

УДК 553.98:550.83

МЕТОДЫ РАДИОГЕОХИМИИ ПРИ НАЗЕМНЫХ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

И.С. Соболев

Томский политехнический университет
E-mail: geolsob@yandex.ru

Дан обзор состояния радиогеохимических методов поисков месторождений нефти и газа. Рассмотрены возможные причины формирования радиогеохимических аномалий, приведены некоторые подходы при интерпретации радиогеохимических данных.

В последние пятнадцать лет в большинстве регионов мира, где ведутся поисковые работы на нефть и газ, наблюдается положительный тренд в применении различных геохимических и геофизических съемок по поверхности. Подобная тенденция характерна и для России, в которой благодаря стабилизации экономической ситуации и началу реализации крупных международных проектов по транспортировке нефти и газа в страны азиатской части тихоокеанского региона все больше внимания уделяется приросту ресурсов и запасов углеводородного сырья. При этом в качестве потенциальной основной ресурсной базы нефти и газа рассматриваются сравнительно слабо изученные территории Восточной Сибири и Дальнего Востока. Для решения непростой задачи открытия месторождений в кратчайшие сроки, наряду с традиционной сейсморазведкой потребуются широкое привлечение дополнительных, оперативных и высокоэффективных методов поисков углеводородов.

В настоящее время в мировой практике с различной частотой и в разных сочетаниях используется довольно широкий набор прямых и полупрямых методов поисков месторождений нефти и газа.

К прямым методам относят газоуглеводородную съемку, где в зависимости от модификации анализируются свободные, сорбированные, растворенные углеводородные газы, реже осуществляют битуминологические исследования. В качестве объектов опробования используют грунты, снег, воду, шлам буровзрывных скважин, искусственные сорбенты и др. Среди методов, направленных на определение сопутствующих нефтегазовым залежам углеводородных компонентов и выявление эпигенетических трансформаций геохимических и геофизических полей, известны микробиологическая, гелиевая, неон-аргоновая, озонная, тепловая съемки. Также применяются магнитометрия (в наземном и аэро- вариантах), электроразведка (методами вызванной поляризации, становления поля и др.), электрохимические (метод частичного извлечения металлов, окислительно-восстановительного потенциала и др.), электромагнитные (магнитотеллурическое зондирование и др.) исследования. Разработан комплекс литогеохимических методов, позволяющих выделять нефтеперспективные участки на основании анализа изменения петрофизических свойств пород, концентраций, форм нахождения и характера распределения некоторых химических элементов, со-

отношения их изотопов, особенностей минерального состава пород и др.

В двадцатые годы прошлого столетия, когда зарождались прямые методы поисков месторождений нефти и газа, в СССР публикуются данные об изучении влияния залежи углеводородов на радиоактивность дневной поверхности [1]. В качестве объекта исследования выступало хорошо изученное Майкопское месторождение нефти, где по двум профилям с помощью ионизационной камеры осуществлялись измерения радиоактивного поля. В результате работ над залежами нефти шнуркового типа было выявлено повышение радиоактивности, выходящее за пределы ошибки наблюдений.

Практически одновременно появляется большое количество информации, касающейся изученности радиоактивности пластовых вод нефтяных месторождений, которая убедительно показала, что приконтактные воды углеводородных залежей характеризуются аномально высокими концентрациями радия.

Однако, в дальнейшем в связи с разработкой методов, направленных на прямое определение углеводородов, и отсутствием на то время приборов, позволяющих сравнительно быстро и с высокой чувствительностью регистрировать параметры радиогеохимических полей радиоактивные съемки при поисках месторождений нефти и газа практически не проводились.

