УДК 577.4:[550.4+552.1](268.46)

Г.И.ИВАНОВ, *главный научный сотрудник*, *gennady@sevmorgeo.com*
М.Ю.ШКАТОВ, *канд. техн. наук*, *генеральный директор*, *mshkatov@sevmorgeo.com*
Научно-производственное предприятие по морским геологоразведочным работам «*Севморгео*», *Санкт-Петербург*
М.А.ХОЛМЯНСКИЙ, *председатель*, *holm936@rambler.ru*
Некоммерческое партнерство «*Центр инновационных технологий*», *Санкт-Петербург*
Г.С.КАЗАНИН, *генеральный директор*, *info@mage.ru*
С.П.ПАВЛОВ, *главный геофизик*, *sergeyp@mage.ru*
ОАО «*Морская арктическая геологоразведочная экспедиция*», *Мурманск*

G.I.IVANOV, *principal scientist*, *gennady@sevmorgeo.com*,
M.Yu.SHKATOV, *PhD in eng. sc., general director*, *mshkatov@sevmorgeo.com*
State Company «*Sevmorgeo*», *Saint Petersburg*
M.A.KHOLMYANSKY, *president*, *holm936@rambler.ru*
Noncommercial Partnership «*Center of innovation technologies*», *Saint Petersburg*
G.S.KAZANIN, *general director*, *info@mage.ru*
S.P.PAVLOV, *chief geophysicist*, *sergeyp@mage.ru*
Joint Stock Company Marine Arctic Geological Expedition, *Murmansk*

ЭНДОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИДОННУЮ ЭКОСИСТЕМУ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изложены научно-теоретические представления о геоэкологических исследованиях на шельфе, предложена цель и поставлены задачи, направленные на оценку состояния именно придонной геоэкосистемы. Приведена классификация источников поступления загрязняющих веществ в морскую геоэкосистему. Подробно охарактеризована эндогенная группа источников, изложена методология исследований и предложена технология работ.

Ключевые слова: экогеохимическая седиментология, эндогенные источники, нефтяные углеводороды, придонная геоэкосистема, методология и технология работ.

ENDOGENETIC SOURCES OF OIL HYDROCARBONS INTO BOTTOM ECOSYSTEMS AND TECHNOLOGY ITS INVESTIGATION

In article scientifically – theoretical representations about geoecological researches on a shelf are stated, the purpose and tasks in view of works the conditions of a bottom geoecosystem directed on an estimation is offered. Classification of sources of receipt of polluting substances in a marine geoecosystem is resulted. The group of sources is in more details characterized endogenetic, the methodology of researches is stated and the technology of works is offered.

Key words: ecogeochemical sedimentology, endogenetic sources, bottom geoecosystem, oil hydrocarbons, methodology and technology of works.

Россия обладает крупнейшим в мире шельфом, большая часть которого приходится на арктическую зону. Накопленные сведения убедительно свидетельствуют о перспективах шельфа на полезные ископаемые (нефть, газ, россыпи золота, олова, алмазов, строительные материалы, кормовые ракушечные пески и др.). Это позволяет считать недра шельфа России крупнейшим резервом минерально-сырьевых ресурсов. Арктический шельф России обладает также крупнейшими ресурсами фито- и зообентоса, являющимися важным резервом пищевых и кормовых продуктов. Не менее важно значение Западно-Арктического шельфа (ЗАШ) России как нового объекта комплексного народно-хозяйственного освоения в промысловых, транспортных, строительных и других целях. В связи с этим очевидна актуальность проведения геоэкологических исследований шельфа [1].

Геоэкология, применительно к морским акваториям, рассматривается здесь как научное направление, изучающее взаимоотношение техногенеза и седиментогенеза [1-3]. Центральной задачей геоэкологии в данной трактовке является определение техногенного компонента и масштабов его воздействия в процессе осадкообразования и оценка его влияния на биоту, что требует системного изучения источников поступления, путей миграции, механизмов трансформации и накопления загрязняющих веществ (ЗВ). Основное внимание должно уделяться анализу концентраций ЗВ на различных уровнях организации вещества: фракционном, минеральном, элементном, фазовом. Все аспекты экогеохимии рассматриваются совместно. С другой стороны, нельзя забывать, что процессы поступления вещества, его миграция, трансформация и накопление теснейшим образом связаны с процессами современного седиментогенеза и вещественным составом донных осадков.

