

УДК 550.837.9

Электрохимическое профилирование — эффективный и экологически безопасный метод поиска и разведки месторождений углеводородов в арктических морях

Е. М. Снопина¹

ООО НП «Центр инновационных технологий», Санкт-Петербург

В. М. Анохин², доктор географических наук

ФГБУН Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург

М. А. Холмянский³, доктор геолого-минералогических наук

ФГБУ ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга, Санкт-Петербург

Разработан и внедрен в практику поиска углеводородных месторождений шельфа арктических морей России электрохимический метод, основанный на использовании набора ионоселективных электродов для выявления в морской воде аномалий комплекса тяжелых металлов — индикаторов, залегающих в осадочном чехле месторождений нефти, газа и газоконденсата. В результате комплексных работ на Приамальском шельфе Карского моря электрохимическое профилирование проводилось совместно с сейсмическими, сейсмоакустическими наблюдениями, геологическим и гидрофизическим пробоотбором с последующими аналитическими определениями. Выявлены электрохимические аномалии, которые в результате интерпретации всех полученных материалов могут быть сопоставлены с выявленными перспективными на углеводородные месторождения площадями.

Ключевые слова: углеводородные месторождения, электрохимический метод, ионоселективные электроды, профилирование, Карское море.

Введение

Поскольку основным методом региональных геофизических работ, применяемым для выявления и изучения перспективных на нефть и газ структур на шельфе, является сейсморазведка, далеко не всегда имеется возможность определить морфологию перспективных залежей в пределах месторождений и дать заключение о типе углеводородного сырья. В связи с этим целесообразно привлекать дополнительные геофизические методы, позволяющие в той или иной мере дать ответ на эти вопросы. К числу таких методов относится электрохимическое

профилирование, выполняемое в движении судна и режиме непрерывной записи информации.

В течение многих лет ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга совместно с Мурманской арктической геолого-разведочной экспедицией (МАГЭ) и Центром инновационных технологий (ЦИТ), Санкт-Петербург, вводит в практику региональных и поисково-разведочных работ на морские углеводородные месторождения электрохимическую модификацию электроразведки, основанную на теории возникновения струйных ореолов рассеяния над источниками поступления микроэлементов тяжелых металлов в вышележащую среду. Перспективность таких работ обоснована теоретически [4; 5]. Электрохимические наблюдения в движении судна по профилям обладают преимуществами по сравнению с модификациями метода сейсморазведки. К их

¹ e-mail: snopova-katya@mail.ru.

² e-mail: vladanokhin@yandex.ru.

³ e-mail: holm936@rambler.ru.

