

УДК [502.5:001.891](26)

*М.А. Холмянский**, *Е.М. Снопова**, *М.В. Владимиров***,
*О.Ю. Заносов****

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ МОРСКИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

* ООО НП «ЦИТ», holm936@rambler.ru; ** Администрация Президента Российской Федерации; *** Управление безопасности людей на водных объектах МЧС РФ

M.A. Kholmyanskii, E.M. Snopova, M.V. Vladimirov, O.Y. Zanosov

CURRENT STATUS AND FORECAST OF DEVELOPMENT OF MARINE GEOECOLOGICAL RESEARCHES

В статье описывается современное состояние морских геоэкологических исследований. Выделяются основные направления этих исследований. Анализируется дальнейшее развитие методов изучения геоэкологического состояния морских акваторий.

Ключевые слова: море, экология, прогноз, подводные объекты, методика, исследования.

The modern state of marine geoeological investigations is describe. The fundamental directions of this investigations are allocate. The further development of method of study of sea aquatory geoeological state is analyze.

Keywords: sea, ecology, prognosis, underwater objects, methodic, investigations.

Введение

В отличие от других направлений, входящих в круг проблем, объединенных общим названием «наука о Земле», морские геоэкологические исследования развивались поступательно, без существенной конфронтации между отдельными школами и группами специалистов (чего не скажешь, например, о развитии тектонических концепций или способов интерпретации материалов ряда геофизических методов). Очень существенным элементом этого поступательного развития явилось отсутствие резкого диссонанса между уровнем теоретического обоснования, методики и технологии работ и их аппаратурным обеспечением [1, 5, 7, 9, 17].

Определенные разногласия существуют в терминологической сфере, но они не влияют на теорию и практику морских геоэкологических работ [11–13].

В истории морских геоэкологических исследований можно выделить несколько периодов, характеризующихся как разными спектрами решаемых задач, так и способами их решения. В числе этих периодов условно можно выделить следующие:

1 – Общая оценка фонового состояния акваторий, разработка методов определения таких оценок на материале пробоотбора донных осадков и морской воды. Создание первых концепций геоэкологических работ на море.

2 – Разработка методики, аппаратуры и оборудования для комплексных геоэкологических исследований. Создание основ геоэкологического картирования в рамках морской геологической съемки.

3 – Усовершенствование аппаратурно-методических комплексов и расширение спектра решаемых задач на трансрегиональном, региональном, площадном (локальном) и пообъектном уровнях.

4 – Разработка основ мониторинга разного уровня и целевой направленности: федерального, регионального, специализированного – производственного, физико-химической, инженерно-геологической направленности и др.

5 – Современные многофункциональные геоэкологические исследования на море с использованием многопараметровых аппаратурно-методических систем. Проведение трансрегиональных и региональных морских экологических патрулей. Создание и развитие нового направления в науках о Земле – подводной экологии.

6 – Развитие современных основ геоэкологического картирования.

7 – Создание современного многофункционального аппаратурно-методического геоэкологического комплекса на базе теоретического обоснования применяемых модификаций наблюдений и измерений и использования достижений в развитии системотехники.

8 – Разработка систем геоэкологического прогноза для акваторий, обоснование дальнейшего развития теории и практики геоэкологических исследований и их нормативного обеспечения.

Геоэкологические исследования на море: состояние, направления, методика, развитие

Свое начало морские геоэкологические работы берут от изучения морских геохимических ландшафтов. Именно методика и интерпретация данных пробоотбора на морских акваториях, построения таблиц и ландшафтных схем позволили увязать геохимические (физико-химические) данные с геоморфологией и литодинамикой и выделить характерные ландшафтные комплексы. Используя эту методику для анализа распределения различных типов загрязнителей, содержащихся в донных отложениях и морской воде, удастся дать общую геоэкологическую оценку изучаемых районов морских акваторий [6, 7].

Начиная с середины 1990-х годов прошлого века отбор проб на геоэкологический анализ стал дополняться измерениями содержания поллютантов с помощью ионо-селективных электродов и других заборных датчиков, используемых в режиме зондирования с борта экспедиционных судов или профилирования на ходу судна, и спектр решаемых геоэкологических проблем на море стал неуклонно расширяться. К настоящему времени можно выделить основные направления морских геоэкологических исследований, выполняемых отечественными и зарубежными организациями в рамках как производственных, так и научных работ:

- общая оценка геоэкологического состояния акваторий;
- факультетный геоэкологический анализ;
- мониторинг разного уровня и направленности;

- развитие теории, методологии и технологии геоэкологических морских исследований;
- выполнение морских экологических патрульных исследований;
- создание нормативных документов;
- подводная объектология (поиск и геоэкологическое обследование подводных потенциально опасных объектов);
- геоэкологическое сопровождение освоения морских месторождений;
- ведение наблюдений, сбор качественных и количественных показателей состояния недр прибрежно-шельфовых зон российских морей;
- картирование;
- прогнозирование;
- усовершенствование аппаратурно-методического обеспечения геоэкологических работ на море.

Общая оценка геоэкологического состояния морских акваторий. Примером общей оценки геоэкологического состояния акваторий могут служить ведение наблюдений, сбор качественных и количественных показателей состояния окружающей среды (недр).

Такая оценка проводится в рамках государственного заказа по линии Министерства природных ресурсов РФ и выполняется соответствующими подразделениями ведущих геологических организаций нашей страны: ВНИИОкеангеология, ВСЕГЕИ, Гидроспецгеология.

Другим примером общей оценки являются исследования в рамках морских международных геоэкологических патрулей, выполняемые на акватории северо-западных морей Европы силами специалистов России, Дании, Польши, Швеции, Финляндии и Норвегии. Исследования ежегодно проводятся на выбранных морских полигонах и профилях, расположенных в Балтийском, Северном и арктических морях, проливах Скагеррак и Каттегат [3, 8].