Вещества, определяющие экологический фон морских акваторий, можно разделить на две группы: природные элементы, которые являются неотъемлемой составляющей всех природных объектов, и элементы и соединения, не характерные для геологических объектов. К первой группе относятся тяжелые металлы (ТМ), нефтяные углеводороды (НУ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), фенолы, естественные радионуклиды. Их можно отнести к загрязняющим только в том случае, когда их накопление приводит к негативному воздействию на экосистему. Вторая группа объединяет хлорорганические соединения (полихлорбефенилы, пестициды, дибензодиоксины, полихлордибензодиоксины, полихлордибензофураны, полихлоркамфены и др.), искусственные радионуклиды и пр. [2].

Условно считая гидросферу пассивно аккумулирующей средой, можно выделить две группы источников поступления ЗВ: природных (экзогенных и эндогенных) и аквополитехногенных. Экзогенные источники исследованы достаточно подробно как для всего шельфа в целом, так и для арктической его части. Эндогенный изучен пока слабо. Аквополитехногенный источник 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) [3].

К настоящему моменту доля эндогенной составляющей в привносе вещества (в том числе ЗВ) в арктические моря изучена фрагментарно. В ходе геоэкологических исследований были выполнены специализированные работы для оценки вклада данного источника. В 1993 г. в ходе рейса на научно-исследовательском судне (НИС) «Геолог Ферсман» в Печорском море и районе Штокмановского газоконденсатного месторождения (ГКМ) в осадочном чехле были выявлены структуры, которые позволяют сделать предположение об эндогенном подтоке вещества (рис.1). Последующие детальные органогеохимические исследования показали аномальный характер распределения н-алканов (рис.2), указывающий на диффузию НУ из нижележащих толщ [10]. Аналогичные структуры позднее были обнаружены Арктической морской инженерно-геологической экспедицией (1995) и НИС «Академик Сергей Вавилов» (1998). Результаты бурения БС «Бавенит» показывают наличие потока НУ и дают возможность предположить, что это результат струйной

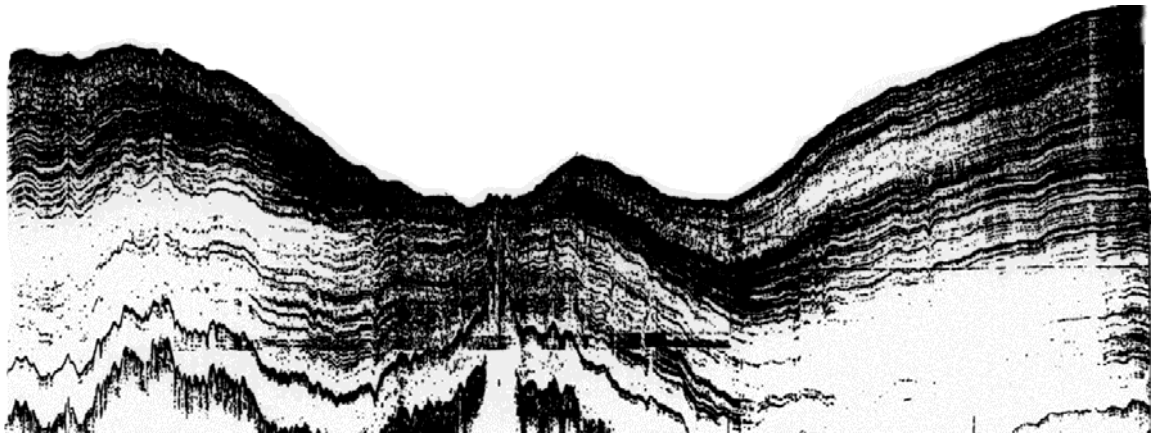


Рис.1. Эхограмма высокочастотного геоакустического профилирования (5,6 кГц) в Печорском море, позволяющая предположить подток вещества