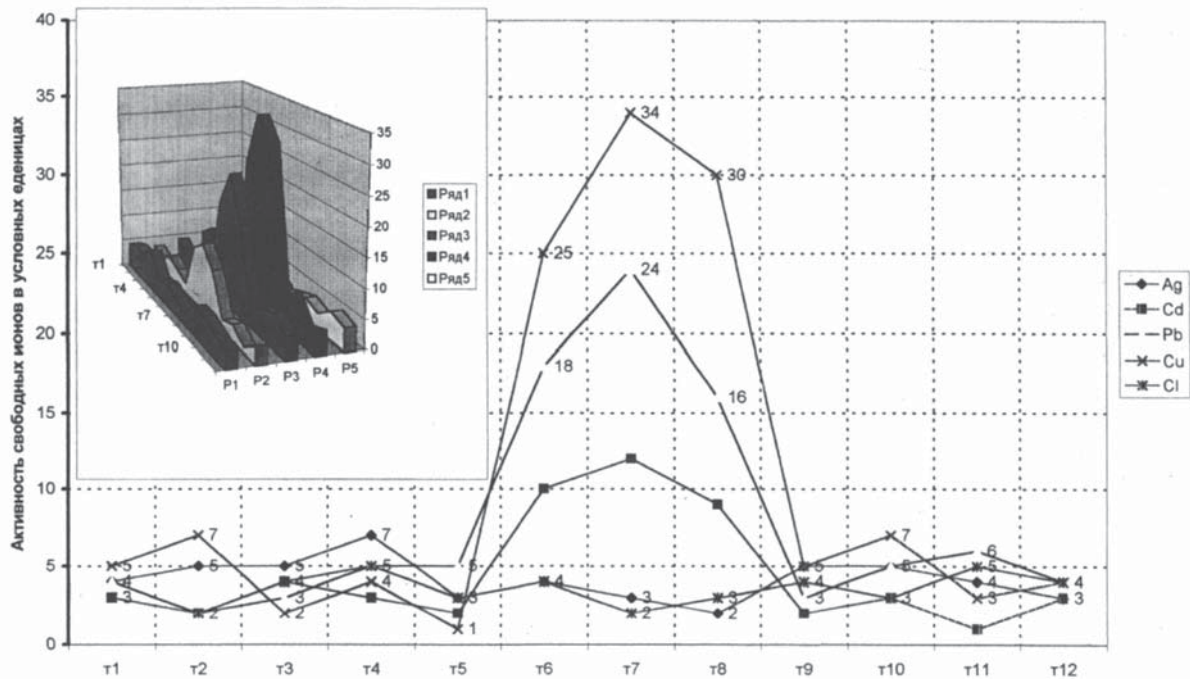


Рис. 1. Электрохимические аномалии над Штокмановским газоконденсатным месторождением

числу относятся: техническая простота выполнения измерений, полное отсутствие воздействия на окружающую природную среду, сравнительно невысокая стоимость, простота интерпретации получаемых материалов, пространственная и временная совместимость с другими геофизическими наблюдениями, выполняемыми на том же экспедиционном судне. В условиях суши выполнен достаточно большой объем электрохимических работ такого направления. Полученные результаты позволили среди выявленных сейсморазведкой структур определить нефтегазоносные и «пустые», уточнить генезис, морфологию и тип залежей, что экономит затраты и время на проведение геологической части разведочных работ. Разрешающая способность данных геофизических исследований позволяет выявлять месторождения, залегающие на глубине до трех километров.

Важнейший вопрос морских электрохимических исследований — определение, какие области экранов, перекрывающих нефтяные или газовые залежи, наиболее проницаемы для потока флюидов, несущих микроэлементы тяжелых металлов.

Нам удалось убедительно доказать на основании буровых, инженерно-геологических, гравиметрических и сейсмических работ, выполненных в Балтийском и арктических морях, что в отложениях, перекрывающих газовые и газоконденсатные месторождения, основные трещиноватые ослабленные зоны находятся над центральными частями залежей. Нефтяные месторождения характеризуются приуроченностью таких зон к периферийным частям месторождений, что, в свою очередь, определяет

местоположение электрохимических аномалий. Применяемая нами технология позволяет разделять залежи на газовые, газоконденсатные и нефтяные.

Анализ ранее выполненных электрохимических исследований

Высокая эффективность электрохимического профилирования при поисках и изучении морфологии и генезиса углеводородных месторождений арктического шельфа доказана в период работ ВНИИОкеангеология и ЦИТ 2004—2013 гг. Работы были проведены на Штокмановском, Приразломном, Медыньском, Русановском и Ленинградском месторождениях, Приямальском шельфе и показали эффективность данной модификации электроразведки. В настоящее время ВНИИОкеангеология, МАГЭ и ЦИТ совместно получили патент № 2014120761/28(033328) на «Способ электрохимических поисков морских нефтегазовых месторождений»; патентообладатель — НП «ЦИТ» [12].

Результаты работ, выполненных авторами настоящей статьи на ряде углеводородных месторождений Баренцево-Карского региона, подтверждают действенность метода и целесообразность его применения в поисково-разведочных работах.

Первый положительный опыт использования электрохимического метода был получен нами в результате работ на Штокмановском газоконденсатном месторождении. Оно расположено в центральной части Баренцева моря. Открыто в 1988 г. Глубины моря в районе месторождения колеблются от 279 до 380 м. На месторождении пробурено семь

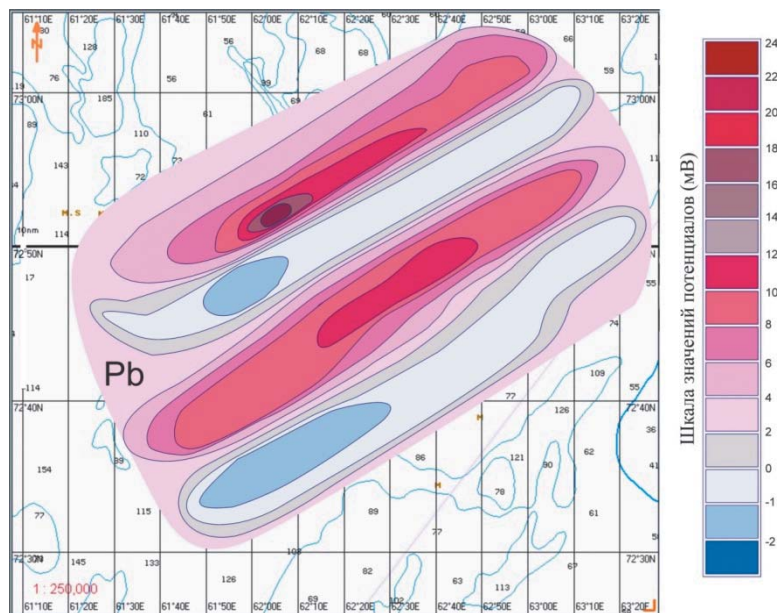


Рис. 2. Изолинии приращений потенциала ионоселективных электродов Pb на полигоне 1 (Воронинская структура)