К решению задач в рамках такой оценки привлекается широкий комплекс методов, объединенных в аппаратурно-методическую систему: анализ проб донных осадков и морской воды на основные загрязнители; геофизические наблюдения, включающие в себя сейсмоакустические, электроразведочные, радиоактивные, визуальные наблюдения за состоянием морского дна с использованием самой современной фото-телевизионной техники; долговременные измерения параметров окружающей среды с помощью многофункциональных буйковых станций [14].

После интерпретации получаемых материалов составляются отчетные документы, передаваемые для принятия управляющих решений в региональные и федеральные органы. В число этих документов входят отчеты, атласы карт, бюллетени, частично издаваемые в открытой печати.

Техногенные фации морских акваторий. Углубленное изучение процессов техногенеза во времени и в пространстве во всем многообразии взаимоотношения человека и природы, биогенной и абиогенной составляющих экосистем как на суше, так и на море потребовало создания единой основополагающей базы. В качестве такой базы мы выбрали фациальную основу и дали определение техногенной фации: «Техногенная фация – обстановка мобилизации переноса и накопления техногенных веществ любых генетических типов».

Во всем многообразии признаков, определяющих типы техногенных фаций, по нашему мнению, на первое место следует поставить процессы мобилизации, переноса и накопления материала. Исходя из генетических причин нарушения экосистемы, мы можем при определении типа техногенных фаций использовать самые разнообразные характеристики морской среды, так или иначе связанные с антропогенным воздействием на нее.

В число таких характеристик входят:

- инженерно-геологические – скорость погружения объекта в донные отложения; прочность оснований сооружений, расположенных на морском дне;
- гидрофизические;
- гидрохимические;
- потенциальные поля;
- геокриологические.

Для каждого типа характеристик можно выделить группы фаций: а) по мобилизационным провинциям; б) по положению на шельфе; в) по глубине моря; г) по составу донных отложений. Список может быть продолжен.

Для морских акваторий целесообразно по условиям, определяющим источники поступления техногенного материала, выделить: первичные или вторичные, расположенные на суше и существующие или образовавшиеся на море. В первом случае мы имеем дело с различными видами наземных производств, хозяйственной и бытовой деятельностью поселков, городов, сельским хозяйством, лесной промышленностью, поставляющими на шельф широкий спектр поллютантов в разных их соотношениях. Во втором случае поступление поллютантов связано с разработкой морских месторождений твердых полезных ископаемых, с переотложением и вторичным переносом накопленных на дне загрязняющих веществ, как поступивших с суши, так и обязанных своим возникновением различным потенциально опасным объектам, расположенным на дне.

Целесообразно классифицировать техногенные фации исходя из доминирующей их характеристики, дополняемой остальными. Таким образом, мы приходим к соответствующей фациальной формуле, позволяющей как достаточно детально представить современное состояние той или иной части акватории шельфа, так и моделировать его изменения в близком или относительно далеком будущем.

В основе любого фациального подразделения акваторий мы используем суммарную формулу, составленную из вышеприведенных фациальных характеристик. Классификация техногенных фаций делается на основании выделения доминирующего фациального признака и последующего введения в формулу, остальные ранжированы авторами произвольно. Формула может быть представлена как функция от следующих параметров: $Эп2а$, $Уз2$, $Стмм$, $Ствбн$, $Ствмх$, $Тфмо$, – где $Эп2а$ – умеренный экодинамический процесс аккумуляции техногенного материала; $Уз2$ – опасные техногенные загрязнители – тяжелые металлы (в группу входят Be , As , Zn , Mn , Pb , Mo , Sn , Cu); $Стмм$ – взмучивание донных осадков при разработке строительных материалов; $Ствбн$ – высокое нарушение биогенного состояния экосистемы; $Ствмх$ – высокое нарушение механических характеристик донных отложений; $Тфмо$ – техногенная фация – формируется за счет первичных и вторичных процессов поступления техногенного материала.

На основании таких фациальных формул нами составлен ряд фациальных карт для шельфа Балтийского и Белого морей.

Картирование. Важнейшим элементом современных представлений, подходов, предложений и т. д. является принципиально новая позиция в построении геоэкологических карт.

Отметим, что ввиду отсутствия на сегодняшний день унифицированных инструктивных документов, утвержденных на федеральном или хотя бы на региональном уровне, при построении морских геоэкологических карт доминируют авторские подходы [2]. Один из них основан на инструктивных требованиях, нормируемых соответствующими документами, регламентирующими геологическую съемку, где среди обязательных карт, завершающих съемку, фигурирует и геоэкологическая. Ее легенда и содержание не соответствуют требованиям непосредственно экологического характера.

Другой подход предлагает под рефреном «геоэкологические» ряд карт геологического толка (геохимическая, современных осадков и пр.) и более или менее связанную с ними геоэкологическую, экогеологическую и т. д. карту. Примером этого подхода являются геоэкологические атласы, созданные и частично опубликованные в последние годы: Атлас геоэкологических карт Баренцева моря; Геоэкологический атлас восточной части Финского залива; Геоэкологический атлас участков прибрежно-шельфовой зоны Белого, Баренцева, Карского морей и др.

Отдельными авторами создаются специализированные геоэкологические карты моно- или полиэлементного загрязнения, опасных геоэкологических процессов (обычно подразделенных на экзо- и эндогенные); экогеодинамические и т. п. Наконец, в ряде случаев делается попытка оценить устойчивость шельфовых экосистем к техногенным воздействиям или ранжировать геоэкологическую обстановку в системе балльности (правда попытки такого ранжирования преимущественно относятся к суше).