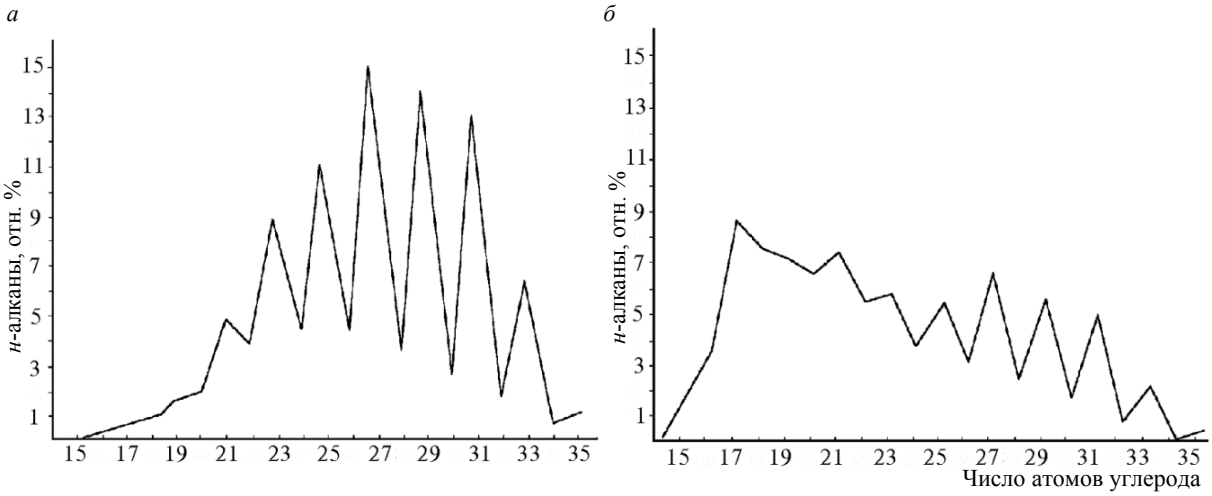


Рис.2. Типичное (*а*) и аномальное (*б*) распределение *н*-алканов в донных осадках Печорского моря [10]

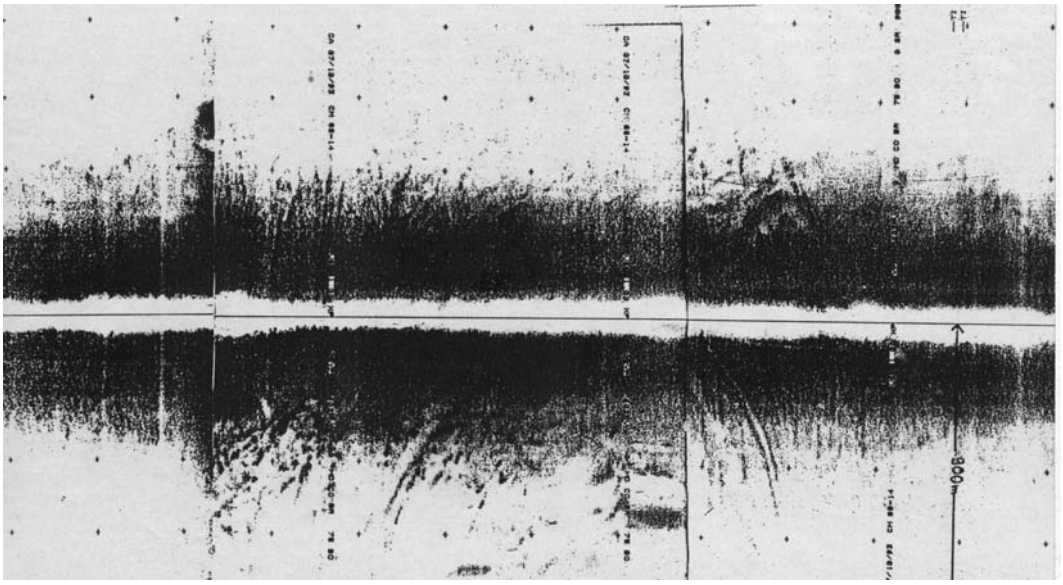


Рис.3. Сонограмма гидролокации бокового обзора на Штокмановском ГКМ с ясно выраженными «воронками проседания» на донной поверхности

