках Атласа
- вывод материалов на печать

При этом планируется предварительно подготовить необходимый исходный материал, картографические и литературные источники; оцифровать географическую основу и создать основной диссертационный проект в ГИС-пакете ArcINFO. (Хотя известно, что при создании карт с применением компьютерных технологии нередко возникает необходимость комбинирования, совмещения и доработки нескольких программных продуктов для проведения полного и детального геоэкологического исследования территории – т.е.

работа на принципах модульной системы). Дополнительно создаются тематические информационные слои, которые должны отражать распределение отдельных компонентов природной среды по акватории и, соответственно, прилегающих частей суши (например, “типы поверхностных отложений”, “типы рельефа дна”, “распределение криолитозоны”, “направления течений”, и т.д.), кроме того в проект наносятся тематические информационные слои экологического содержания (например, “содержание Cs-137 в придонном слое вод”, “содержание ПХБ в донных осадках”, “распределение пестицидов в донных осадках” и т.д.).

На основании исходных данных составляется серия аналитических карт, отражающих загрязнение акваторий по отдельным видам контаминантов (например, загрязнение акватории ПХБ, Cs-137, нефтяными углеводородами, тяжелыми металлами, пестицидами и т.д.); при этом на всех картах должны быть показаны природные условия изучаемого региона: геологические, климатические условия акватории и прибрежной территории, распространение криолитозоны (а в условиях полярного региона это условие особенно актуально), распределение температуры воды, общее геоморфологическое строение территории и т.д. На основании анализа отдельных констатационных карт будет проведено комплексное районирование акваторий по экологическому состоянию.

Геоэкологические карты синтетического характера создаются на основе анализа всех предварительно составленных тематических слоев (при этом необходимо показать процессы переноса вещества внутри объектов окружающей среды, взаимосвязи компонентов единой геосистемы, т.к. необходимо учитывать как отдельный их вклад на общее экологическое состояние экосистемы, так и их суммарное воздействие на экологическое состояние региона).

В последние годы развитие получил метод оценки и прогноза экологической ситуации. При этом при анализе экологического риска учитываются негативные изменения в свойствах, явлениях и процессах, характерных как для ландшафтов в целом, так и для его компонентов. Результатом анализа экологического риска является определение следующих показателей:

- величина риска потери здоровья и/или жизни для человека;
- вероятность изменения (или утраты) природно-ресурсного потенциала территории;
- вероятность проявления негативных изменений в природных ландшафтах.

Наиболее важным при анализе риска является определение уровня приемлемого риска, учитывающего оценку опасности для человека и его хозяйственной деятельности факторов среды обитания, как природных, так и техногенных, а также оценку вероятности появления негативных изменений в природной среде в результате антропогенного воздействия.

Анализ экологического риска и составленные на его основе карты будут использоваться при проведении природоохранных мер, а также при обосновании объявления зон чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия. Но низкое качество современной морской

экологической информации, недостаточность данных и наших знаний о санитарно-бактериологических, медико-биологических и других аспектах влияния негативных изменений природы моря на жизнедеятельность человека создают дополнительные сложности при интегральных оценках степени остроты морской экологической ситуации. В методическом плане районирование определяется как процедура вычленения целостных территориальных систем, когда внимание исследователей концентрируется на различиях между ними. При типологии и оценке основных критериев – однородность выделяемых таксонов.

В экологической системе в различных пространственно-временных масштабах осуществляются связи между живыми и неживыми компонентами. Арктические моря представляют собой многокомпонентную функционирующую систему живой и неживой природы, включающую в себя седиментационные и геохимические, гидрологические и гидрохимические процессы, первичную продукцию, вторичную продукцию зоопланктона и зообентоса (основные регуляторы динамики продуцентов), рыб, птиц и млекопитающих. Интегрирующим фактором, объединяющим все звенья цепи в единую целостную систему, является биогеохимический круговорот вещества и энергии. Поэтому оценка экологического состояния акваторий должна быть возможно более объективной и полной, с учетом влияния всех составляющих компонент экосистем.

При создании экологического Атласа необходимо учитывать все возможные источники поступления загрязнителей в акватории морей для возможно более комплексной итоговой оценки их состояния, поэтому в процессе работы планируется анализ поступления в моря загрязнителей по различным путям их поступления.

В настоящее время существует несколько подходов к классификации источников поступления загрязняющих веществ в морские экосистемы. Принято разделять загрязняющие вещества, поступающие в экосистемы, по основным путям их поступления на:

1. Экзогенного характера
2. Эндогенного характера
3. Техногенного характера

Выделяют три группы источников поступления загрязняющих веществ:

- экзогенную (подробно исследован как для всего шельфа в целом, так и для арктической его части).
- эндогенную, (для шельфовых областей пока слабо изучен)
- техногенную (связан с индустриальной деятельностью непосредственно на морских акваториях, включая морской транспорт, разработку подводных месторождений, захоронение вредных веществ (дампинг), сброс бытовых и промышленных отходов, рыболовство (траление) [1].

Загрязняющие вещества, формирующие загрязнение морских акваторий, можно разделить на две группы:

- природные элементы, которые являются неотъемлемой составляющей всех

природных объектов

(тяжелые металлы, нефтяные углеводороды (НУ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), фенолы, естественные радионуклиды. Их можно отнести к загрязняющим веществам (ЗВ) только в том случае, когда их накопление приводит к негативному воздействию на экосистему.)

• соединения, не характерные для геологических объектов.

(Хлорорганические соединения (полихлорбифенилы – ПХБ, пестициды, дибензодиксины, полихлордибензодиоксины – ПХДЦ, полихлордибензофураны – ПХДФ, полихлоркамфены и др.), фенолы, ПАУ, искусственные радионуклиды и пр.)

В качестве основных природных источников поступления металлов в атмосферу выделяют почвенное выветривание, вулканическая деятельность, метаболизм высших растений и, в незначительной степени, сами морские акватории. Однако в настоящее время существенно возрастает роль антропогенного влияния на химический состав атмосферы.