Импульсом для начала широких работ по оценке возможностей радиогеохимических методов поисков по поверхности послужила разработка и внедрение в практику геологоразведочных работ гамма-спектрометрической аппаратуры на основе сцинтилляционных счетчиков. В 1953 г. Н. Lunberg приводит данные по аэрогамма-радиометрическому профилю, пересекающему нефтяное месторождение Redwater в Канаде [2]. По маршруту съемки отчетливо наблюдается участок низкой радиоактивности, совпадающий с фрагментом проекции нефтяной залежи. Одновременно, для границ месторождения характерно относительно повышение радиоактивного поля. Возникновение над скоплениями нефти и газа радиоактивных аномалий объясняется диффузионной транспортировкой водородоносного радия из глубоких горизонтов к земной поверхности. При этом сами залежи углеводородов, по мнению автора, играли роль экрана на пути движения вещества, чем и объясня-

лись фиксируемые области низкой радиоактивности [3]. Радиоактивные съемки, проведенные в последующие десять лет почти над тридцатью нефтегазоносными объектами Канады и США, продемонстрировали, что подавляющее большинство из них проявляют себя в радиогеохимических полях.

Начиная с 1956 г., активизируются работы по оценке эффективности радиометрических методов при поисках месторождений нефти и газа в СССР. За короткий срок в значительных объемах исследования были проведены над известными нефтяными и газовыми месторождениями Нижнего Поволжья, Предкавказья и Западной Туркмении. Параллельно с измерением радиоактивности и концентраций радиоактивных элементов осуществлялось изучение ряда геохимических характеристик поверхностных отложений, анализировались особенности геоморфологического и литологического строения территорий. Был сделан важный вывод, что радиоактивные аномалии над углеводородными залежами являются частным случаем общей эпигенетической трансформации геохимических полей [4].

Результаты многочисленных опытно-методических и лабораторных исследований, проводимых тогда в лаборатории ядерной геологии и геофизики Института нефти АН СССР, позволили подвергнуть сомнению глубинную миграцию аномалиеобразующих радиоактивных элементов. Соглашаясь с эпигенетическим характером аномальных радиогеохимических эффектов, перераспределение радиоактивных элементов в поверхностных отложениях нефтегазоносных территорий по мнению исследователей связано с изменяющимися геохимическую обстановку в зоне гипергенеза компонентами, поступающими из залежей углеводородов. С одной стороны, это приводит к изменению миграционных способностей радионуклидов, с другой стороны – к снижению сорбционной емкости осадочных пород над продуктивными частями структур [5].

Почти одновременно в печать выходит статья A.F. Gregory, которая ставит под серьезное сомнение связь радиоактивных аномалий с наличием углеводородных залежей на глубине [6]. Для примеров он привлек нефтяные месторождения Redwater и Coalinga, где ранее Н. Lunberg по данным аэрогамма-съемки выделил радиоактивные аномалии, совпадающие с контурами нефтеносности. На основе сопоставления карт радиоактивности с геологическим и ландшафтным строением территорий, составом почв был сделан вывод о том, что характер изменения радиоактивности определяется не влиянием скоплений нефти, а изменением литологического и минерального состава поверхностных отложений, степени засоленности почвенного слоя.

Близкая точка зрения была высказана W.G. Kellogg, который, анализируя связь поля радиоактивности со структурно-тектоническим строением нефтяного месторождения Tejon Grapevine (США)

и прилегающих территорий, пришел к заключению, что отрицательные аномалии радиоактивности контролируют приподнятые в рельефе антиклинальные складки, и формирование таких нарушений радиоактивного поля не связано с углеводородными залежами, а обусловлено более интенсивным выщелачиванием и выносом радиоактивных элементов с приподнятых структур [7].

В процессе работ по развитию радиоактивных методов для поисков месторождений нефти и газа, проводимых в лаборатории радиогеохимии и изотопного анализа ВНИИЯГГ, также появляются факты, когда при проведении наземных и аэрогамма-съемок продуктивные и непродуктивные антиклиналы идентично проявляют себя в полях распределения радиоактивности и естественных радиоактивных элементов. Опираясь на материалы гамма-каротажа глубоких скважин и данные о литологическом составе разреза, было убедительно показана тесная корреляция между значениями радиоактивности и гранулометрическим составом пород. При этом для всех стратиграфических горизонтов наблюдается устойчивая тенденция в увеличении степени опесчанивания сводовых частей унаследованных складок с одновременным ростом глинистости их крыльев, а это, собственно, и определяет характер распределения радионуклидов. Не было найдено существенных различий и при проведении гамма-съемок в акватории Каспийского и Азовского морей, где физико-химические условия существенно отличаются от таковых в зоне гипергенеза. В результате радиогеохимическим методам была отведена вспомогательная роль при изучении структурно-тектонического строения нефтегазоносных территорий [8].