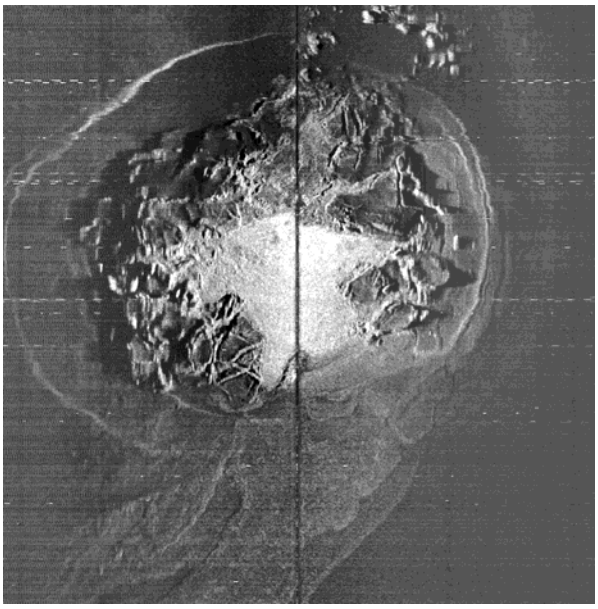


Рис.4. Выходы газогидратов на дне Норвежского моря (Хаокон Мосби, Vogt et al., 1997)

дегазации по зонам субвертикальной деструкции [8]. Возможно, активизация геологической среды в этом регионе Печорского моря может быть обусловлена ядерными взрывами на Новой Земле. Анализ сейсмоакустического профилирования на Русановском нефтегазовом месторождении в Карском море показал наличие многочисленных зон с аномальной структурой сейсмозаписи, приуроченных к субвертикальным зонам деструкции в покрышках нефтегазовых залежей [7].

Источником, который относительно придонного горизонта можно рассматривать как «эндогенный», являются потоки метана (разрушение газогидратов), а также просачивание нефтяных углеводородов из материнских пород. На Штокмановском ГКМ были выявлены холмы изометричной формы и ясно выраженные на донной поверхности, что можно рассматривать как «воронки проседания», которые часто отмечают в Норвежском море (рис.3, 4). Органогеохимические исследования, выполненные по разрезу скважины на Штокмановском ГКМ, показали, что мигрирующие газы являются своего рода эллюентом, экстрагирующим из пород различные элементы, в особенности ПАУ [9].

На НИС «Профессор Логачев» был обследован уникальный объект – выходы на поверхность дна газогидратов (рис.4) [19]. Площадь выхода составила около 1 км^2 [20]. Детальные битуминологические и изотопные исследования позволили подтвердить эндогенный характер первичного глубинного флюида типа «нефтяных вод» [5]. Исследования рифтовой долины хребта Книповича выявили положительные температурные аномалии придонного горизонта воды [17]. Кроме того, наличие свежих покровных базальтов и их обохренных разновидностей подтверждает современную активность рифта [15, 16] и, как следствие, выход в придонный горизонт значительного количества ТМ и радиоактивных элементов [18]. Таким образом, в настоящее время установлено наличие эндогенного подтока в придонную морскую среду НУ, ПАУ и ТМ. Полученные данные не позволяют провести количественную оценку, но масштабы этих процессов позволяют предположить значительные объемы поступления вещества.

Исходя из изложенных выше теоретических представлений об источниках поступления ЗВ, путях их миграции, трансформации и накопления, была разработана методология и методика проведения геоэкологических исследований шельфа [4]. Методология базировалась на принципах системности и комплексности. Последняя заключается в изучении всех основных звеньев экосистемы. Дискретность исследований определялась масштабом работ (трансрегиональный, региональный, локальный и точечный) и уровнем организации исследуемого фрагмента экосистемы. Для донных осадков выделялись вещественно-генетический, гранулометрический и минеральный уровни организации вещества, для химических элементов – взвешенная и растворенные его формы. Методика работ включала полевые наблюдения, лабораторные исследования и анализ, оценку и картирование состояния природной среды шельфовых областей.

Комплекс методов полевых наблюдений обеспечивает изучение основных звеньев экосистемы: аэрозолей, потоков вещест-

ва, взвесей, водной толщи, донных осадков и поровых вод, микробиологических и бентических сообществ в единых временных рамках. Учитывая разные масштабы и динамику сезонной и межгодовой изменчивости составных элементов экосистемы шельфа, временной фактор следует считать основополагающим. Для изучения водной взвеси (определения $C_{орг}$, N и P) выполнялась фильтрация через ядерные лавсановые фильтры (ТМ и РЗЭ) и через стекловолокнистые фильтры GF/F.

Основным методом изучения потоков осадочного вещества является сбор быстро осаждающихся частиц с помощью седиментационных ловушек [17]. Методика изучения потоков осадочного вещества с помощью малых седиментационных ловушек была разработана и апробирована для арктических окраинных морей Институтом океанологии РАН [6]. Исследование водной толщи, одного из важнейших фрагментов экосистемы арктического шельфа, включает гидрофизическое зондирование, гидрохимический анализ и консервацию отобранных проб воды.