Все эти варианты картографирования, на наш взгляд, не решают основной функциональной задачи – многофункционального отражения геоэкологической информации в виде соответствующей модели, каковой и является геоэкологическая или экогеологическая карта. Основываясь на вышеописанном фациальном подходе к «экогеологической проблеме» и полученном за последнее десятилетие фактическом материале, позволяющем группировать необходимые характеристики, мы обосновали построение ряда карт техногенных фаций. Это карты многослойные, построенные с использованием ГИС. Только такой вариант построения позволяет решить «затянувшуюся» проблему экогеологического картирования на шельфе. Доложенный на международных совещаниях предлагаемый подход получил одобрение у научного сообщества, что дает нам дополнительную мотивацию к созданию атласа техногенных фаций северо-западных морей Европы.

В настоящее время единственными документами, принятыми на федеральном уровне, регламентирующими содержание геоэкологических морских карт, являются инструкции по проведению морской геологической съемки разного масштаба. Необходимость создания инструкции по составлению морских геоэкологических карт не вызывает никаких сомнений.

Геоэкологическое сопровождение освоения месторождений арктического шельфа. Выбор оптимального режима недропользования возможен на базе исследований, включающих в себя:

- анализ возможностей хозяйственной деятельности на шельфе, регламентированных соответствующими нормативными документами;
- детальное изучение всех негативных последствий освоения месторождений;
- оценку финансово-экономических путей обеспечения рационального недропользования на основе экологического менеджмента;
- проведение геоэкологического (экогеологического и технологического) мониторинга;
- проведение экологической экспертизы проектов, паспортизации лицензионных участков;
- выбор оптимальных технологических режимов;
- систему управляющих решений, основанных на принципах оптимального недропользования.

К основным видам геоэкологического воздействия морского добычного комплекса на окружающую среду относятся: физическое, химическое, биологическое, механическое. Суммарное воздействие носит комплексный характер и проявляется в форме физических, химических и биологических нарушений в водной толще морской среды, на дне и частично в атмосфере.

Основные принципы при разработке системы экологического сопровождения работ, связанных с освоением месторождений углеводородных и твердых полезных ископаемых [5]:

а) *приоритетность* – производство работ на шельфе не будет осуществляться за счет нарушения экологического равновесия в природной среде; меры по предотвращению экологических последствий превалируют над мерами по их ликвидации;

б) *обоснованность риска* – принятие решений по экологической деятельности основывается на зарубежном и отечественном опыте освоения месторождений, на проведении моделирования (прогнозных оценок) возможных экологических последствий добычной деятельности, базирующихся на результатах мониторинга.

Реализация этих двух принципов позволяет в конечном итоге принимать обоснованные управляющие решения по экологически сбалансированному развитию добычных работ.

В основе право обеспечения экологической безопасности добычных работ должны лежать заключения государственной экспертизы на проекты этих работ на море, утвержденные приказами Государственного комитета по охране окружающей среды.

Основой структуры системы геоэкологического сопровождения освоения месторождений в морях является специализированный геоэкологический мониторинг, который выполняется на всех этапах проведения работ на месторождениях. На прогнозной и поисковой стадии освоения проводится общий мониторинг регионально-локального уровня. Полигоны для его проведения на акватории морей выбираются исходя из геоморфологической, литологофациальной, литодинамической и геокриологической обстановки.

В соответствии с действующим природоохранным законодательством недропользователи обязаны создавать систему регулярных наблюдений за состоянием окружающей природной среды (воды, донные осадки, геокриозон, атмосферный воздух). На предварительном этапе освоения месторождений создается *регламент экологического мониторинга*.

В качестве основных задач локального мониторинга для лицензионных участков в рамках такого регламента следует выделить:

- контроль состояния окружающей природной среды шельфа по физическим, химическим и биологическим параметрам в целях определения уровня загрязнения, выявления основных источников загрязнения и регламентации основных природоохранных мероприятий, планируемых на разных стадиях освоения месторождений;
- обеспечение контролирующими и природоохранными органами систематическими данными об уровне загрязнения окружающей среды, прогнозом их изменения и, на стадии промышленного освоения, экстренной информацией – в случае резких повышений уровня загрязнения вышеуказанных сред.

Экологический мониторинг на лицензионных участках. Для выявления возможных изменений в развитии экосистем в районах поисково-оценочных работ на лицензионных участках проводится регулярный долгосрочный комплексный экологический мониторинг на основе разработанной концепции и специализированной информационно-измерительной системы.

Достижимые при этом цели мониторинга состоят:

- в выявлении потенциальной опасности деградации окружающей среды;
- определении степени вреда, причиняемого биоресурсам бассейна;
- определении уровня деградации всей экосистемы, включая оценку ее загрязнения;
- оценке эффективности мер, применяемых для уменьшения антропогенной нагрузки.

Программа мониторинга (режим, сетка станций, измеряемые параметры) стандартизирована в соответствии с российской и международной практикой подобных исследований и согласовывается со специально уполномоченными государственными органами по охране окружающей среды.

Теория, методология и технология геоэкологических морских исследований. Основные теоретические разработки в области морских геоэкологических исследований связаны с обоснованием необходимой (для получения обоснованных заключений о состоянии окружающей среды) точности и разрешающей способности применяемых геофизических, геологических и аналитических модификаций наблюдений, с геоэкологическим прогнозом и обоснованием создаваемых нормативных документов.

Выбор оптимальных технологических способов морских геоэкологических исследований основан на:

- определении основных задач исследований;
- теоретическом обосновании эффективности методов, потенциально пригодных для решения задач;
- анализе имеющихся аппаратурных комплексов, применимых для реализации поставленных задач, и выборе оптимальных из них.

В настоящее время для поиска подводных потенциально опасных объектов (ППОО), их идентификации и определения влияния на окружающую среду, геоэкологического мониторинга разных уровней, геоэкологического сопровождения освоения морских месторождений используются модульные информационно-измерительные системы [14].