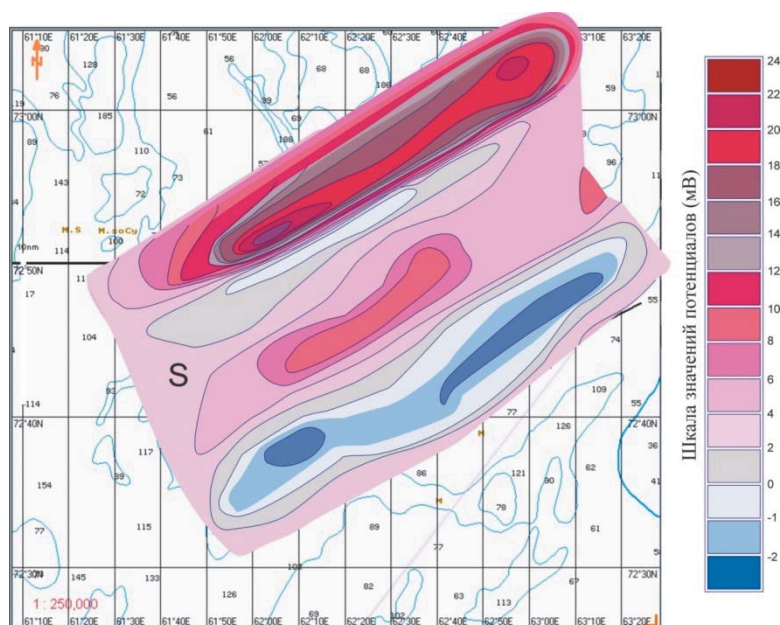


Рис. 3. Изолинии приращений потенциала ионоселективных электродов S на полигоне 1 (Воронинская структура)

скважин. В терригенных отложениях средней юры выявлено три газоконденсатных залежи.

На рис. 1 можно видеть хорошо выраженные электрохимические аномалии над Штокмановским месторождением — по ионам Cu, Pb и Cd.

Глубокозалегающим месторождениям в разрезе шельфа часто сопутствуют скопления газа в придонных слоях морских отложений. Скопления газа в этих слоях четко выделяются на сейсмоакустических записях.

Акустические и электрохимические измерения в основном выполнялись одновременно. Заглубление электродов приемной линии при

проведении электрохимического профилирования составляло 5—20 м.

При сопоставлении электрохимических и сейсмоакустических данных в районах распространения газонасыщенных осадков к выявленным закономерностям следует отнести устойчивую зависимость уровня потенциалов ионоселективных электродов (ИСЭ) от степени их удаленности от донной поверхности и четкую корреляцию сейсмоакустических и электрохимических аномальных зон. Гидроакустические аномалии выражаются на эхограммах локальными затемнениями, вызванными рассеянием пузырьками газа.

На основании результатов опытно-производственных работ последних лет был признан целесообразным переход к производственным электрохимическим работам на арктическом шельфе (при одновременном проведении на профилях сейсмических и электрохимических наблюдений).

Обработка данных включала следующие операции. Первичные данные измерений представляют собой текстовые файлы, содержащие порядковый номер измерения, время измерения, значения потенциалов ИСЭ (ионы Pb, Cu, S) и навигационные данные. Впоследствии текстовые данные сводились в таблицы, и строились графики с использованием программы MS Excel. Для исключения флуктуаций измеренных значений, относимых к помехам, при построении графиков применялся медианный фильтр с окном, равным 20 выборкам.

На первом этапе обработки в полученных графиках производился учет изменений, вносимых в измерения за счет ухода собственных потенциалов электродов. С этой целью по каждому полигону отдельно и по каждому элементу с учетом измеренных абсолютных значений производилось соединение конца и начала графиков измеренных значений потенциалов на соседних профилях, т. е. соединялись конец

первого графика и начало второго и т. д. до конечного на полигоне. Несмотря на то что расстояние между профилями на опытных полигонах составляло 3–4 км и регистрация на переходах между ними не проводилась, совмещение графиков достаточно хорошее, т. е. значения потенциалов ИСЭ (Cu, Pb и S) на конце предыдущего и начале следующего одноименного графиков практически совпадают, что подтверждает достоверность проведенных измерений. Для каждого графика за основу при построении принимались не абсолютные значения потенциала, а их приращения (в положительную и отрицательную сторону) относительно выбранной нулевой линии. Полученные приращения использовались при построении карт изолиний по каждому элементу на каждом опытном участке.