Группа экзогенных источников в основном формирует облик шельфа Мирового океана под воздействием современных различных экзогенных процессов. В этих процессах принимают активное участие загрязняющие вещества, как неотъемлемая часть терригенной составляющей (во взвешенной, коллоидной и растворенной формах) осадочного вещества. Экзогенные источники подразделяются на:

- речной сток,
- эоловый снос,
- волновую абразию,
- ледниковый, ледовый и айсберговые разносы.

На сегодняшний день наиболее полно оценены массы поступления терригенного материала на глобальном уровне, характеризующем общий объем сноса терригенного материала в океаны (22.1–22.6 млрд т/год), региональном, учитывающем объем поступления вещества в отдельных частях акваторий, и локальном уровне, фиксирующем объемы вещества для конкретных речных систем. В процессе работы будет оценен общий объем поступления терригенного материала от различных экзогенных источников для всей акватории Арктики.

Изучение гидрологического режима акватории является одним из важнейших аспектов. В первую очередь это связано с необходимостью анализа циркуляции и взаимодействия арктических и атлантических вод, изучением барьерных зон в толще воды (механических, гидродинамических, физико-химических, биогеохимических), оценке их влияния на транспортировку и накопление ЗВ. Для исследования последнего важным является анализ концентрации и распределения взвешенного вещества различного генезиса.

Гидрологический режим западной Арктики формируется в

значительной степени при взаимодействии теплых атлантических водных масс и холодных вод центрального бассейна Северного Ледовитого Океана. В циркуляции вод большую роль играют течения системы Гольфстрим – Северо-Атлантическое, Норвежское, Нордкапское и Западно-Шпицбергенское. Теплые и соленые атлантические воды проникают как в центральный бассейн к северу от Шпицбергена, образуя теплый слой на глубинах 200–600 м, так и в восточную часть Баренцева моря, определяя значительно менее суровый климат данного района, по сравнению с климатом восточной Арктики.

Расположение Баренцева моря между Атлантическим океаном и Арктическим бассейном Северного Ледовитого Океана обуславливает особенности его гидрологического режима. С запада между о. Медвежий и м. Нордкап проходит ветвь Гольфстрима – Нордкапское течение. Направляясь на восток, оно дает ряд ответвлений, следующих согласно рельефу дна. Хорошая изоляция от ледяных массивов Арктического бассейна и Карского моря имеет особое значение для гидрологического режима Баренцева моря. Его южная часть не замерзает. Кромка плавучих льдов проходит в 400–500 км от южного побережья. Только восточнее Кольского п-ова она примыкает к южному берегу. В самые холодные годы плавучие льды сохраняются в средней и северной частях моря и у Новой Земли.

Другим источником является аллювиальный вынос рек. Около 80% речных выносов составляют твердые частицы, а остальные 20% – растворенные вещества. При этом 80% всей массы осадочного материала накапливается на континентальных окраинах шельфа.

Водосборные бассейны крупных рек часто включают в себя рассредоточенные источники загрязнения, например сельскохозяйственные стоки, содержащие пестициды. Сброс бытовых и промышленных сточных вод из плотно заселенных и промышленных зон к югу от Арктики также вносит свой вклад в общую массу загрязняющих веществ. Другие виды хозяйственной деятельности, приводящие к загрязнению, – это горные разработки и эксплуатация нефтегазовых месторождений. В России некоторые реки зимой используются для транспортировки и сброса грязного снега. Загрязняющие вещества от транспортных средств и скопившиеся за зиму в снегу также переносятся водой или льдом во время весеннего таяния [1].

Крупные реки в Арктике и субарктическом поясе преобладающую часть воды получают во время весеннего снеготаяния, и в большинстве районов талый снег является также и наиболее значимым источником загрязнения. В районах с высокой степенью урбанизации, таких как крупные промышленные города российской Арктики, столь же существенны прямые сбросы сточных вод.

В России большие объемы промышленных и бытовых стоков не очищаются. Например, в 1994 г. менее 5 % сточных вод в Мурманской области на Кольском полуострове было обработано в соответствии с установленными нормами очистки.

Пиковый сток рек Арктического бассейна и наибольший объем переноса

твердого вещества совпадает с наиболее интенсивным ледоходом, и на некоторых реках сочетание высоких расходов с ледяными заторами вызывает половодье. При плоском рельефе, характерном для большинства районов российской тундры, вода может покрывать обширные территории. Наводнения могут оставлять после себя насыщенные загрязняющими веществами отложения наносов на пойме, временно выводя их из речного переноса. Речной лед играет особую роль в транспортировке загрязняющих веществ. Лед собирает их из атмосферы и из самой реки, когда замерзает вода. Перенос захваченных частицами загрязняющих веществ из воды в лед может продолжаться в течение всей зимы, по мере нарастания льда.

Значительное количество взвешенного материала выносится ледниками Шпицбергена, Новой Земли и Земли Франца-Иосифа. Максимальные концентрации взвешенного материала в заливах арх. Новая Земля – в бухте Норденшельда – 304.4 мг/л. Средняя концентрация равна 127.6 мг/л. По мере удаления от берега концентрация взвеси резко падала, и в открытом море на расстоянии всего нескольких километров концентрация взвеси уже не превышала 5 мг/л. Мощность современных отложений в бухтах колеблется в пределах 40–50 метров, что значительно выше мощности этих осадков в открытой части моря. Но незначительная часть взвешенного материала достигает и более удаленных участков дна. Об этом свидетельствует состав современных отложений [1]. В целом, как по аллювиальному выносу, так и по поступлению за счет абразии, юго-восточное побережье Баренцева моря играет основную роль в поступлении осадочного материала. Причем поступление за счет абразии значительно превышает поступление за счет речного стока.

Одним из важных постоянно действующих источников загрязнения морских акваторий является перенос в атмосфере и осаждение химических соединений на поверхности водной среды. В результате эоловых потоков осадочный материал, имеющий континентальное происхождение, поступает в водные бассейны.