Информационно-измерительная система (ИИС) представляет собой специализированную геоэкологическую систему, которая определяется как «Методико-технологическое объединение в единое целое измерительных, обрабатывающих, интерпретационных и визуализационных модулей для решения геоэкологических задач, содержащее группы основных измеряемых и изучаемых параметров, методику их наблюдений и технологические модули, обеспечивающие регистрацию сигналов, обработку первичной информации, предварительную интерпретацию, проведение комплексного анализа полученных материалов, моделирование и прогноз изменения сложившейся геоэкологической ситуации, формирование управляющих решений».

ИИС принципиально состоит из аппаратурно-методического и интеллектуально-информационного комплексов (рис. 1). Комплекс задач, решаемых морскими геоэкологическими работами, перечислен выше.

Как уже отмечалось, применяемый в настоящее время аппаратурно-методический комплекс включает в себя три основные группы методов: геофизические, геологические, аналитические.

В специальную группу можно выделить фототелевизионные, буйковые и осуществляемые с помощью подводных аппаратов наблюдения, лишь косвенно связанные с указанными группами.

Аппаратурно-методический комплекс иллюстрируется на рис. 2.

Дальнейшее развитие методов изучения геоэкологического состояния акваторий происходит путем создания облегченных модификаций, пригодных для работы на мелководье, замены определенных видов аналитических лабораторных наблюдений измерениями *in-situ* с помощью заборных датчиков информации. Также на повестке дня стоит судовое обеспечение морских геоэкологических работ и подводных аппаратов [4, 10].

Проведение геоэкологических и геолого-геофизических работ в море, в первую очередь в арктических морях, отличающихся наличием ледяного покрова, связано с рядом трудностей, важнейшие из которых: высокая вероятность обрыва заборных измерительных кабелей и спуско-подъемных несущих тросов, сложность маневрирования в ледяных полях. Эти проблемы могут быть устранены при использовании в качестве экспедиционных *судов-катамаранов*, прошедших успешные испытания в зарубежных исследованиях. Опыт привлечения обитаемых подводных аппаратов в Арктике показал их невысокую эффективность при решении геоэкологических задач. Среди необитаемых подводных аппаратов целесообразно отдать предпочтение глайдерам. *Глайдер* – автономный необитаемый подводный аппарат многократного использования, перемещающийся в водном пространстве по заданной программе с минимальным расходом энергии подобно планеру. Для движения глайдер использует гидродинамические силы, действующие на корпус, и рули при всплытии и погружении. Энергия собственных

источников расходуется только на изменение плавучести и дифферента для передвижения в толще воды по пилообразной траектории. Глайдер может входить в общий аппаратно-методический комплекс и использоваться при решении любых геоэкологических задач.

В настоящее время при проведении геоэкологических работ на море используются плавсредства, созданные для проведения различных видов специализированных работ: аварийно-спасательные, вспомогательные – разной ведомственной принадлежности (отряды АСПТР парокходств, МЧС, военно-морской флот и др.); рыболовные; ледакольные; гидрографические. Основные виды морских

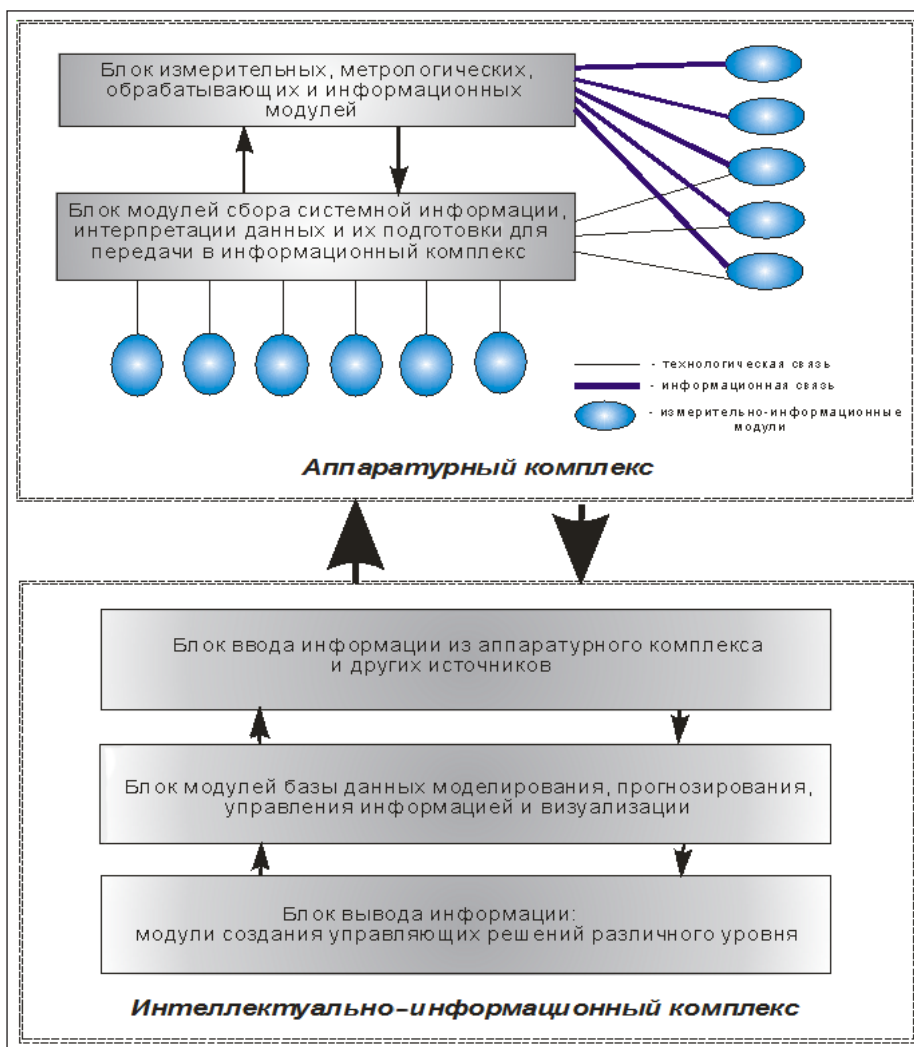


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной системы



Рис. 2. Состав модулей комплексной измерительной системы, применяемой для геоэкологических исследований на море

геоэкологических исследований включают в себя: составную часть геолого-съёмочных работ разного масштаба; геоэкологическое сопровождение освоения морских месторождений (нефтегазовых, строительных материалов, олова, золота, ильменит-рутил-цирконовых); поиски, обследование и изучение ППОО; мониторинг федерального, регионального и локального уровня (рис. 3). Специализированных судов, полностью или частично предназначенных для проведения геоэкологических работ, не существует.