При сопоставлении графиков, полученных при прохождении в основном направлении, с графиками по контрольным (секущим) профилям на участке 2 (профили 12, 13, 14) вариации значений изменения потенциала в точках пересечений относительно выбранного уровня (условного нуля) составляют: для Pb ± 4 мВ, для S ± 5 мВ (рис. 2–5). Это дает основания считать интервал изменения потенциала в пределах 4 мВ для Pb и 5 мВ для S флуктуациями, а к аномальным значениям относить величины потенциала более +4 для Pb и +5 мВ для S относительно нулевой линии.

Полученные в результате электрохимических измерений с помощью ИСЭ Pb и S аномальные зоны на полигонах 1 и 2 отображены на рис. 6 и 7.

Если на полигоне 1 (Воронинская структура) контуры аномальных зон по Pb и S практически совпадают по месту и направлению, то на полигоне 2 они более локализованы и разрозненны, поэтому, несмотря на зоны перекрытия, определение точного положения источников аномалий затруднительно. Наиболее значимые по размерам и интенсивности

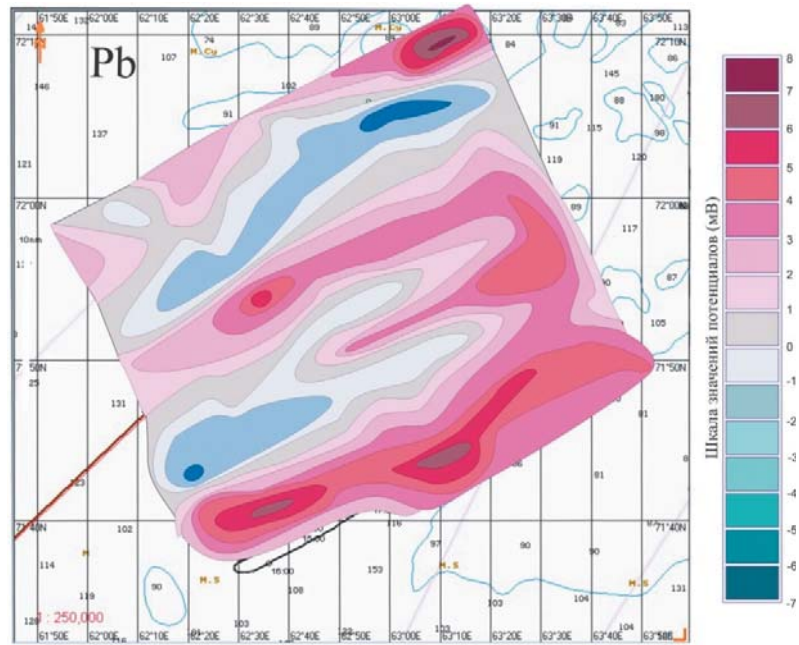


Рис. 4. Изолинии приращений потенциала ионселективного электрода Pb и S на полигоне 2 (Обручевская структура)

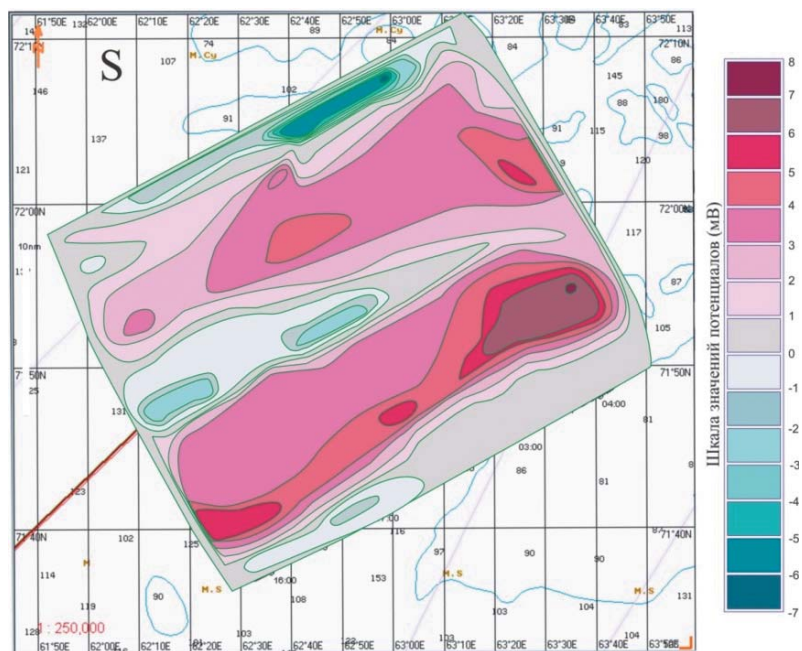


Рис. 5. Изолинии приращений потенциала ионселективного электрода S на полигоне 2 (Обручевская структура)