По гранулометрическому составу эоловый поток твердого вещества в слое 0–10 м на контакте берег–море разделяется преимущественно на два слоя: приземной песчано-алевритовый (0–2 м) и верхний пелитовый (2–10 м) [2].

Эоловый перенос осадочного материала в сторону моря является одним из источников поступления твердого вещества и загрязняющих веществ, основная масса которых осаждается в пределах шельфа при его средней ширине 30–40 км.

Для открытых морских районов атмосферный перенос является основным каналом поступления металлов на поверхность моря и может составлять более 50% их общего потока. Так, расчет соотношений потоков тяжелых металлов из атмосферы к их речному стоку показывает, что основная масса Mn, Ni, Co и Cr поступает в океан с речным стоком, в то время как для Hg, Cd, Pb, Zn наблюдается превышение атмосферного потока над речным в 2–35 раз [2].

Важность эолового переноса надо еще подчеркнуть, учитывая тот

факт, что для отдельных элементов эоловые выбросы во внешнюю среду превосходят их оступление от всех других источников. Так, например, из 8000 т ртути, поступающих ежегодно в атмосферу, примерно 40% связано с выветриванием и 60% – с техногенными источниками [1], среди которых первое место занимают целлюлозное и содовое производство. Более того, за счет антропогенного фактора с эоловым переносом в океан ежегодно попадает 4–5 т ртути, а речным стоком переносится только 2.5 т. Состав аэрозолей и частиц пыли атмосферы наследуют основные вещественные параметры окружающей среды, где они образуются и содержат, как правило: органический углерод, липиды, алканы и другие органические вещества, а также биогенные элементы и тяжелые металлы.

В качестве одного из чрезвычайно важных источников загрязнения атмосферы углеводородами нефтяного происхождения считают именно дальние атмосферные переносы [3]. Частично возникновение этих потоков связано с неполным сгоранием бензина, керосина и других легких фракций. Время пребывания этих фракций в атмосфере составляет 0.5–2.3 года, причем 90% этих веществ выпадает из атмосферы в северном полушарии Земли. По современным оценкам, атмосферное поступление в морскую среду достигает 0.05–0.5 млн т в год. Также влияние антропогенной активности обнаруживается и при непосредственном обмене нефтяными углеводородами между атмосферой и морской поверхностью. Так, с морской поверхности в атмосферу поступают летучие, низкомолекулярные углеводороды. Менее устойчивые соединения переходят в атмосферу из газообразной формы во взвешенную фазу, и затем взвешенные частицы в процессе сухого осаждения или вымывания дождями вновь возвращаются на морскую поверхность. Общий поток нефтяных углеводородов из атмосферы в Мировой океан составляет 6.0×10^5 т/год. При этом поток нефти из естественных источников оценивают в 9.5×10^5 т/год, из антропогенных – 9.6×10^6 т/год.

В атмосфере над открытым океаном зафиксированы также синтетические органические вещества – полихлорированные бифенилы (ПХБ), фталаты, ДДТ, которые находятся в атмосфере в основном в газообразной форме и, частично, на взвешенных частицах. Концентрация бифенилов в морском воздухе составляет 0.1 нг/м³.

Атмосферные источники играют определенную роль в загрязнении морской поверхности (хотя и порой недооцененную). Вклад эолового вещества эквивалентен доле речного стока в общем балансе загрязняющих веществ, насыщающих морскую среду. Особенно существенно атмосферное загрязнение для открытых районов морей. При этом вещественный состав, а также абсолютные содержания отдельных элементов атмосферного загрязнения в полном объеме наследует главные тенденции как терригенных источников поступления загрязняющих веществ в атмосферу, так и техногенных.

При этом 80% поступающих веществ из атмосферы осаждаются непосредственно в шельфовой зоне на контакте континент–море [1]. Сопоставление полученных данных с аналогичными, полученными для атмосферного потока тяжелых металлов Черного моря, указывает на более

высокие значения для всех металлов в Черном море. Последнее связано с существенным удалением «точечных» источников поступления загрязняющих веществ от акваторий Белого и Баренцева морей в пределах северо-западного региона.

Доля эндогенной составляющей в поставке вещества (в том числе загрязняющих веществ) в Арктических морях изучена слабо и носит фрагментарный характер. В ходе выполнения геоэкологических исследований в 1992–1996 годах в Печорском море и районе Штокмановского ГКМ были выявлены структуры в осадочном чехле, через которые происходит эндогенный подток вещества, в т.ч. поток углеводородов в результате струйной дегазации.

Активизация геологической среды в Печорском море может быть также обусловлена ядерными взрывами на Южном острове Новой Земли [4]. Дополнительными эндогенными источниками являются потоки метана (разрушение газогидратов), а также просачивание нефтяных углеводородов из материнских пород.

В настоящее время установлено наличие эндогенного подтока в придонную морскую среду НУ, ПАУ и ТМ. Пока это первые данные, которые не позволяют провести количественную оценку масштабов поступления данной группы веществ.

К источникам загрязняющих веществ техногенного характера – наиболее существенно влияющим на экологию акваторий за последние годы – относится загрязнение открытых морских бассейнов, связанное с использованием их акваторий как транспортной, военной и промышленной зон.

Условно можно выделить следующие потоки загрязняющих веществ:

1. дампинг отходов,
2. транспортировка нефтепродуктов и токсичных веществ,
3. аварийные ситуации,
4. система глобальных течений,
5. разработка морских месторождений.

Особенности эколого-химического состояния экосистемы Печорского моря в большой степени определяются, кроме физико-географических параметров биотопа, также степенью антропогенной нагрузки. Очевидно, что эколого-химическое состояние Печорского моря в большой степени характеризуется стоком реки Печора, впадающей в Печорскую губу и транспортирующей загрязняющих веществ из промышленных районов Республики Коми и Ненецкого автономного округа. Печора обеспечивает приблизительно 90% от всего речного стока в Печорское море. По водному стоку она является одной из крупнейших арктических российских рек, уступая лишь Енисею. Основной путь поступления загрязняющих веществ, определяющих загрязнение моря – естественная географическая система: река – залив (или губа) – море.