Гидрофизические наблюдения проводились с помощью гидрофизического комплекса «NEIL BROWN». По результатам зондирования оперативно выбираются интервалы для гидрохимического опробования. Гидрохимические пробы отбирались в пластиковые батометры типа «Нискин» (объем 3,5 л) и батометр ИОАН (объем 7 л). Как правило, опробовались следующие горизонты: поверхностный слой, верхняя часть слоя скачка температуры, «атлантические воды», придонный слой (в 4-8 м от дна). Поднятые пробы воды подвергались гидрохимическим анализам (определение основных гидрологических параметров, экстракция ТМ, экстракцию и концентрирование ЗВ и биотестирование).

Основными методами исследования донных осадков при геоэкологических исследованиях являются геоакустическое и гидроакустическое профилирование и пробоотбор. Для определения мощности верхнего слоя донных осадков (голоценовых и частично более древних осадков), рельефа и микро- и мезорельефа морского дна проводились гидро- и геоакустические исследования. Геоакустическое набортное профилирование сопровождает все производимые работы на профилях между станциями и на станциях. Благодаря высоким техническим возможностям профилографа М-140 удалось получить разрез осадочной толщи мощностью до 80 м с высоким качеством в отображении тонкослоистых разрезов и различных геологических форм толщи осадков с разрешающей способностью до 20-30 см.

Для исследования микро- и мезоформ рельефа морского дна использовался БПА М-163, а для изучения крупных неровностей дна был задействован гидролокатор бокового обзора М-164, работающий на частоте 30 кГц. С целью детализации форм донной поверхности были выполнены два профиля методом гидролокации бокового обзора (ГБО) М-167 на частоте 100 кГц. Гидроакустические работы методом ГБО выполнялись подводным аппаратом М-163 на глубинах от 50 до 650 м. Важным элементом геоэкологических исследований на точечных объектах является поиск и обнаружение на дне техногенных объектов, являющихся источниками ЗВ (затопленные плавсредства с радиоактивными отходами). Поиск производился с помощью буксируемого подводного аппарата М-163 с частотой излучения 100 кГц.

Лабораторные исследования включали в себя анализ содержания ЗВ во взвеси, воде, донных осадках и биоте, а также литолого-минералогическое изучение донных осадков. Полученные в рейсе концентраты проб воды доставлялись в стационарную лабораторию, где и выполнялся анализ концентраций всех основных групп ЗВ в соответствии с методическими указаниями, разработанными в РНЦ «Мониторинг Арктики» [13]. Гранулометрический, минералого-петрографический, минералогический, химический и спектральный анализы; анализ глинистых минералов и ПАУ проводился в различных стационарных лабораториях.

Другим не менее важным элементом картирования эндогенного подтока вещества является электрохимическое профилиро-