Следует отметить, что в 50-е – 60-е гг. XX в. достаточно широко были распространены мнения о невозможности миграции газовых и водорастворенных компонентов от скоплений нефти и газа сквозь перекрывающую слабопроницаемую толщу осадочных отложений к земной поверхности. Нефтепоисковые возможности прямых методов в то время подвергались существенной критике [9].

Открытие в конце 70-х, начале 80-х гг. прошлого столетия явления парагенезиса субвертикальных зонально-кольцеобразных геохимических и геофизических полей в осадочном чехле земной коры, успехи в области познания геохимических и геофизических особенностей нефтегазовых месторождений, прогресс в создании высокоточной регистрирующей аппаратуры создали благоприятные предпосылки для более активного внедрения в практику геологоразведочных работ на нефть и газ прямых и полупрямых геохимических и геофизических исследований.

Повышение интереса к геохимическим поискам залежей углеводородов определенным образом отразилось и на радиогеохимических методах. В США приводятся результаты переинтерпретации гамма-спектрометрических данных нефтегазонос-

ных площадей, полученных в рамках реализации программы NURE и других аэрогеофизических работ [10–12], осуществляются наземные гамма-радиометрические [13] и радоновые съемки [14]. Изучается вопрос связи радиоактивных аномалий с эпигенетической карбонатизацией пород [15], анализируется характер взаимоотношений между естественными радиоактивными элементами [16, 17]. Термолюминесцентное радиометрическое картирование в значительных объемах проводится при оценке нефтегазоносности ряда площадей КНР [18, 19]. Опытные-методические и поисковые работы с применением радиоактивных методов проводятся в России [20–22], Израиле [23, 24] и Индии [25]. Результаты этих исследований подтверждают наличие радиоактивных аномалий над месторождениями нефти и газа, а авторы придерживаются эпигенетической природы нарушений структуры радиогеохимических полей. Однако прогресс в понимании процесса формирования радиогеохимических аномалий остается недостаточным. В большинстве статей даются ссылки на известные модели возникновения аномальных эффектов, либо вносятся в них незначительные изменения.

Интересно предположение о возможности относительного обеднения поверхностных осадочных отложений естественными радиоактивными элементами в результате более интенсивной коррозии породообразующих минералов в контурах нефтегазоносности [24]. Продукты окисления мигрирующих углеводородов, одним из которых является углекислота, разрушают кристаллические матрицы минералов, высвобождая входящие в них химические элементы, которые выносятся гипергенными водами к периферии залежей.

При изучении возможного вклада биогенных магнитофоссилий в увеличение магнитной восприимчивости в зонах влияния углеводородного потока были получены данные о включении в процесс биоаккумуляции урана [26]. Некоторые виды аэробных углеводородопоглощающих магнитотропных микроорганизмов уменьшали концентрации U в растворе почти в три раза, а при магнитной сепарации биомасса содержала уран в 1000 раз выше, чем в исходном растворе. Также хорошей поглощающей способностью урана характеризуются сульфатредуцирующие бактерии. Установлен факт резкого возрастания магнитной восприимчивости в терригенных образованиях со следами старых разливов нефти и выветрелых битумов, хотя сама исходная нефть диамагнитна. В свою очередь это позволяет говорить о вероятном вкладе в возникновение аномальных радиогеохимических эффектов микроорганизмов, питающихся углеводородными компонентами.

На миграционные способности урана огромную роль играют значения окислительно-восстановительного потенциала. Согласно S.J. Pirson углеводородные залежи представляют собой своего рода природный гальванический элемент [27, 28].