Если в условиях незамерзающих морей эта проблема весьма существенна, то ее значение в замерзающих, в первую очередь арктических морях, где приходится иметь дело с длительным периодом наличия ледяного покрова, сокращающего время проведения исследовательских работ, повышается в несколько раз.

На данном судне мост, соединяющий корпуса катамарана, дает возможность легкого и экономическ



Рис. 3. Судно для обеспечения водолазных и подводно-технических работ, оптимальное для решения задач, связанных с геоэкологическими исследованиями

эффективного обустройства систем, механизмов и приспособлений для работы функциональных подсистем и различных подводных и опускных аппаратов. Многофункциональность судна катамаранного типа обеспечит увеличение площади рабочей палубы (являющейся ключевой характеристикой для описания эффективности судов обеспечения) до 2,5 раз по сравнению с однокорпусными судами, что позволит удобно размещать сменные контейнеризованные модули оборудования в зависимости от поставленных задач. Отметим также более удобное и безопасное выполнение геологического и гидрофизического пробоотбора, особенно тяжелыми трубками; удобное выполнение зондировочных работ зондами разных типов.

Катамаран обеспечивает более стабильное положение судна при работах в дрейфе и на якоре, значительно более удобное и надежное размещение контейнерных лабораторий. Важнейшим преимуществом катамаранов является то, что они позволяют избежать описанных выше сложностей проведения работ во льдах. Использование межпалубного пространства между корпусами судна позволяет избежать соприкосновения со льдом любых заборных устройств. Трос пробоотборников движется в этом пространстве, закрытом ото льда. Геофизические кабели, опускаемые в воду с использованием межпалубного пространства, оказываются по мере удаления от кормы судна ниже поверхности воды и, следовательно, ниже подошвы льдин любой конфигурации, находящихся за пределами корпуса судна. В этом случае и необходимое маневрирование судна среди льдин не нанесет урон заборным устройствам и подводящим кабелям.

Прогнозирование. Опыт создания прогнозных систем экологической направленности весьма ограничен [13–15]. Связано это с рядом причин: отсутствием концептуальных основ построения таких систем; сложностью создания единых систем, объединяющих подсистемы разной фактологической основы и целевой направленности; неразработанностью необходимого математического аппарата.

Наконец, если представление географических, океанологических, биологических данных в интегрированном банке данных – необходимой составляющей любой прогнозной системы – на сегодняшний день не является сложной задачей, то объединение в нем характеристик геоэкологической природы, морфологии, пространственно-временной структуры вызывает большие трудности. Это связано со сложностью оптимизации и минимизации большого объема разнородных данных, вводимых в ПС, а также ограниченным выбором специальных программных средств, терминологическими разночтениями и отсутствием иерархии управляющих решений [13–15].

Первый опыт создания прогнозной системы для анализа последствий кратковременного и долговременного воздействия ППОО на окружающую природную среду реализуется МЧС РФ в специализированном программном комплексе, направленном на изучение и ликвидацию чрезвычайных экологических ситуаций на море [14].

В настоящее время требуется создание основы современной версии прогнозной системы, ориентированной на долговременный прогноз развития геоэкологической ситуации при различных техногенных воздействиях на акватории.

Изучение ППОО и прогноз изменения геоэкологической ситуации в районах их нахождения. Начатые в 1992 г. комплексные геоэкологические и океано-

логические работы, выполняемые в целях поиска и обследования затопленного в Балтийском море немецкого трофейного химического оружия (НТХО), положили начало системному обследованию затопленных подводных объектов, представляющих угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций различного характера, и имели достаточно ограниченный набор методов. Со временем набор методов последовательно трансформировался, объекты и география поисков значительно расширились. Расширились и наши представления о ППОО, находящихся в разных морях, в принципиально разных геологических и океанологических условиях [14].

Были теоретически обоснованы требования к разрешающей способности методов, входящих в комплекс исследований [14]. Созданная для изучения ППОО аппаратура до последнего времени в основном позволяла успешно решать поставленные задачи. В процессе выполнения различных экспедиционных работ под эгидой МЧС и МПР РФ выявляются новые объекты, уточняются характеристики известных ППОО, идет накопление физико-химической, океанографической, инженерно-геологической информации по полигонам и районам затопления ППОО.

Создана развернутая классификация ППОО. Состояние различных ППОО, находящихся в Балтийском, Белом, Карском, Черном, дальневосточных морях, озерах Ладожском и Байкал, чрезвычайно различно. Многие из них составляют угрозу окружающей среде, и эта потенциальная опасность с течением времени увеличивается. Если само по себе расширение наших знаний о физико-химических и морфологических свойствах самих объектов идет достаточно быстро, то методика и технология работ почти не развиваются. Заимствованные из морской геологической съемки и способов изучения геохимических ландшафтов эти методика и технология явно не удовлетворяют требованиям сегодняшнего дня. Разрешающая способность основных методов исследований (сейсмоакустика, электрометрия, магнитометрия, фототелевизионные наблюдения) не удовлетворяет нас при поисках мелких и многоэлементных ППОО, расположенных часто в сложных инженерно-геологических условиях (иногда в аквальной мерзлой зоне), технически и пространственно труднодоступных участках дна (что, в частности, имеет место в интенсивно осваиваемых сейчас районах Черного моря).