аномальные зоны на полигоне 2 тяготеют к южному и восточному его краям и опосредованно могут оконтуривать юго-восточную часть Обручевской структуры. Более точное положение ее границ можно задать при наличии дополнительных сведений, полученных другими геофизическими методами.

Выделенные аномальные зоны на полигоне 2 достаточно уверенно коррелируются с данными пробообора. Так, повышенные концентрации Pb и Ni в районе станций K-11-21 и K-11-22 соответствуют

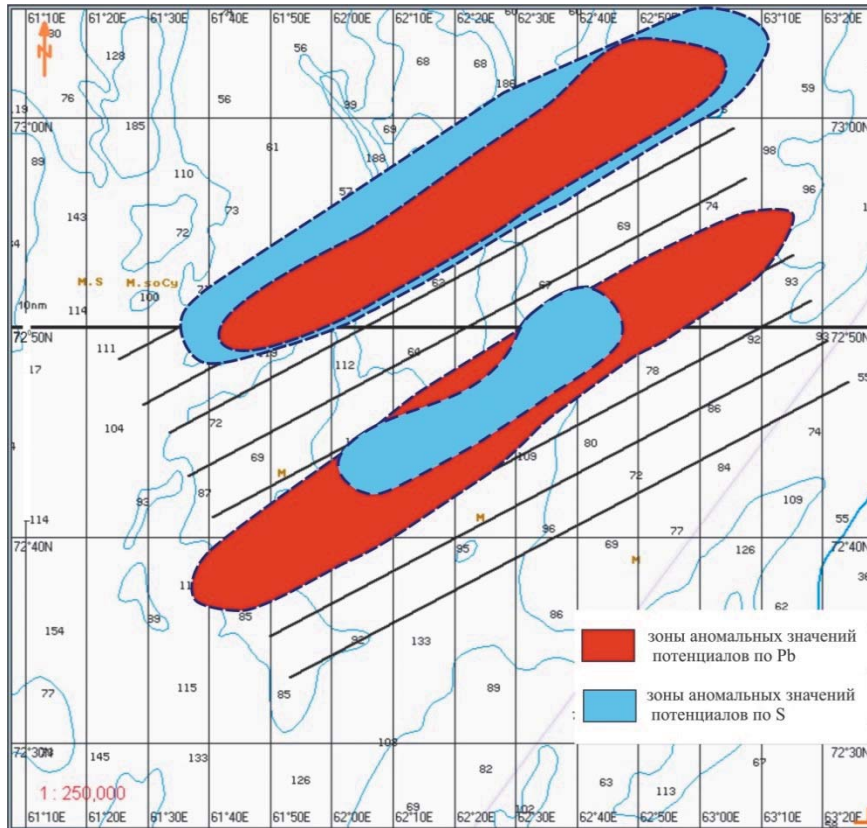


Рис. 6. Выделенные аномальные зоны на полигоне 1 (Воронинская структура)