Из всех загрязняющих веществ наиболее существенное значение имеет загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами, которое может рассматриваться как пример глобального техногенного загрязнения. Это связано с все более возрастающей добычей нефти на морских акваториях, а также ее транспортировкой.

При освоении нефтяных месторождений увеличивается поступление нефтепродуктов как в процессе разработки месторождений, так во время транспортировки нефти и аварийных разливов. Из-за низких температур воды и воздуха разработка нефтяных морских месторождений особенно опасна для северных морей – из-за низких темпов химических и биохимических процессов. Поэтому морских вод загрязнены гораздо больше по сравнению с умеренными и тропическими зонами даже при одинаковых темпах поступления.

Главным источником загрязнения нефтью вод Мирового океана является морская транспортировка. В настоящее время вследствие освоения нефтяных месторождений в арктических районах, особенно в Баренцевом и Карском морях [1], существенно увеличится поступление нефтепродуктов как в процессе эксплуатации-месторождении, так и при транспортировке нефти. Более того, возрастет интенсивность судоходства нефтеналивного флота, что также является дополнительным источником загрязнения нефтью арктических морей.

С транспортировкой нефти связаны и ее разливы, в т.ч. аварийные, при ее добыче, которые нередко приобретают катастрофический характер. Особую опасность разработка нефтяных морских месторождений представляет для северных морей, что связано с низкими темпами химического, биохимического и микробиологического окисления вследствие низких температур воды и воздуха. Это приводит к более существенному загрязнению морских вод и грунтов по сравнению с умеренными и тропическими зонами при одинаковых темпах поступления. Сценарий заражения нефтепродуктами вод в Баренцевом море в местах установки предполагаемых нефтедобывающих платформ будет аналогичен о. Колгуев, где по результатам десятилетних наблюдений отмечается резкое увеличение площади распространения нефтяной пленки, покрывающей в настоящее время всю юго-восточную часть Баренцева моря [2]. Дополнительный источник нефтепродуктов в Баренцево море – система Гольфстрима. За год Гольфстримом переносится около 1–1.5 млн т нефтепродуктов. Струи системы Гольфстрима, насыщаясь загрязняющими веществами, в частности нефтепродуктами, у берегов Северной Америки и Европы имеют несколько зон разгрузки, в число которых входят Саргассово, Норвежское и Баренцево моря.

Дополнительный источник нефтепродуктов в Баренцево море – отдельные струи системы Гольфстрима, которые насыщены нефтепродуктами из Северной Америки и Европы и имеют несколько зон разгрузки: Саргассово, Норвежское и Баренцево моря. При этом растворимость нефти в воде прямо зависит от ее температуры. Отрицательные биологические эффекты нефтяного загрязнения наиболее ощутимы именно в полярных экосистемах, т.к. низкие температуры воды и воздуха тормозят биохимические процессы даже в летний период.

Максимальные концентрации нефтяных углеводородов локализованы в

тонком поверхностном слое – в зоне взаимодействия гидросферы и атмосферы. Высокие концентрации нефтяных агрегатов обнаруживаются вдоль основных транспортных маршрутов, в шельфовых зонах замкнутых морей, а также в «атлантических» водах, несущих загрязнение из Западной Европы и северо-западного побережья Африки. [1].

Вблизи нефтяных платформ и вдоль основных транспортных маршрутов содержание нефтяных углеводородов на порядок выше, чем в открытых частях моря. В загрязненных эстуариях в донных осадках концентрация нефти достигает 5–160 мг/кг, снижаясь в отложениях открытых морских областей до 0.1–1 мг/кг.

Распределение нефтяных углеводородов в поверхностном слое вод открытых районов Баренцева моря довольно однородно (0.05–0.15 мг/л) с максимальными концентрациями (до 0.4 мг/л) в юго-восточной части моря.

Неравномерное распределение загрязняющих веществ в пространстве обусловлено: различным географическим положением источников загрязнения и особенностями циркуляции вод, их вертикальным строением. Наибольшая концентрация загрязняющих веществ - в прибрежных относительно спокойных зонах, где осуществляется дампинг отходов. Вблизи нефтяных платформ и вдоль основных транспортных маршрутов содержание нефтяных углеводородов на порядок выше, чем в открытых частях моря.

Из группы загрязнителей хлорорганическими соединениями наиболее изученным являются полихлорбифенилы (ПХБ). По современным оценкам более 70 тыс. т ПХБ поступило и окружающую среду, при этом 230 тыс. т из этого количества сосредоточились в водах Мирового океана. Хотя главная нагрузка применения ПХБ расположена на суше, аккумуляция этого вещества в открытых водах Мирового океана в 1.5 раза выше накопления в континентальных экосистемах. Мировой океан можно считать конечным резервуаром накопления этих соединений.

Пластмассы способствуют распространению ПХБ в море и включению их в пищевые цепи. В настоящее время высокохлорированные ПХБ стали составной частью практически всех объектов морских экосистем. Вертикальное распределение хлорированных углеводородов в океане показывает проникновение их в глубоководную часть океана (до 4000 м), что связано с циркуляцией вод в Мировом океане. Максимальные концентрации альфа-ГХЦГ и гамма-ГХЦГ отмечаются в южном районе моря (9.3 и 2.5 нг/л соответственно) [1].

Содержания ДДТ и его метаболитов в промысловых рыбах Северных морей России не превышает национальных и международных норм и на порядок ниже, чем в рыбах из районов Северной Атлантики, Северного и Норвежского морей, где экологическая ситуация намного хуже.

В распределении полихлорированных бифенилов (ПХБ) в донных осадках Баренцева моря можно выделить несколько районов:

Западный участок повышенных значений ПХБ (возле северного побережья Норвегии) достаточно хорошо коррелирует со схемой атлантических течений и является отражением загрязняющего влияния промышленных и бытовых стоков

западно-европейских стран, привносимых сюда с Нордкапской ветвью Гольфстрима. Загрязнения в районе Мурманска жестко привязаны к Кольскому заливу и стоку загрязнений с Мурманского региона, поступлением ПАУ за счет берегового стока; Новоземельский участок повышенных значений имеет наибольший размер, и обусловлен, ядерными испытаниями и деятельностью Военно-Морского флота. Превышение ПДК контаминантов к северу от мыса Желания прямо связано с расположением свалки военных отходов.