Обеспечение одновременных измерений разных параметров ППОО и окружающей (вмещающей) среды, необходимость непрерывной долговременной их регистрации требуют своего технического развития. В настоящее время стало реальной необходимостью установление современных требований к аппаратурно-методическим комплексам и обоснование их развития в ближайшие годы с учетом развития системотехники и нанотехнологий.

Одним из важных направлений деятельности МЧС России является снижение рисков возникновения ЧС различного характера, а также сохранение здоровья людей, предотвращение ущерба и материальных потерь путем заблаговременного проведения предупредительных мер. Выполнение данной задачи рассматривается как приоритетное, поскольку позволяет прогнозировать ЧС на базе достоверных оценок риска, получаемых в результате мониторинга состояния окружающей среды и производственной сферы.

Прогнозная система – «совокупность программно-технических и интеллектуальных элементов, обеспечивающих выполнение моделирования, сбор и

обработку информации, ее визуализацию и принятие управляющих решений». Главная цель создания прогнозной системы (ПС) МЧС России – расширение возможностей функциональной подсистемы РСЧС по ППОО. ПС используется для информационной поддержки принятия управленческих решений. При этом многие оценки развития ЧС на ППОО основаны на экспертных оценках, так как более точный прогноз невозможен либо из-за недостатка информации, либо из-за неразработанности программных средств.

В число основных задач, решаемых ИИС, входят:

- поиск, уточнение положения и определение морфологии ППОО;
- изучение общей экогеологической ситуации в районе затопления ППОО и прогноз ее изменения;
- новое направление исследований «Подводная объектология»;
- моделирование динамических изменений положения ППОО;
- обоснование управляющих решений.

Успехи, достигнутые при изучении ППОО разного типа, позволили создать новое научное направление в морских геоэкологических исследованиях – *подводную объектологию*. Оно определяется так: «Подводная объектология – наука, изучающая подводные объекты, расположенные на дне акваторий, в донных осадках или гидросфере, имеющие выраженные границы и отличающиеся по своим характеристикам от окружающей среды».

Мониторинг геологической среды, как и любой другой вид экологического мониторинга, является самостоятельной категорией исследований. По сути дела, эта категория развивается и трансформируется в области понятий, систем измерений, методик работ, способов отображения информации в ином пространственно-временном поле, нежели другие виды геолого-экологических исследований.

Существует много различных классификаций мониторинга, построенных по пространственно-временному (масштаб работ, особенности изучаемых площадей, временной спектр проведения повторяющихся наблюдений), целевому (фоновый, биосферный, экогеохимический, экодинамический и т. д.) или генетическому (по влиянию на геосистему группы эндогенных или экзогенных факторов и процессов) принципам [1, 5, 8, 9, 12].

В настоящее время широко используется данное нами определение: «Мониторинг окружающей природной среды – это геоинформационная интеллектуальная система с широким набором разнообразных модулей, обеспечивающая сбор и обработку информации, полученной в выбранном пространственно-временном поле, дальнейшую интерпретацию материала, моделирование, прогноз и принятие управляющих решений».

Интеллектуальная геоинформационная система предусматривает в качестве основных элементов ее строения две подсистемы: 1) *ввода* – состоящую из информационных модулей, модулей управления информацией, визуализации и моделирования; 2) *вывода* – представленную управляющими решениями. Важным элементом является новая организация подсистемы ввода, включающая в себя не только атрибутивную и графическую базы данных, но и технические средства, обеспечивающие получение цифровой обработанной информации.

В качестве объектов мониторинга следует рассматривать:

- активизацию современных неотектонических движений, обусловленную как эндогенными проявлениями сейсмической активности, так и экзогенными, в том числе техногенными, факторами;
- изменения гидрогеологической и геотермальной обстановок любого масштаба под влиянием глобальных процессов (потепление климата, изменение уровня Мирового океана и т. д.) и техногенного воздействия;
- трансформацию литодинамического режима в прибрежно-шельфовых зонах в результате проявления как региональных, так и локальных природных и антропогенных факторов;
- антропогенное загрязнение и техногенные нарушения геологической среды континентального шельфа.

Учитывая многоцелевую направленность мониторинговых работ, целесообразно подразделять их на полные, неполные, специализированные и моноинформативные. Первые включают в себя полный стандартный набор (СН) геоэкологических исследований на шельфе. Вторые предполагают частичное использование методов стандартного набора. Специализированный мониторинг ориентирован на привлечение ограниченного перечня методов из СН и применение нестандартных модификаций из СН и/или нетрадиционных видов работ. Наконец, моноинформативные мониторинговые работы предполагают использование одного метода, позволяющего полностью решить поставленную задачу.

Примером неполных мониторинговых работ может служить изучение динамики геоэкологических барьеров, формирующихся на участках разработки месторождений нефти, газа или строительных материалов. Специализированный мониторинг может осуществляться в районах захоронения на дне моря отравляющих веществ или иных объектов, на акваториях подводных отвалов, на участках строительства гидротехнических сооружений, а также в зонах субмаринной разгрузки и прочее. Наконец, объектом моноинформативного мониторинга может быть, например, интенсивность коррозионного процесса на подводных элементах нефтяных терминалов и выявление его динамики.

Очень важной является структура организации мониторинга разного уровня. На наш взгляд, в достаточной степени оптимальной является иерархическая структура, реализуемая в Финляндии. На самом верхнем уровне находится Министерство окружающей среды. В части мониторинга оно отвечает за единую политику всех организаций, выполняющих мониторинг любого уровня. Оно занимается подготовкой законопроектов и финансированием государственных организаций, установлением норм и стандартов. Следующим по уровню является Центр окружающей среды Финляндии (ЦОСФ), представляющий собой общегосударственную научно-исследовательскую структуру развития и разработок. Центр проводит мониторинг, делает заключения по экологическому состоянию территорий и предлагает управляющие решения, в которые входят планы, программы, модели, предназначенные для улучшения состояния окружающей среды. ЦОСФ регулирует деятельность региональных центров окружающей среды.