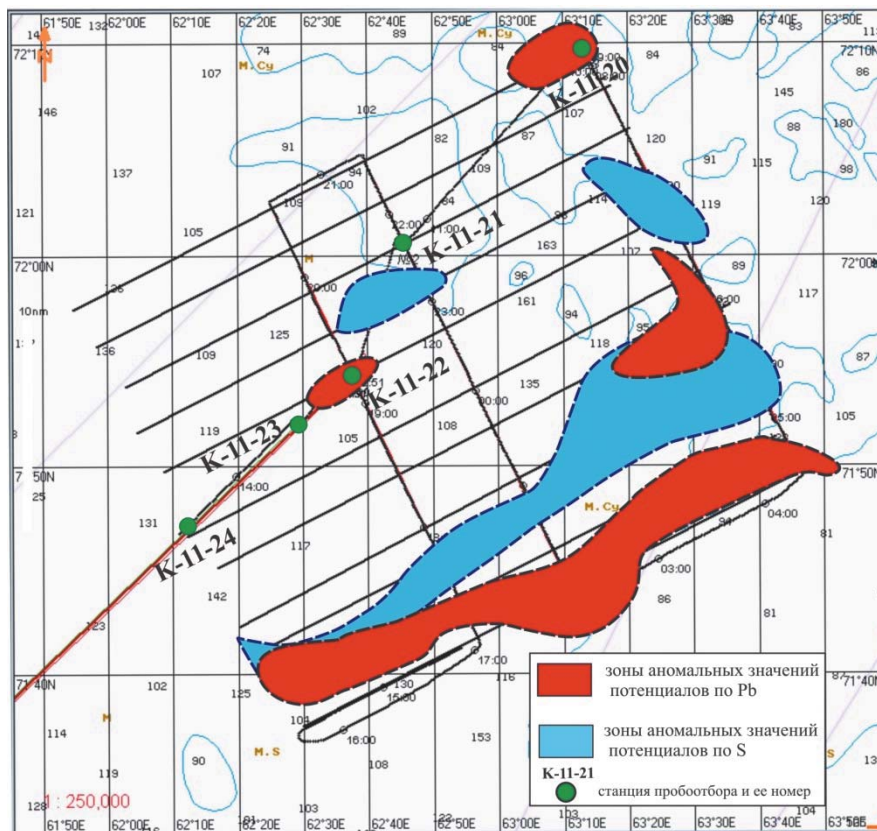


Рис. 7. Выделенные аномальные зоны на полигоне 2 (Обручевская структура)

аномальным значениям потенциалов ИСЭ как Pb, так и S, а повышенные концентрации Pb в пробе придонной воды на станции K-11-20 приходятся на аномальную зону, выделяемую по измеренным потенциалам ИСЭ Pb. В свою очередь, станции пробоотбора с фоновыми значениями параметров в пробах (K-11-23 и K-11-24) соответствуют фоновым значениям потенциалов ИСЭ.

Методика и аппаратные средства

Восходящие флюидные потоки формируют в донных отложениях комплексные геохимические аномалии — зоны локальных изменений информативных геохимических показателей. Так, над залежами углеводородов они сформированы высокими надфоновыми концентрациями углеводородных газов, в том числе метана с повышенным содержанием тяжелого изотопа углерода, полями повышенной численности углеводород-окисляющих микроорганизмов, в ряде случаев повышенным содержанием масляной фракции в составе битумоидов, высоким содержанием сульфидов железа и меди и т. д. Периферийная часть аномалии характеризуется повышенными концентрациями двуокиси углерода и водорода. Различные сочетания гелия, метана и других газов — характерные признаки проявления в газовых полях донных осадков флюидопроводящих зон разрывных нарушений.

С помощью применяемого аппаратного комплекса имеется возможность обнаружить газовые



Рис. 8. Заборное и бортовое оборудование комплекса ИОЛ-УВ

аномалии, связанные с флюидами, по аномально высоким содержаниям в воде ионов металлов, сопутствующих углеводородам.

Для проведения работ использовался морской аппаратный комплекс ИОЛ-УВ. Он разработан ВНИИОкеангеология и ЦИТ и предназначен для одновременного проведения сейсмоакустического, гидролокационного, электроразведочного (электрохимического) профилирования. В процессе профилирования могут решаться поисково-разведочные, инженерно-геологические и экологические задачи. Комплекс включает бортовое и заборное оборудование. Общий вид и принципиальная блок-схема комплекса приведены на рис. 8.

Забортная часть морского поискового комплекса ИОЛ-УВ буксируется за судном на расстоянии 200—400 м с заглублением до средней части водного разреза. Предусмотрено использование в комплексе набора ионоселективных электродов для измерения

активности ионов следующих элементов: Cu, Pb, Cd, S, Ag. По опыту работ концентрации ионов этих элементов образуют в водном слое аномалии, связанные с близостью масс углеводородов.

Данные с ионоселективных электродов поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и выводятся на экран компьютера с одновременным сохранением в памяти компьютера. В дальнейшем данные электрохимического профилирования подвергаются статистической обработке для определения контуров потенциальных углеводородных залежей.

Некоторые характеристики морского поискового комплекса ИОЛ-УВ таковы:

- количество каналов измерения естественного электрического поля — 8;
- количество каналов ионоселективных датчиков — 5;
- диапазон измерения датчика давления — 40 бар (400 м);