На границе столба пород внедрения газообразных и жидких углеводородных компонентов за счет возникающей разницы Eh происходят электрохимические реакции, которые активизируют движение электротеллурических токов. Циркуляция токов по вертикали происходит между скоплением нефти или газа и нижней границей зоны гипергенеза. Как следствие над водоуглеводородными контактами на уровне редокс-границы возникает градиент значений окислительно-восстановительного потенциала. Кроме того, в результате процессов электрофореза возможно перераспределение урана в буферной области между породами, затетыми и не попавшими под эпигенетическое влияние углеводородных залежей.

Ряд исследований на промышленных скоплениях нефти и газа Западной Сибири, Казахстана, Украины показали, что образцы почв и грунтов, отобранные в контуре месторождений в среднем характеризуются значениями Eh меньше 150 мВ, вне зоны влияния залежей больше 250 мВ. Кислотность среды для терригенных образований верхней части разреза над нефтегазовыми скоплениями в среднем на 1...2 ед. выше, чем за границей продуктивности. В переходных зонах отмечаются резкие колебания значений этих физико-химических показателей [29].

Таким образом, залежи углеводородов создают контрастные геохимические барьеры, на которых может осаждаться растворенный в кислородных водах уран, а наиболее активно этот процесс происходит на границе смены окислительной и восстановительной обстановки разреза в областях интенсивного поступления вещества от углеводородных залежей.

Действительно при анализе роли гидрогеохимического фактора в формировании радиоактивных аномалий отмечаются заметные отклонения в величине радиоактивного равновесия в водах активной зоны водообмена с дневной поверхностью нефтеназональных площадей. При этом для вод зоны гипергенеза подвергающихся влиянию углеводородных компонентов характерно изменение радиоактивного равновесия в сторону увеличения Ra, что связано с осаждением U на восстановительных барьерах [30].

Кроме того, совместное изучение уровней накопления естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) по данным гамма-спектрометрии и полей радиоактивности, измеряемых высокочувствительными термолюминесцентными детекторами (ТЛД), позволяет предположить, что в процессе наложенного переотложения радионуклидов активно участвуют коротко живущие изотопы. Это предположение базируется на фиксируемых эффектах в структуре аномальных радиогеохимических полей, когда наблюдается своеобразная зональность в характере распределения ЕРЭ и интегрированной радиоактивности. В таких случаях возникает обратная корреляция между знаками

(положительная – отрицательная) аномалий U(Ra) и термолюминесценции детекторов. Следует отметить, что, исходя из результатов натуральных экспериментов, по всей видимости, основной вклад в значения запасенной светосуммы ТЛД дают β -активный ^{210}Po и γ -активный ^{214}Bi , переход к которым в радиоактивном ряде распада ^{238}U осуществляется через ^{226}Ra и радиоактивный газ ^{222}Rn .

Что касается изучения поведения радиоактивных элементов в нижней геохимической зоне нефтегазовых месторождений, то имеющейся на сегодняшний день информации явно недостаточно, чтобы можно было более или менее полно оценить характер и масштабы перераспределения ЕРЭ по всей осадочной толще, перекрывающей скопления нефти и газа. Тем не менее, существуют данные о радиогеохимических характеристиках терригенных отложений продуктивных и около продуктивных горизонтах, где рядом исследователей на основе результатов количественных анализов уровней накопления радионуклидов и гамма-каротажа выделяются зоны эпигенетического переотложения урана [31, 32].

Современные флюидодинамические модели нефтегазообразования базируются на свойстве осадочных пород в процессе литогенеза расслаиваться на зоны уплотнения и разуплотнения, насыщенных флюидами, находящимися в условиях повышенного внутреннего давления, что приводит к созданию мощной флюидодинамической системы, выраженной восходящими тепловыми потоками, активизирующими процессы нефтегазообразования [33, 34].

Для флюидодинамических систем характерна связь с тектоно-магматическими структурами, формирующимися в зонах пересечения глубинных разломов, в пределах которых выделяют «сквозьформационные» флюидопроводные системы. Эти системы, сами являясь продуктом глубинных тектонофизических факторов и процессов дегазации, одновременно играют «флюидостыгивающую» роль и контролируют пространственно-временные ассоциации разнообразных нефтяных и газовых залежей.