В прибрежной зоне архипелагов Новая Земля, Шпицберген и Земли Франца Иосифа также расположены крупные зоны повышенных концентраций. Повышенные значения контаминантов в районе Шпицбергена и Земли Франца Иосифа связаны с таянием ледовых и снежных покровов архипелагов, загрязненных за счет атмосферных выпадений. Зоны максимальных концентраций гексахлорциклагексана (ГХЦГ) расположены в прибрежной зоне архипелагов Шпицберген и Новая Земля и в районе Варангер-фьорда и Кольского залива. Высокие концентрации в прибрежной зоне архипелага Шпицберген приурочены к крупным фьордам и объясняются поступлением ПХБ с талыми водами снежного покрова и ледников. Основная масса хлорорганических пестицидов и полихлорбифенилов привносится в морскую среду речным и материковым стоком и морскими течениями (например, Гольфстримом – в Баренцево море).

Радиационная обстановка северных морей определяется выбросами и отходами, а также глобальным выпадением из атмосферы, вызванных испытанием ядерного оружия. Напряженная радиационная обстановка складывается в Мурманской области, где концентрации цезия-137, плутония и стронция-90 в организме жителей в 10–100 раз больше чем у жителей средних широт [6].

Другим источником радиоактивного загрязнения морской среды является дампинг радиоактивных отходов. В Северной Атлантике и Тихом океане зафиксировано около 50 мест сброса радиоактивных отходов. Максимальное количество радиоактивного материала было захоронено Великобританией. Так, в Северной Атлантике ее доля составляет 77.5% всех сброшенных радиоактивных отходов.

В пределах Карского и Баренцева морей были сброшены реакторы атомных подводных лодок и 3 поврежденных реактора атомного ледокола «Ленин». Захоронение радиоактивных отходов, образующихся при эксплуатации, ремонте модернизации атомных судов Мурманского пароходства в море производилось с 1964 по 1986 гг. Для захоронения твердых радиоактивных отходов использовались районы Карского моря (заливы Течений, Цивольки, Абросимова, Степового, Ога, Благополучия, Седова), а также глубоководные районы Новоземельской впадины. Затопление жидких радиоактивных отходов проводилось и в Баренцевом море.

Основными источниками радиоактивного загрязнения шельфа Арктических морей являются:

- испытания ядерного оружия, проводившихся в атмосфере, в воде и под землей,

- выброс радиоактивных веществ из четвертого блока Чернобыльской АЭС в апреле–мае 1986 г.,
- выбросы в атмосферу и сбросы в водные системы радиоактивных веществ с действующих АЭС;
- дампинг ядерных отходов.
- выбросы западноевропейских заводов по переработке ОЯТ (например, в Селлафилде)

В течение 40 с лишним лет Западная Арктика была под воздействием переносов из указанных источников и в результате был создан современный радиационный фон воздушной, водной, геологической и биологической сред.

Фиорды арктических морей России классифицированы по признакам загрязнения техногенными радионуклидами: [5]

– относительно чистые, загрязненные, сильно загрязненные, потенциально загрязненные.

1. К **загрязненным фиордам** (по концентрации $Cs-137$, Pu и другим нуклидам) относят: Кольский залив и все фиорды северной части Кольского полуострова.
2. К **сильно загрязненным фиордам** относят фиорд на юго-западе архипелага Новая Земля под названием губа Черная. Отсюда начинается Северный полигон СССР, объект 700, здесь были проведены первый подводный, надземный и воздушный взрывы ядерных зарядов. Возможно, к этому типу фиордов относится и губа Митюшиха – центр основных воздушных взрывов. Некоторые места пролива Маточкин Шар также можно отнести к сильно загрязненным.
3. К **потенциально загрязненным фиордам** можно отнести карские фиорды архипелага Новая Земля: заливы Течений, Цивольки, Абросимова, Степового, Ога, Благополучия и Седова, в которые в течение 1964–1986 гг. на основании решения Правительства СССР захоранивались твердые радиоактивные отходы. Некоторые из обследованных к настоящему времени фиордов преобразуются из потенциально загрязненных в загрязненные и даже в сильно загрязненные.

Кольский залив – типичный пример загрязненного фиорда. Более 40 лет здесь базируются военные и гражданские суда с ядерными энергетическими установками. На территории баз и судоремонтных заводов образуются все типы радиоактивных отходов: отработавшее ядерное топливо, газообразные радиоактивные отходы, жидкие радиоактивные отходы, твердые радиоактивные отходы.

Максимальная концентрация загрязненности цезия-137 наблюдается в районе Новой Земли из-за печально известных ядерных испытаний, которые там проводились. Естественно, что максимальные концентрации цезия наблюдаются в районах, расположенных близ радиоактивных захоронений и мест

проводившихся испытаний. При этом надо отметить, что распределение загрязненности цезием-137 коррелирует с типами поверхностных отложений, т.к. эти контаминанты накапливаются в донных отложениях, и лучше сорбируются илистыми осадками; в средне- и крупнозернистых песках и ракуши концентрации этих загрязнителей крайне низки.

Существенный вклад в загрязнение акваторий радионуклидами вносит слив радиоактивных отходов предприятиями атомной промышленности непосредственно в океан или реки, впадающие в океан. Предприятия Великобритании, начиная с 1952 г., сбрасывают отходы в Ирландское море, откуда они распространяются по всей Северной Атлантике, в том числе и в Баренцево, Карское и Белое моря. В западных арктических морях на радиационную обстановку влияют воды Норвежского прибрежного течения, загрязненного радиоактивными отходами. Высокие значения $Cs-137$ зарегистрированы в южной части Баренцева, Карского и в восточной части Гренландского морей. Основная часть радиоактивных веществ поступает в Баренцево море с водами Нордкапского течения. Радиоактивному загрязнению подвержена вся водная толща.