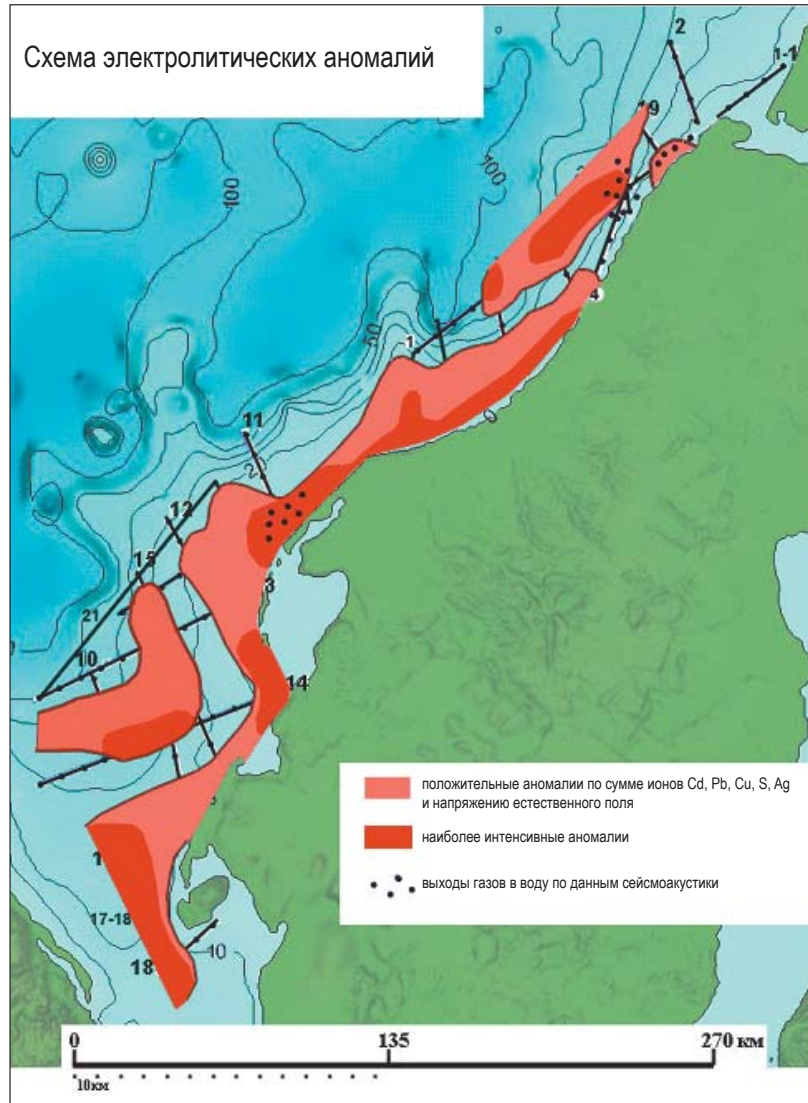


Рис. 9. Схема распространения интегральных электрохимических аномалий в западном Приамурье

- диапазон измерения проводимости — 0,1—30 мСм/м (0,5—35‰);
- диапазон измерения датчика температуры — -5...+40°C;
- диапазоны входных сигналов для каналов измерения напряженности естественного электрического поля и каналов ионоселективных датчиков — ±20 мВ, ±40 мВ, ±80 мВ, ±160 мВ, ±320 мВ, ±640 мВ, ±1280 мВ, ±2560 мВ;
- разрядность аналого-цифрового преобразователя (АЦП) — 16 разрядов;
- время преобразования АЦП — 40—160 мс;
- вид датчиков — Cu, Pb, Cd, S, Ag (набор датчиков может корректироваться для выполнения конкретных задач).

Для решения поставленных поисковых задач определяется активность ионов тяжелых металлов: меди, свинца, кадмия, серы, иногда серебра.

Дополнительно в систему измерений может вводиться метановый датчик. Измерялась также напряженность естественного электрического поля в воде.

Поисковые работы проводятся методом буксировки подводного модуля комплекса за кормой судна. Скорость буксировки — 4—6 узлов. Длина измерительной линии равна 400 м. Точность определения параметров составляет 0,02 мВ.

Методика интерпретации данных электрохимических исследований

Данные электрохимических исследований записываются в виде цифровых таблиц, которые в дальнейшем обрабатываются с помощью программных пакетов EXCEL и SURFER.

На основании цифровых данных на первом этапе в пакете EXCEL строятся графики активности ионов.

Затем графики активности ионов отдельных металлов сопоставляются в единой системе координат, что позволяет более уверенно выделять аномальные зоны. Далее применяется пакет SURFER, позволяющий построить карты аномальных зон в формах 2D и 3D.

В 2012—2013 гг. выполнены производственные работы на Приамальском шельфе Карского моря. За время работы на полигоне электрохимическое профилирование было выполнено на 24 профилях общей длиной 1641 км.