Таких центров в Финляндии 13, три из них осуществляют мониторинг геологической среды на шельфе. При проведении мониторинга эти центры руководствуются требованиями как регионального, так и общегосударственного статуса.

Низшее звено представлено муниципальными органами власти, отвечающими за охрану окружающей среды на местах. В их задачи входит проведение мониторинга локального и объектного уровней. К сожалению, в Российской Федерации четкая структура и организация проведения мониторинга окружающей природной среды как в целом, так и, в частности, на континентальном шельфе отсутствует.

В основе мониторинга любого уровня лежат измеряемые параметры:

1. Физические – прозрачность, цветность, плотность, электропроводность, температура, вязкость, диэлектрическая проницаемость морской воды, скорость постоянных и непостоянных течений, глубина моря, петрофизические характеристики техногенных объектов и вмещающих сред.

2. Химические и физико-химические – растворенный кислород, химические элементы (прежде всего тяжелые металлы: Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Co и др.), нефтяные углеводороды, полициклические ароматические углеводороды, битуминозные вещества, гуминовые кислоты, пестициды, радионуклиды, pH, Eh.

3. Биологические – состав и биомасса основных компонентов планктона и бентоса, продукция бактерий, скорость потребления и время оборота фосфатов; скорость сульфатредукции; усвояемость органического вещества, скорость его деструкции в воде и время оборота (полного самоочищения); фильтрационные потенциалы; хлорофилл; фотосинтетическая активность; количество и состав фитопланктона; биолюминесценция зоопланктона; зависимость суточной и сезонной миграции планктона от физических и химических факторов.

4. Литологические и литодинамические – мощность и состав техногенных горизонтов, состав и скорость перемещения взвеси, характеристики геологических барьеров.

5. Объектные – морфологические параметры техногенных объектов, расположенных на дне моря и в донных осадках, другие характеристики (состав отравляющих веществ, находящихся в затопленных контейнерах и бомбах, состав захораниваемых материалов и т. д.).

Существует много подходов к созданию оптимальной схемы мониторинговых работ, их иерархии; типизации, объединяющей задачи, уровни, методики проведения измерений; к способам отображения конечной информации. Общие методические приемы проведения измерений сводятся к их выполнению в режиме зондирования или профилирования при дискретной или непрерывной регистрации сигналов и записи информации в цифровом или аналоговом виде. Однако если при выполнении любых видов геологических работ измерения, проводимые в режиме движения экспедиционного судна и на его дрейфовых и якорных стоянках, то есть в модификациях профилирования и зондирования, являются вполне равнозначными, то при постановке мониторинга предпочтение должно отдаваться вторым. Причиной этого является необходимость очень точной привязки мониторинговых наблюдений, особенно на моноинформативном и специализированном уровнях. Кроме того, выполнение основного объема работ в модификации зондирования обеспечивает отображение информации в трехмерном пространстве.

Развитие технологии выполнения мониторинговых измерений идет по пути сокращения объема пробоотбора и аналитических наблюдений, выполняемых на борту судна и в стационарных лабораториях, и увеличения количества измерений

в режиме *in-situ* при движении судна или на якорных и дрейфовых стоянках при перемещении забортных измерительных модулей в субвертикальном или субгоризонтальном направлениях.

Важнейшими вопросами, связанными с проведением мониторинга, являются временные и пространственные критерии, определяющие выбор оптимального комплекса методов, способов наблюдений, точности геодезической привязки.

Мониторинг геологической среды шельфа является динамической, в известной степени самоорганизующейся системой. Суть ее самоорганизации состоит в том, что принимаемые на разных этапах управляющие решения не только касаются прогноза экологической ситуации и комплекса мер по ее стабилизации или изменению, но и позволяют постоянно совершенствовать методику и технологию работ, уровень визуализации результирующих материалов и т. д.

Современное состояние нормативной базы морских геоэкологических работ

В развитых странах экологическая деятельность на море осуществляется не столько через национальные и международные стандарты, сколько через нормативы, разрабатываемые государственными и негосударственными структурами под эгидой министерств по окружающей среде. Основное внимание уделяется контролю за различными группами загрязнителей и системам мер борьбы с ними [5, 16].

Следует отметить, что «нормы» на различные ассоциации загрязнителей морской среды меняются в странах Евросоюза в зависимости от доминирующих в настоящее время видов хозяйственной деятельности. Интенсификация химических производств в береговой зоне обуславливает появление документов, приоритетно ориентированных на органические загрязнители; разработка шельфовых углеводородных месторождений сместит акценты в область контроля за содержанием тяжелых металлов и нефтепродуктов.

Варианты взаимодействия норм государственного регулирования хозяйственной деятельности на море в части экологии на уровне национальных и международных стандартов отличаются большим разнообразием. В Германии все, что касается экологических условий использования недр и подземных сооружений, регулируется документами уполномоченных организаций, а не национальными стандартами. В Канаде экологические вопросы регулируются документами комиссии при министерстве энергетики. В США вся федеральная регулятивная экологическая деятельность на море находится под контролем Конгресса и специальной комиссии при президенте США. Все геоэкологическое регулирование хозяйственной деятельности на шельфе Финляндии поручено полугосударственному агентству по мониторингу окружающей среды, имеющему региональные и муниципальные отделения. Деятельность агентства регулируется министерством окружающей среды.

Структуризация нормативных документов, регламентирующих освоение нефтегазовых месторождений. Федеральные законы направлены на решение следующих задач: а) сохранение природной среды на основе учета ее фоновых характеристик и использования технологий, направленных на достижение этой цели; б) разработку нормативно-правовых документов, обеспечивающих на всех

уровнях выполнение поставленной цели: минимизации ущерба от производственной деятельности, а также проведение контроля, мониторинга и принятие управляющих решений; в) выбор методики проведения контроля и мониторинга.