Увеличение концентраций Sr (примерно в 2 раза против глобального уровня) наблюдается в водах юго-западной части Баренцева моря, что связано с влиянием сбросов радиохимических заводов. Пятая часть $Cs-137$ и третья часть $Sr-90$ оказывается в Баренцевом и Карском морях.

По исследованным данным, максимальная активность осадков по $Cs-137$ (130–160 Бк/м²) отмечается на принозовоземельском шельфе Северного острова из группы островов Новая Земля и в районе, прилегающем к Северному Мурману и Северной Скандинавии (пробы собраны в октябре 1991 г.) [7].

В центральной и северной частях Баренцева моря $Cs-137$ в осадках составляет менее 100 Бк/м². Международная экологическая экспедиция в Печорское море, на Новую Землю, острова Колгуев, Вайгач, Долгий в июле 1992 г. также показала довольно слабое загрязнение осадков баренцевоморского шельфа в этих районах. В прибрежной зоне Кольского полуострова содержание $Cs-137$ в осадках составляет от 0,2–0,6 до 3–9 Бк/кг, в прибрежной зоне Новой Земли примерно в 2 раза выше – от 0,8–5,0 до 9–14 Бк/кг [7]. Места с повышенным уровнем активности $Cs-137$ приурочены, как правило, к заливам (например, заливы Норденшельфа, Глазова и др.). Это явление объясняется тем, что дно заливов заполнено алевритовыми и глинистыми осадками, поставляемыми выводными ледниками.

Процент загрязняющих веществ, связанных с техногенной составляющей, крайне низок по отношению к природной составляющей (природному речному стоку). При этом если учесть, что до 80% поступающего вещества в шельфовую область осаждаются в прибрежной зоне [2], то количество загрязняющих веществ, техногенного генезиса, поступающих с Российской территории в глубоководную часть Баренцева моря несоизмеримы с теми концентрациями, которые там зафиксированы. Это говорит о наличии дополнительных источников загрязнения, которые

не только определяют геохимический фон, но и создают участки с максимальным проявлением техногенного загрязнения.

Один из таких источников – архипелаг Новая Земля, который является одной из важнейших питающих провинций Западно-Арктического шельфа. Ежегодно в Баренцево и Карское моря поступает огромное количество взвешенного и растворенного вещества, включающего в себя и токсичные элементы, в первую очередь тяжелые металлы.

Необходимо классифицировать антропогенное воздействие в зависимости от состава техногенных продуктов и характера их транспортировки в бассейн современного осадконакопления.

По этим критериям можно выделить аэротехногенные, гидро-, нефте-, лито-, био-, радиотехногенные и др. Например, к аэротехногенному подтипу отнесены промышленные дымы, выхлопные газы и кислотные дожди, агротехногенный объединяет умеренное и интенсивное поступления пестицидов и минеральных удобрений и т.д. Но чаще всего в реальности встречаются политехногенные типы загрязнений, т.е. наблюдается одновременное их воздействие на экосистемы.

Но кроме непосредственных источников загрязнений необходимо еще также фиксировать трансформацию вещества на различных этапах его транспортировки и накопления. Так, различные «точечные» источники могут поставлять один и тот же тип загрязняющих веществ, которые в экогеохимическом аспекте характеризуются однотипными преобразованиями. Классификация техногенных потоков твердого вещества дана в работах Н.А. Айбулатова [1].

Например, фенолы могут поставляться из нефте-, гидро-, био- и политехногенных источников. При этом необходимо учитывать природную составляющую (нефтяные углеводороды, ПАУ, тяжелые металлы, естественные радионуклиды и т.д.) в общем балансе загрязняющих веществ.

По этому критерию выделяют прямой и «косвенный» перенос техногенного осадочного материала. В первую группу включены все виды деятельности по переносу осадочного материала, связанные с его перемещением от места взятия до места сброса. Это транспортировка и переотложение осадочного материала в результате добычи полезных ископаемых, а также сброс терригенного материала в море из предприятий горнодобывающей промышленности, расположенных в пределах береговой зоны. Следствием этих техногенных потоков является возникновение устойчивых аккумулятивных образований – специфических отложений, которые являются новыми геологическими явлениями на окраине Мирового океана.

Континент и морские бассейны являются двумя составными частями единой экосистемы, причем любые изменения (даже самые незначительные) на континенте в первую очередь сказываются на нарушении функционирования внутренних водоемов и открытых морских акваторий.

Для понимания путей миграции и трансформации загрязняющих веществ в экосистеме шельфа, а также для корректной интерпретации выявленных аномалий необходим комплексный анализ всех составляющих

природной среды – аэрозолей, водной толщи, донных осадков и биоты.

Процессы преобразования вещества в океане носят обычно нестабильный характер, интенсивность физических, химических и биологических процессов распределена не равномерно, а сосредоточена в узких зонах активной трансформации вещества, которые являются граничными поверхностями океана. На этих активных поверхностях происходит резкое скачкообразное изменение интенсивности природных процессов, которые по обе стороны от таких граничных поверхностей носят различный характер. Поэтому эти активные поверхности можно представить как **природные барьеры**. Остальные части океана являются относительно однородными, химически инертными и биологически мало активными областями [5].

Этим фронтальным, барьерным зонам свойственны большие градиенты скорости и плотности вод, неустойчивость и интенсивные среднемасштабные циркуляции наподобие анти- и циклонических вихрей атмосферы. С этими океаническими вихрями связаны все фронтальные разделы, которые увеличивают площадь соприкосновений различных водных масс и вовлекают во взаимодействие глубинные и поверхностные воды. По обе стороны от этих разделов обнаруживаются воды с разными температурами и показателями солености. Ширина наиболее резких фронтальных зон колеблется от 50 до 500 м.