Таким образом, единство разнообразных геофизических и геохимических аномалий над скоплениями нефти и газа определяется историей и механизмами развития нефтегазоносных бассейнов, которые являются гетерогенными долгоживущими саморазвивающимися системами, приуроченными к глубинным тектоническим структурам, представляющим собой зоны повышенной проницаемости, по которым происходит интенсивная миграция вещества, определяющая сложные механизмы трансформации геофизических и геохимических полей. И, на наш взгляд, было бы неправильно отрицать возможность вовлечения радиоактивных элементов в процесс формирования и последующего разрушения скоплений углеводородов.

Основываясь на изучение элементного состава реликтов флюидов, заключенных в микротрещинах пород и минералах осадочных отложениях нефтегазоносных бассейнов, Р.П. Готтих с соавторами

предполагает, что уран с группой литофильных и халькофильных металлов мигрирует в битуминозной фазе в виде метаталлоорганических комплексов [35]. И более того, присутствие значительных концентраций радиоактивных элементов в восстановительных флюидах нефтегазоносных систем может являться одним из факторов в синтезе высокомолекулярных углеводородных соединений.

Группой Санкт-Петербургских исследователей экспериментально и теоретически обоснована возможность транспортировки ряда тяжелых металлов от залежей углеводородов в газовой-пузырьковой потоке [36].

Резюмируя выше изложенное, можно сказать, что на сегодняшний день существуют разрозненные, в большинстве случаев косвенные факты, указывающие на эпигенетический характер радиогеохимических аномалий над месторождениями нефти и газа.

Объективно более значимый прогресс наблюдается в разработке методик получения и обработки радиогеохимической информации. Существует достаточно устойчивый набор радиогеохимических поисковых признаков, позволяющих оконтуривать скопления нефти и газа на территориях с различным геологическим и ландшафтным строением.

Наиболее информативны радиогеохимические исследования в условиях ландшафтов с низкой обводненностью и ограниченным развитием аллохтонных отложений. Тем не менее и в сравнительно неблагоприятных для радиоактивных съемок ландшафтных обстановках Сибири, применяя специализированные приемы выделения эпигенетической составляющей радиогеохимических полей и высоко чувствительные средства регистрации радиоактивности, в подавляющем большинстве случаев удается фиксировать присутствие месторождений нефти и газа [17].

Анализ многочисленных литературных данных и показывает, что большинство месторождений антиклинального типа проявляют себя аномалиями кольцевого типа (в иностранной литературе – эффект «галло») с областью относительно низких значений радиоактивности и уровней накопления ЕРЭ в контурах нефтегазоносности и всплесками аномально высоких показаний в зонах влияния водоуглеводородных контактов. Морфология радиогеохимических полей над залежами, локализованными в экранированных и литологических ловушках, больше тяготеет к линейным или полукольцевым аномалиям [37].

Однако, как демонстрирует практика, далеко не все нефтегазовые объекты контролируются сравнительно легко выделяемыми аномальными нарушениями радиогеохимических полей. При анализе строения только полей концентраций ЕРЭ на нефтегазоносных территориях с пестрым литолого-фациальным составом поверхностных отложений обнаружение эпигенетических радиогеохимических аномалий часто просто невозможно.

Для снижения влияния мешающих факторов используются различные процедуры математической обработки исходных радиогеохимических данных. Наиболее часто и достаточно эффективно выделение «нафтидогенных» радиогеохимических аномалий осуществляется на основе изучения локальной составляющей радиогеохимических полей, полу-

ченной при вычитании из измеренных радиогеохимических параметров регионального фона, рассчитанного путем осреднения в математическом окне или регрессионного анализа. При этом вносятся соответствующие поправки на литологический состав горизонта опробования, состав почвенного горизонта, ландшафтные обстановки [5, 12, 25, 38].