Действующая система включает в себя:

- законодательные акты Российской Федерации;
- нормативные документы органов федеральной исполнительной власти (Минпромэнерго России, МПР России, Минрегион России, Ростехнадзор и др.);
- нормативные документы органов власти субъектов Российской Федерации (Правительства Татарстана, ХМАО – Югра, ЯНАО и др.);
- государственные стандарты системы ГОСТ Р;
- межгосударственные стандарты стран СНГ системы ГОСТ;
- стандарты вертикально интегрированных компаний или естественных монополий (ОАО «Газпром», ОАО «АК "Транснефть"», ОАО «НК "Роснефть"» и др.);
- стандарты организаций (эксплуатирующие и сервисные предприятия, общественные организации, институты и т. д.);
- технические условия (ТУ, СТУ) на продукцию;
- технические требования к проектам, процессам.

Низкая актуальность и эффективность значительной части стандартов является общей «болезнью» для многих стран, в которых национальные стандарты разрабатывались за счет государственных бюджетов. На место выбывших стандартов должны прийти нормы с более актуальной тематикой, в первую очередь путем перевода в национальные стандарты нормативных документов и рекомендаций органов исполнительной власти, содействующих выполнению технических регламентов.

Межгосударственные стандарты СНГ продолжают разрабатываться и приниматься в рамках системы ГОСТ. За период 2001–2004 гг. разработано 10 межгосударственных стандартов ОКС 75.180 «Оборудование для нефтяной и газовой промышленности»: 6 разработаны и представлены Республикой Азербайджан, еще 4 – Россией. В течение 10 лет российская нефтегазовая отрасль участвует в программах гармонизации государственных стандартов ГОСТ Р с признанными международными стандартами: до 2000 г. это были стандарты API (Американский институт нефти), ANSI (Американский национальный институт стандартов), после 2000 г. – ISO (Международная организация по стандартизации). По линии Госстандарта через технические комитеты осуществлялся 100%-й мониторинг и экспертиза разработки и корректировки всех стандартов ISO (TC/67 – технический комитет/67).

Практически все стандарты ISO, относящиеся к нефтегазовой отрасли, имеют официальный перевод на русский язык и достаточно полно используются в проектах, при изготовлении оборудования и т. д. Международные стандарты отличаются очень высоким качеством и в случае соблюдения всех принятых формальных процедур могут быть приняты в качестве национальных стандартов.

Заключение

Итак, на сегодняшний день в сфере геоэкологических работ на море необходимо решить следующие основные задачи.

Создание и утверждение на государственном уровне инструкций по проведению геоэкологической съемки разных масштабов, по выполнению мониторинга окружающей морской среды, усовершенствование аппаратурно-методических комплексов в области расширения спектра параметров, изучаемых *in-situ*, повышения комплексности буйковых станций и подводных аппаратов, руководства по построению геоэкологических морских карт, развитие судового обеспечения, дальнейшее развитие прогнозирования в направлении создания многопараметровой и многовариантной системы, учитывающей во временном и пространственном плане очень большой набор факторов, обеспечивающих прогноз развития экологического состояния природно-техногенных и техногенных номинаций. Система может быть создана на кибернетической основе, позволяющей отвергнуть интуитивные экспертные оценки и решить вопрос в рамках научного направления структурирования сложных многопрофильных моделей.

За последние 15 лет издан ряд крупных монографий, посвященных морским геоэкологическим исследованиям. Эти монографии весьма подробно освещают историю, современное состояние и будущее развитие геоэкологических исследований на море, очень кратко описанные в данной статье.

Литература

1. Айбулатов Н.А. Экологическое эхо холодной войны в Российской Арктике. – М.: ГЕОС, 2000. – С. 307.
2. Андросова Н.К. Геолого-экологические исследования и картографирование (Геоэкологическое картирование): учеб. пос.. – М.: Изд-во РУДН, 2000. – 311 с.
3. Арктика на пороге третьего тысячелетия (ресурсный потенциал и проблемы экологии). – СПб.: Наука, 2000. – 247 с.
4. Волошин В.И. Загрязнение морской среды судами. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 272 с.
5. Ефремыкин И.М., Холмянский М.А. Геоэкологическое сопровождение освоения нефтегазовых месторождений арктического шельфа. – СПб.: Недра, 2008. – 316 с.
6. Загрязнение Арктики: доклад о состоянии окружающей среды Арктики // Программа арктического мониторинга и оценки / пер. с англ. – СПб.: Гидрометеоиздат, АМАП, 1998. – 188 с.
7. Иванов Г.И. Геоэкология Западно-арктического шельфа России: литолого-экогеохимические аспекты. – СПб.: Наука, 2006. – 303 с.
8. Информационный бюллетень № 9. Состояние геологической среды континентального шельфа Балтийского, Белого и Баренцева морей // Севморгео. 2007. – 57 с.
9. Матишов Г.Г. и др. Проблемы и методы экологического мониторинга морей и прибрежных зон Западной Арктики. – Апатиты: ММБИ, 2001. – 278 с.
10. Морехозяйственный комплекс России. – СПб.: РГО, 2005. – 273 с.
11. Опекунов А.Ю., Холмянский М.А., Куриленко В.В. Введение в экологию шельфа. – СПб.: Изд. СПбГУ, 2000. – 175 с.
12. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. – М.: ВНИРО, 2001. – 247 с.
13. Холмянский М.А., Алхименко А.П. Экологическая безопасность при освоении нефтегазовых месторождений на шельфе Карского моря. – СПб.: СПбГУ, 2004. – 160 с.
14. Холмянский М.А., Владимиров М.В., Снопина Е.М. Подводная объектология. – СПб.: Недра, 2016. – 310 с.
15. Spinal R. Environmental GIS and Data Analysis. ISBN: 0471 98564 3, 2002, 224 s.
16. Scott S. International Standards hand book, NY, 2002.
17. Understanding sustainable architecture. NY, 2003.