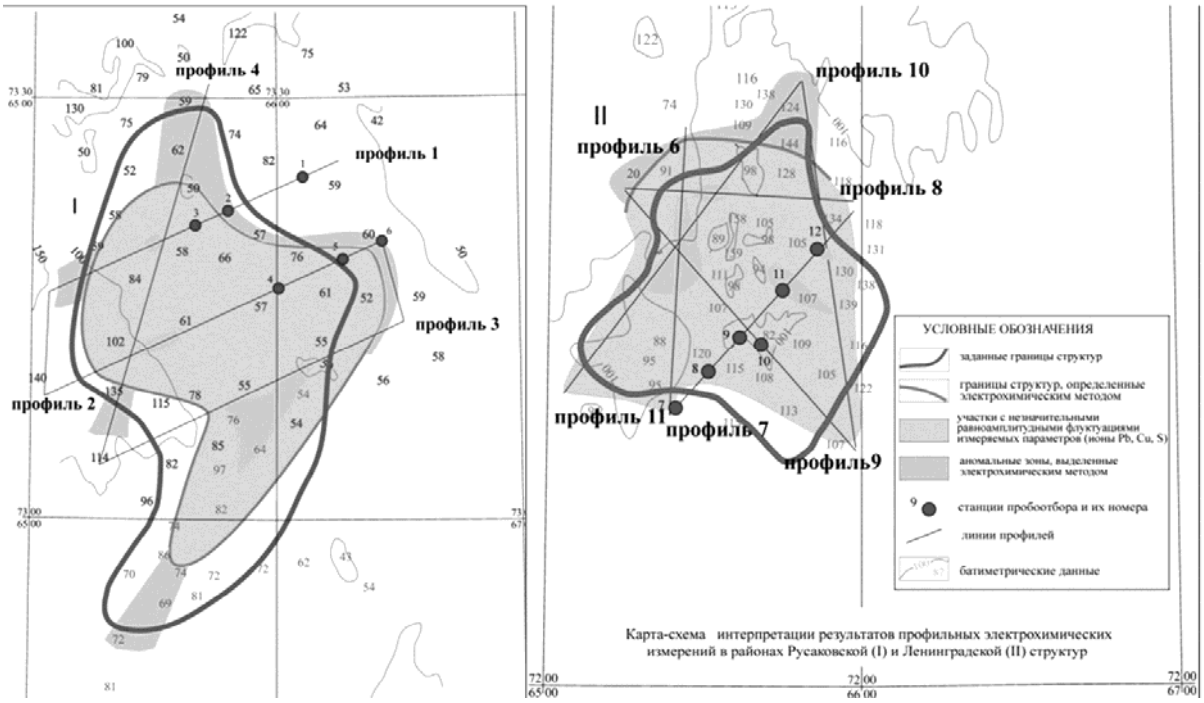


Рис.5. Результаты оконтуривания залежей в районе Русановского и Ленинградского газоконденсатных месторождений с помощью электрохимических работ, выполненных в 2010 г.

вание. На основе теоретических представлений [11, 12], обосновано применение электрохимической модификации электроразведки для поисков морских углеводородных месторождений и уточнения морфологии залежи. В НП ЦИТ, была разработана специализированная аппаратура ИОЛ УВ, прошедшая метрологические испытания. Технология позволяет четко фиксировать дыхание месторождений и даже разделять типы залежей на газовую, газогидратную, газоконденсатную и нефтяную. С помощью этой аппаратуры в 2001-2010 гг. выполнены электрохимические работы на ряде месторождений Баренцева и Карского морей.

Проведенные исследования позволили уточнить контуры залежей (рис.5).

Сформулированные авторами научно-теоретические основы геоэкологических исследований арктического шельфа и созданная на их основе методология и методика исследований позволили разработать макет экспертной системы, состоящий из пяти основных блоков [1]:

- научно-теоретические основы;
- методы получения проб;
- методы лабораторных исследований;
- способы расчета и картографирования;
- методы оценки природной среды на основе разработанных параметров и критериев оценки.

Синтез информации реализуется на базе ГИС «Геоэкология арктического шельфа», разработанной автором на основе пакета программ ARCGIS 9.2.

В заключение хочется подчеркнуть, что проведенные научные исследования показали важность выделения данного источника поступления загрязняющих веществ в придонную геоэкосистему. Пока сделаны лишь качественные оценки масштабов развития на морском дне эндогенной группы источников, связанных с миграцией углеводородов. Предложенная методология и технология работ позволяют выполнить широкомасштабные исследования, в которых в настоящее время, в первую очередь, нуждается Баренцево море как основной объект предполагаемого освоения углеводородных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов Г.И.* Геоэкология Западно-Арктического шельфа России: литолого-экогеохимические аспекты. СПб, 2006. 303 с.

2. *Иванов Г.И.* Методология и результаты экогеохимических исследований Баренцева моря. СПб, 2002. 155 с.

3. *Иванов Г.И.* Геоэкология арктического шельфа: методология / Г.И.Иванов, И.С.Грамберг, Т.В.Пономаренко // Разведка и охрана недр. 1996. № 12. С.31-39.

4. *Иванов Г.И.* Комплексные геоэкологические исследования арктического шельфа России: методика и методология / Г.И.Иванов, В.П.Шевченко, А.А.Свертилов // Навигация и океанография. 2002. № 14. С.177-192.

5. *Леин А.Ю.* Геохимические особенности газоносных (CH4) отложений подводного грязевого вулкана в Норвежском море / А.Ю.Леин, П.Вогт, К.Крейн, А.В.Егоров, Н.В.Пименов, А.С.Савичев, Г.Д.Гинсбург, Г.И.Иванов, Г.А.Черкашев, М.В.Иванов // Геохимия. 1998. № 3. С.230-249.

6. *Лисицын А.П.* Потоки осадочного вещества в Карском море и в эстуариях Оби и Енисея / А.П.Лисицын, В.П.Шевченко, М.Е.Виноградов и др. // Океанология. 1994. Т.34. № 5. С.748-758.