Комплексные аномалии, выделяемые на совмещенных графиках, выносились на схему электрохимических аномалий (рис. 9), на которой хорошо видны интегральные аномалии, протягивающиеся вдоль западного берега полуострова Ямал. Форма аномалий вытянутая, что наводит на мысль об их связи с разрывными нарушениями. Зоны наибольшей интенсивности аномалий также имеют вытянутую форму и хорошо сопоставляются с зонами выхода газов в водную среду, выделяемыми по данным сейсмоакустических исследований. Следует отметить, что все рисунки в данной статье являются авторскими.

Совместная интерпретация данных геохимического опробования, выполненного на станциях пробоотбора донных отложений и морской воды, и сейсмоакустического профилирования позволяют предположить соответствие выделенных аномалий нефтяным месторождениям и рекомендовать в их пределах проведение разведочного бурения.

Всего, как видно на схеме (см. рис. 9), выявлено пять крупных аномальных зон содержания микроэлементов тяжелых металлов. Наиболее протяженная из них (длиной около 60 км при максимальной ширине 21 км) расположена в прилегающей к берегу с востока полосе.

На основании приведенного в статье материала мы считаем возможным рекомендовать электрохимическое профилирование, дополненное геохимическим пробоотбором осадков и морской воды и сейсмоакустическим профилированием в выделенных аномальных зонах, к широкому внедрению в практику нефтегазопромысловых и разведочных работ на шельфе. Оно может применяться в зависимости от ряда факторов (геологического строения территории, уровня и объема региональных сейсмических исследований, наличия в исследуемом регионе ранее выявленных перспективных на углеводородные месторождения площадей или самих месторождений и т. д.) в разных вариантах:

- как метод выделения перспективных площадей на региональном прогнозном этапе геолого-геофизических исследований;
- как дополнение к сейсмическим работам.

Литература

1. Ефремкин И. М., Холмянский М. А. Геоэкологическое сопровождение освоения нефтегазовых месторождений арктического шельфа. — СПб.: Недра, 2008. — 316 с.
2. Иванов Г. И., Холмянский М. А., Шкотов М. Ю. и др. Эндогенные источники поступления нефтяных углеводородов в придонную экосистему и технологии их исследования // Зап. гор. инта. — 2011. — Т. 193. — С. 237—243.
3. Иванов Г. И., Свертилов А. А., Холмянский М. А. Физико-механические свойства барьерной зоны вода — осадок // Океанология. — 2011. — Т. 51, № 7. — С. 1276—1285.
4. Путиков О. Ф., Холмянский М. А., Касьянкова Н. А. Поиски нефтегазовых месторождений на шельфе геоэлектрическими методами изучения водной толщи // Докл. Академии наук. — 2008. — Т. 423, № 4. — С. 530—532.
5. Путиков О. Ф., Холмянский М. А., Вешев С. А. и др. Новая технология геоэлектрохимических поисков нефтегазовых месторождений на шельфе // Рос. геофиз. журн. — 2005. — № 37—38. — С. 18—23.
6. Слинченков В. И. и др. Оценка эффективности применения электрохимического метода для изучения морских углеводородных месторождений: Отчет по НИР М 01/10. — СПб.: НП «ЦИТ», 2010. — 123 с.
7. Холмянский М. А., Владимиров М. В. Создание методики и технологии электрохимических и электрометрических измерений для решения геоэкологических задач на акваториях // Рос. геофиз. журн. — 2002. — № 29—30. — С. 114—122.
8. Холмянский М. А., Павлов С. П., Иванов Г. И. Электрохимический метод поисков и разведки морских углеводородных месторождений // Геология морей и океанов. — 2011. — Т. 5. — С. 207—212.
9. Холмянский М. А., Иванов Г. И., Соболев В. Н., Каленич А. П. Многоцелевой электро-гидрохимический комплекс СПРУТ-5М: возможности и перспективы // СПб.: Акватерра; РЭСТЭК, 2003. — С. 231—232.
10. Холмянский М. А., Соболев В. Н., Иванов Г. И. и др. Информационно-измерительная система для исследования подводных потенциально опасных объектов шельфа // Геология морей и океанов. — 2007. — Т. 2. — С. 304—305.
11. Холмянский М. А., Иванов Г. И., Ефремкин И. М. Естественные электрические поля шельфа — фактор рудообразования и техноседиментогенеза // Геология морей и океанов. — 2007. — Т. 2. — С. 177—178.
12. Холмянский М. А., Павлов С. П. Способ электрохимических поисков морских нефтегазовых месторождений. Патент № 2014120761/28(033328) от 12.11.2015.
13. Ivanov G., Svertilov A., Kholmyansky M. Physical properties of water-sediments layer // Ex. Abs. of Baltic Sea Science Congress, 2011, SPB, RSHU. — P. 251—257.