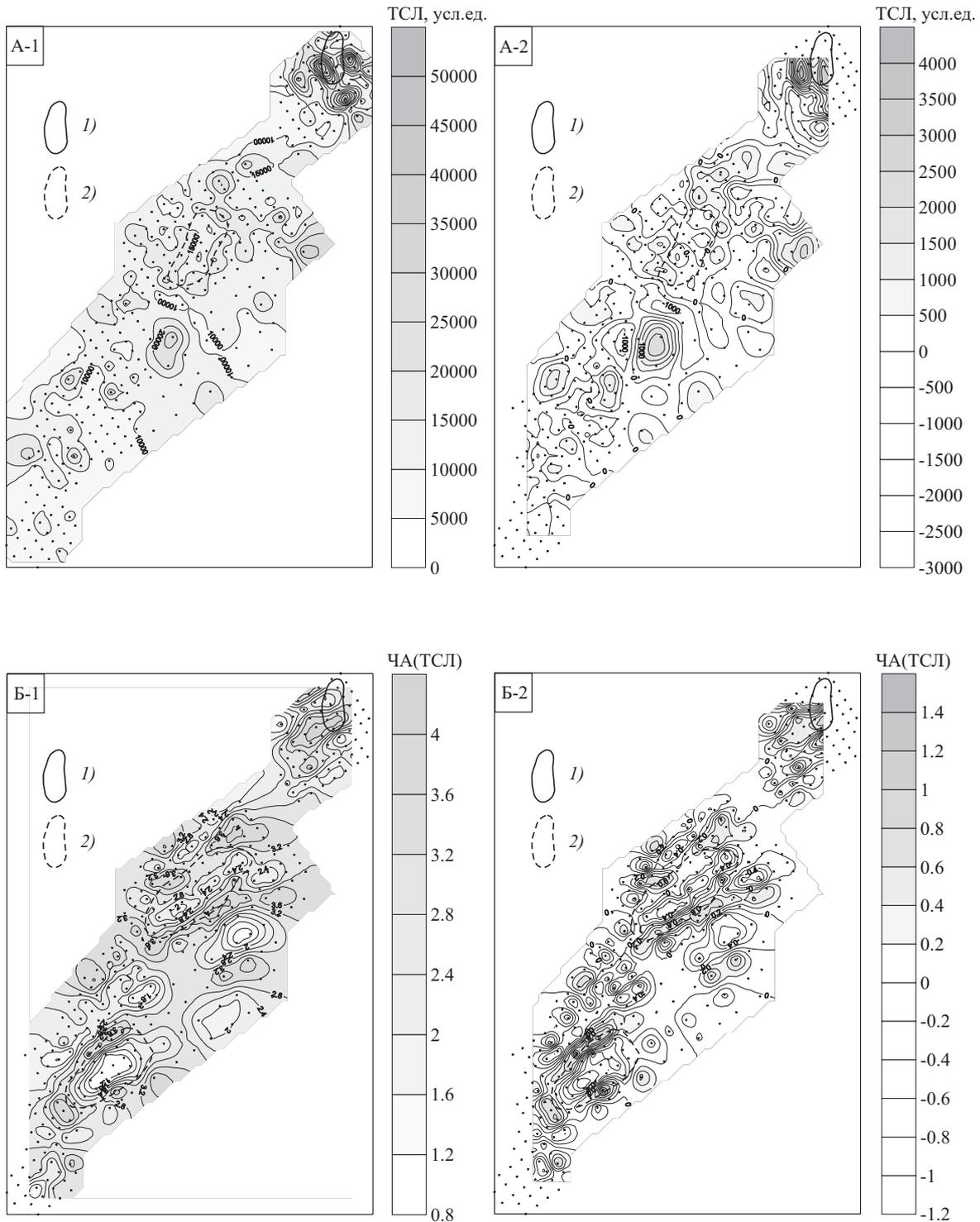


Рис. 1. Поля распределения термостимулированной люминесценции (А-1), частотно-амплитудного показателя (Б-1) и их остаточных составляющих (соответственно А-2 и Б-2) в донных отложениях южной части Обской губы: 1) Обское месторождение; 2) Контур перспективного участка

Высокой информативностью обладают показатели, оценивающие характер взаимосвязей между ЕРЭ.