7. *Мельников В.П.* Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей / В.П.Мельников, В.И.Спесивцев. Новосибирск, 1999. 197 с.

8. *Мельников В.П.* О струйной дегазации углеводородов как источнике новообразований льда на шельфе Печорского моря / В.П.Мельников, В.И.Спесивцев, В.Н.Куликов // Консервация и трансформация вещества и энергии в криосфере Земли. Пущино,1997. С.259-269.

9. *Петрова В.И.* Геохимия полициклических ароматических углеводородов в донных осадках Мирового океана: Автореф. дис. … д-ра геол.-минерал. наук / ВНИИОкеангеология. СПб, 1999. 48 с.

10. *Петрова В.И.* Органо-геохимические аспекты экологии Баренцева моря / *В.И.Петрова*, Г.И.Иванов // Освоение шельфа арктических морей России. СПб, 1995. С.371-372.

11. *Путиков О.Ф.* Новая технология геоэлектрохимических поисков нефтегазовых месторождений на шельфе / О.Ф.Путиков, М.А.Холмянский, С.А.Вешев, М.В.Владимиров, Н.А.Касьянкова // Российский геофизический журнал. 2005. № 37-38. С.85-90.

12. *Путиков О.Ф.* Поиски нефтегазовых месторождений на шельфе геоэлектрохимическими методами изучения водной толщи / О.Ф.Путиков, М.А.Холмянский, Н.А.Касьянкова // Доклады Академии наук. 2008. Т.423. С.530-532.

13. Руководство по химическому анализу / Под. ред. С.Г.Орадовского. Л., 1993. 183 с.

14. *Шевченко В.П.* Состав морского аэрозоля в западной части Северного Ледовитого океана / В.П.Шевченко, А.А.Виноградова, Г.И.Иванов, В.В.Серова // Известия Академии наук. Физика атмосферы и океана. 1998. Т.34. № 5. С.664-668.

15. *Cherkashev G.A.*, *Poroshina I.*, *Shilov V.*, *Crane K.*, *Herrington S.* Distribution of hydrothermal phenomena on the Knipovich ridge // Abstracts of AGU Spring Meeting. 1997. 188 p.

16. *Crane K.*, *Doss H.*, *Vogt P.*, *Sundvor E.*, *Cherkashov G.*, *Poroshina I.*, *Joseph D.* The role of the Spitsbergen shear zone in determining morphology, sedmentation and evolution of the Knipovich Ridge // Marine geophysical researches. Vol.22. P.153-205.

17. *Crane K.*, *Herrington S.*, *Egorov A.* High heat flow and warm water-methane enriched plumes above the Haakon Mosby mud volcano // AGU Spring Meeting. 1997. 187 p.

18. *Ivanov G.I.*, *Andrianova L.F.*, *Krylov A.A.*, *Savvichev A.S.* Hydrochemical Investigation of pore Water on the Haakon Mosby Mud Volcano and Knipovich Ridge // AGU Spring Meeting. 1997. 188 p.

19. *Vogt P.R.*, *Cherkashev G.*, *Ginsburg G.*, *Ivanov G.*, *Milkov A.*, *Crane K.*, *Lein A.*, *Sundvor E.*, *Pimenov N.*, *Egorov A.* Haakon Mosby Mud Volcano Provides Unusual Example of Venting. 1997. Vol.78. N 48. P.549-557.

20. *Vogt P.R.*, *Gardner J.*, *Crane K.* The Notwegian-Barents-Svalbard (NBS) continental margin: Introducing a natural laboratory of mass wasting, hydrates, and ascent of sediment< pore water, and methane // Geo-Marine Letters, 1999. Vol.19. N 1-2. P.2-22.

REFERENCES

1. *Ivanov G.I.* Geoecology of Western Arctic Shelf of Russia: Lithological and Ecogeochemical Aspects. Saint Petersburg, 2006. 303 p.

2. *Ivanov G.I.* Methodology and results of ecogeochemical investigation of Barents sea. Saint Petersburg, 2002, 153 p.

3. *Ivanov G.I.*, *Gramberg I.S.*, *Ponomarenko T.V.* Geoecology of Arctic shelf: methodology // Exploration and protection of Earth's interiors. 1996. N 12. C. 31-39.