Вихри фронтальных течений в своих пограничных частях, будучи много теплее или много холоднее окружающей воды, обладают резко отличающимися от нее концентрациями и видовым составом фито- и зоопланктона. Эти «скопления» жизни на границах раздела водных масс и в пограничных слоях с дном и берегом имеют важнейшее значение для биогеохимической структуры океана [5].

Пограничные физические, физико-химические и биологические области океана образуются в результате контактов взаимодействующих сред веществ. При этом во взаимодействии непосредственно участвуют активные поверхности контактирующих сред.

В Баренцево море загрязняющие вещества попадают большей частью из атмосферы и по крупным рекам, которые способны перемещать их из загрязненных местностей, расположенных далее к югу вдоль рек. Шахты, открытые горные разработки, металлоперерабатывающие заводы, фабрики, бурение на нефтяных и газовых месторождениях, свалки отходов и населенные пункты могут быть дополнительными местными источниками загрязнения.

Распределение контаминантов в наземной среде во многом зависит от ландшафта, а также от физических и химических характеристик каждого из соединений. Водорастворимые соединения переносятся при таянии снега поверхностными водами, грунтовыми водами и реками. Если они не распадаются, то обычно завершают свой путь в океане.

Загрязняющие вещества с низкой растворимостью в воде, как правило, сорбируются на частицах в почве или донных отложениях. Их судьба зависит от того, смывает ли эрозия почву в водотоки, и, если смывает, то что случится с этими смытыми частицами во время их путешествия по реке к океану.

Важную роль в перемещении загрязняющих веществ в наземной среде играет **тающий снег**. В течение зимнего периода контаминанты накапливаются в снежном покрове, поступая туда преимущественно из атмосферы. Глубокие снежные сугробы способны удерживать даже летучие вещества, которые тонким слоем снега высвобождаются назад в атмосферу. При повышении температуры водорастворимые вещества концентрируются в талой воде, и первоначальные 20–30 % талой воды могут удалить от 40 до 80 % суммарного количества загрязняющих веществ, имевшихся в снегу до начала таяния. Преобладающая часть талой воды стекает поверх промороженного грунта непосредственно в водотоки и озера. Талая вода способна также быть мощным фактором эрозии. В тех местностях, где был нарушен почвенный покров, текущая вода легко образует промоины и овраги, смывая почвогрунт.

В Арктике сходятся основные атмосферные потоки, речные и морские течения, которые обуславливают дальний перенос загрязняющих веществ в этот регион. Ввиду этого Арктика – потенциальное место для накопления загрязняющих веществ. Самые разнообразные процессы выводят эти загрязняющие вещества из атмосферы, океанов и рек, делая их доступными для растений и животных. Пищевые цепи служат главными биологическими путями для избирательного поглощения, усвоения, переноса, а иногда и концентрирования контаминантов арктическими растениями и животными, многие из которых впоследствии потребляются жителями Арктики. Структура и длина пищевых цепей существенно влияют на перенос и перераспределение загрязняющих веществ в пределах Арктики. Пресноводные и морские экосистемы характеризуются повышенными уровнями УОС по сравнению с наземными экосистемами ввиду более длинных и сложных пищевых цепей.

Местные источники радионуклидов, такие как захоронения радиоактивных отходов, места хранения ядерных материалов, аварии и взрывы прошлых лет, вызвали радиоактивное загрязнение. В северо-западной части России наблюдается высокая концентрация радиоактивных источников. Они представляют собой потенциальную угрозу утечки значительного количества радионуклидов.

Сильные воздушные потоки, направленные на север, особенно над западной частью Евразии в зимний период, переносят загрязняющие вещества, например соединения серы и азота, УОС, радионуклиды, из низких широт в Арктику. Климатические особенности создают условия для селективного накопления ПХБ и некоторых пестицидов в Арктике.

Важную роль в переносе загрязняющих веществ в Арктику играют арктические реки, обуславливая его экстремальные сезонные колебания, связанные с ледоставом, таянием снега и льдов и паводками. Взвешенные вещества в дельтах Оби и Енисея, а также донные отложения в Индигирке и Печоре характеризуются высоким содержанием ПХБ и ДДТ. Процессы седиментации играют важнейшую роль в осаждении взвешенных частиц в эстуариях, дельтах и прибрежных арктических шельфах. Речной перенос является источником местного и регионального распространения

радионуклидов, некоторых тяжелых металлов и нефти.

Загрязняющие вещества широко, но неравномерно распределены по территории Арктики. Географическая изменчивость их уровней обусловлена расположением точечных источников загрязнения, с которыми связаны высокие местные концентрации контаминантов, а также механизмом экологической конвергенции, т.е. схождения физических путей переноса и районов осадконакопления. Географическая изменчивость чувствительности к воздействиям связана с условиями природной среды, которые делают сходные концентрации биологически приемлемыми в одном районе и губительными в другом.

Группы коренного населения Арктики подвержены сильному воздействию веществ, загрязняющих окружающую природную среду. Устойчивые соединения, поступающие как благодаря дальнему переносу, так и из местных источников, накапливаются в организмах животных, которые традиционно потребляются в пищу. Изменчивость воздействий на человека обусловлена следующими факторами: варьированием концентраций загрязняющих веществ в окружающей среде, местными физическими и биологическими каналами поступления контаминантов; местным рационом питания людей.

Воздействие радионуклидов осуществляется преимущественно через атмосферный перенос и осаждение в наземные экосистемы. Конкретные характеристики почвы и растительности способствуют концентрации некоторых радионуклидов и значительному их накоплению в растениях и животных (северный олень/карибу, дичь, грибы).

Контроль за эмиссиями привел к сокращению поступлений в окружающую среду некоторых контаминантов (например, свинца, радионуклидов, атмосферной серы). Но существуют потенциальные изменения в источниках и путях переноса загрязнений, которые включают:

- Производство и использование „новых“ органических химикатов, включая новое поколение пестицидов.
- Увеличение эмиссий тяжелых металлов и других элементов или соединений в результате расширения масштабов промышленного производства в Арктике и развивающихся регионах за пределами Арктики (например, в юго-восточной Азии).
- Выбросы радионуклидов и углеводородов при авариях в процессе производства, транспортировки, обращения с отходами и их хранения, включая существующие места захоронения (например, утечка со свалок).
- Аварийные выбросы, при которых экстремальные условия природной среды и изолированность территорий на большей части Арктики сильно затрудняют выявление последствий и принятие мер по их ликвидации.