4. *Ivanov G.I.*, *Shevchenko V.P.*, *Svertilov A.A.* Multidisciplinary geoecological investigation Arctic She3lf of Russia: Methods and Methodology // Navigation & Oceanography. 2002. N 14. P.177-192.

5. *Lein F.Yu.*, *Vogt P.*, *Kran K.* et al. Geochemical features gas-bearing (CH_4) sediments of an underwater mud volcano in Norwegian sea // Geokhimiya, 1998. N 3. P.230-249.

6. *Lisitsin A.P.*, *Shevchenko V.P.*, *Vinogradov M.E.* et al. Particle fluxes in the Kara Sea and Ob and Enisej bays // Oceanology. 1994. Vol.34. N 5. P.748-758.

7. *Melnikov V.P.*, *Spesivtsev V.I.* Engineering-geological and geo criological conditions of a shelf of Barents and Kara Seas. Novosibirsk. 1995. 197 p.

8. *Melnikov V.P.*, *Spesivtsev V.I.*, *Kulikov V.N.* About jet decontamination of hydrocarbons as a source of new growths of ice on a shelf of the Pechora sea // Preservation and transformation of substance and energy in криосфере the earth. Puschshino. 1997. P.259-269.

9. *Petrova V.I.* Geochemistry polyaromatic hydrocarbons in bottom sediments of World Ocean // Thesis for a Doctor's degree (Geology and Mineralogy) / VNIIOkeangeologia. Saint Petersburg, 1999. 48 p.

10. *Petrova V.I.*, *Ivanov G.I.* Organic-geochemical aspects of Barents sea ecology // Exploration arctic Seas of Russia. Saint Petersburg, 1995. P.371-372.

11. *Putikov O.F.*, *Kholmyansky M.A.*, *Veshev S.A.*, *Vladimirov M.V.*, *Kasyanova N.A.* New technology of geoelectrical-chemical prospecting oil and gas deposits on the shelf // Russian geophysical Journal. 2005. N 37-38. P.85-90.

12. *Putikov O.F.*, *Kholmyansky M.A.*, *Kasyanova N.A.* Prospecting oil and gas deposits on the shelf by geoelectrical-chemical methods investigation of water // Rep. of the Russian Academy of Sciences. 2008. Vol.423. P.530-532.

13. Instruction for chemical analyses / Ed. C.G.Oradovscky. Leningrad, 1993. 183 p.

14. *Shevchenko V.P.*, *Vinogradova A.A.*, *Ivanov G.I.*, *Serova V.V.* Composition of marine aerosol in the western part of the Arctic Ocean // Rep. of the Russian Academy of Sciences. Atmospheric and Oceanic Physics. 1998. Vol.34. N 5. P.664-668

15. *Cherkashev G.A.*, *Poroshina I.*, *Shilov V.*, *Crane K.*, *Herrington S.* Distribution of hydrothermal phenomena on the Knipovich ridge // Abstracts of AGU Spring Meeting. 1997. 188 p.

16. *Crane K.*, *Doss H.*, *Vogt P.*, *Sundvor E.*, *Cherkashov G.*, *Poroshina I.*, *Joseph D.* The role of the Spitsbergen shear zone in determining morphology, sedmentation and evolution of the Knipovich Ridge // Marine geophysical researches. Vol.22. P.153-205.

17. *Crane K.*, *Herrington S.*, *Egorov A.* High heat flow and warm water-methane enriched plumes above the Haakon Mosby mud volcano // AGU Spring Meeting. 1997. 187 p.

18. *Ivanov G.I.*, *Andrianova L.F.*, *Krylov A.A.*, *Savvichev A.S.* Hydrochemical Investigation of pore Water on the Haakon Mosby Mud Volcano and Knipovich Ridge // AGU Spring Meeting. 1997. 188 p.

19. *Vogt P.R.*, *Cherkashev G.*, *Ginsburg G.*, *Ivanov G.*, *Milkov A.*, *Crane K.*, *Lein A.*, *Sundvor E.*, *Pimenov N.*, *Egorov A.* Haakon Mosby Mud Volcano Provides Unusual Example of Venting. 1997. Vol.78. N 48. P.549-557.

20. *Vogt P.R.*, *Gardner J.*, *Crane K.* The Notwegian-Barents-Svalbard (NBS) continental margin: Introducing a natural laboratory of mass wasting, hydrates, and ascent of sediment< pore water, and methane // Geo-Marine Letters, 1999. Vol.19. N 1-2. P.2-22.