Карты геоэкологического районирования являются итоговой оценкой экологической ситуации изучаемых акваторий, которая сложилась на данном этапе. Выделение районов будет проводиться на основании анализа суммарного воздействия отдельных контаминантов, и с учетом географических особенностей территории путем наложения тематических слоев: содержание контаминантов (где наглядно отражена степень загрязненности отдельных участков акватории разными контаминантами, т.е. конкретно можно видеть, например, области, особо загрязненные цезием-137, ПХБ, тяжелыми металлами и т.д.) типы донных осадков, (т.к. на поверхностях с преобладающим распространением, например, глинистых осадков, процессы накопления и аккумуляции будут происходить гораздо интенсивнее и загрязняющие вещества гораздо дольше будут оставаться в таких грунтах, медленнее “вымываться” из грунтов, следовательно, эти поверхности гораздо более подвержены экологическому прессингу, чем, к примеру, песчаные, из которых “вымывание” контаминантов проходит намного интенсивнее) площади распространения криолитозоны (т.к. распространение криолитозоны непосредственно воздействует на экологическое состояние экосистем из-за различной скорости протекания химических процессов под действием различных температур).

Уточнение линий границ районов будет проводиться с учетом геоморфологического районирования территории, т.к. геоморфологически однородные районы показывают основные морфоструктуры районов (т.к. на поверхностях, где преобладающими являются процессы аккумуляции и седиментации происходит накопление веществ, в т.ч. контаминантов).

При этом на распределение контаминантов оказывают воздействие различные природные факторы, которые либо ускоряют либо, наоборот, тормозят протекание химических процессов. Поэтому на картах дополнительным фоном должны быть показаны следующие природные факторы: типы берегов, распределение ледового покрова, температура воды, направления течений, типы поверхностных отложений.

Берега являются зоной наибольшего видового разнообразия, максимальной биопродуктивности, крупнейших месторождений нефти и газа. Кроме того, это зона интенсивного судоходства, портового строительства, т.е. испытывает максимальные антропогенные нагрузки.

В условиях полярного режима прибрежно-шельфовая зона имеет ряд особенностей: повышенную интенсивность ледового режима, ослабленность волновых процессов, активное морозное выветривание, развитие процессов солифлюкции, термической абразии и денудации. Широкое распространение по побережью Арктики получили термоабразионные берега, которые являются важнейшим источником поступления осадочного материала при их разрушении. Абразионным процессам подвержены более половины всех арктических берегов России. Процесс абразии приводит к громадным убыткам: теряются ценнейшие прибрежные земли, разрушаются промышленные сооружения. Денудационные берега образуются при морозном выветривании, благодаря которому в акваторию моря также дополнительно поступают осадочный материал и контаминанты.

В целом, наличие многолетней мерзлоты, избыточного увлажнения и криолитозоны замедляют в полярной зоне течение биохимических процессов, т.е. тем самым создают благоприятные условия для загрязнения экосистемы. Ледовый покров оказывает влияние на формирование подводного берегового склона, ослабляет интенсивность волнения и приводит к образованию пологого подводного склона, на котором накапливаются тонкодисперсные глинистые отложения, которые обладают способностью сильнее аккумулировать контаминанты, чем, например, песчаный грунт или ракушь.

При составлении карт для проекта Атласа будут изучены общие географические условия акваторий, распространение и особенности отдельных элементов геосистем и процессы переноса вещества между элементами окружающей среды, а также проанализирована их значимость, степень их воздействия на общее экологическое состояние окружающей среды. При этом необходимо акцентировать внимание не столько на констатации самого факта загрязнения окружающей среды, сколько изучить **причины** поступления загрязняющих веществ в Арктические моря из различных источников, возможные пути **переноса и осаждения** тяжелых металлов, пестицидов, нефтяных углеводородов и радионуклидов и др. контаминантов по направлению с суши в реки, эстуарии, дельты и на континентальный шельф – в результате чего будет проанализировано **итоговое состояние экологической ситуации региона**.

На итоговых геоэкологических картах должны быть определены зоны сосредоточения загрязняющих веществ (т.е. зоны схождения путей переноса контаминантов) и осаждения загрязняющих веществ в донные отложения. В результате, в рамках планируемой работы в рамках Экологического Атласа должны быть составлены как **аналитические** и **комплексные** карты, отражающие взаимосвязи компонентов геосистем, так и карты геоэкологического районирования, которые являются **синтетическими** по типологической классификации. Геоэкологические карты создаются на завершающем этапе работы, являясь, по сути, итоговой оценкой настоящей, сложившейся на данный этап ситуации изучаемых акваторий.

Список использованной литературы:

- 1) под ред. проф. Н.А.Айбулатова. Геоэкология шельфа и берегов России. М., «Ноосфера», 2001, 428 стр.
- 2) Айбулатов Н.А., Артюхин Ю.В. Геоэкология шельфа и берегов Мирового Океана. СПб: Гидрометеоиздат, 1993, 304 стр.
- 3) Айбулатов Н.А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. Л., Гидрометеоиздат, 1990, с.274.
- 4) Айбулатов Н.А. Экологическое эхо холодной войны в Российской Арктике. М., ГЕОС, 2000, С.307.
- 5) Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Щипа Е., Риссанен К. Радионуклиды в экосистеме региона Баренцева и Карского морей. Апатиты; 1997, 207 стр.
- 6) Матишов Г.Г. Кризис экосистемы Баренцева моря: причины дестабилизации. Апатиты, ММБИ АН СССР, 1990, 65 с.
- 7) Суздальский О.В. Литодинамика мелководья Белого, Баренцева и Карского морей. Л., Недра, 1974, с.27-33.