На группе нефтеносных объектов США при выделении контуров нефтеносности использовался показатель DRAD, направленный на выявление участков с аномальными отклонениями наблюдаемых значений активности селективных каналов урана и калия от так называемых «идеальных» значений этих элементов, нормированных на ториевый эквивалент [16].

Для выделения участков наложенного переотложения наиболее подвижного из естественных радионуклидов – U, возможно нормирование его концентраций по содержанию характеризующих литологический состав отложений сравнительно геохимически инертных тория или глинозема [21, 22, 39].

К одному из наиболее устойчивых радиогеохимических признаков нефтегазосности можно отнести нарушение структуры корреляционных взаимосвязей внутри группы ЕРЭ [40]. При этом для нефтяных месторождений отмечается тенденция в отклонениях от фоновых значений парной корреляции, главным образом, за счет перераспределения U, для газовых залежей наблюдается более хаотичное поведение U и K.

В процессе интерпретации радиоактивных данных, на наш взгляд, недостаточно внимания уделяется такой характеристике, как неоднородность радиогеохимических полей. Ряд работ по газогеохимическим, литогеохимическим, магнитометрическим, аэрогамма-спектрометрическим исследованиям нефтегазосных территорий убедительно показывают, что повышенная «напряженность» геохимических и геофизических полей является одной из основных отличительных черт продуктивных площадей [20, 40–42].

В качестве одного из примеров хорошей информативности анализа степени неоднородности радиогеохимических полей можно привести результаты интерпретации измерений термостимулированной люминесценции донных грунтов южной части Обской губы. В ходе газоразведочной съемки (ЗАО

«Пангея») по равномерной сети был осуществлен отбор проб донных отложений с последующим определением содержаний углеводородных компонентов до C_{20} включительно. Кроме того, осадочный материал был передан для изучения термолюминесценции в Томский политехнический университет. На рис. 1 приведены два варианта математической обработки результатов термолюминесцентных исследований.

В первом случае исходное поле распределения термостимулированной люминесценции (ТСЛ) сглаживалось путем осреднения в математическом окне размером $1,5 \times 1,5$ км с последующим выделением остаточной составляющей.

Во втором случае точно такой же алгоритм был использован при математической обработке поля частотно-амплитудного показателя (ЧА) изменения ТСЛ. Сам частотно-амплитудный показатель несет информацию о количестве экстремумов на единицу площади с учетом амплитуды изменений анализируемого параметра.

В итоге «эталонное» месторождение и группа кольцевых аномалий, классифицируемые как перспективные на выявление углеводородных залежей, наиболее четко проявились в характеристике степени изрезанности поля термостимулированной люминесценции донных отложений.

Таким образом, на сегодняшний день есть хорошие предпосылки для более широкого использования радиогеохимических исследований при поисках месторождений нефти и газа по поверхности. Как и любой другой метод, радиогеохимические съемки имеют определенные ограничения и подвержены влиянию маскирующих факторов. Тем не менее, достижения в области развития средств измерения радиогеохимических полей, методические наработки в подходах при интерпретации радиогеохимических данных, постепенно накапливаемая информация об радиогеохимических особенностях осадочных отложений по разрезу от залежей углеводородов к дневной поверхности позволяют с оптимизмом смотреть в будущее методов радиогеохимии в комплексе геолого-разведочных работ на нефть и газ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богоявленский Л.Н. Радиометрическая разведка нефти // Известия Института прикладной геофизики ВСНХ СССР. – 1927. – Вып. 3. – С. 113–122.
2. Lundberg H., Isford G. Oil prospecting with the radioactive method // World Petroleum. – 1953. – July 2. – P. 40–42.
3. Lundberg H. Low radiation intensities over oil fields // Oil and Gas Journal. – 1956. – V. 54. – № 52. – P. 192–195.
4. Алексеев Ф.А. Радиометрический поиск нефти, состояние разработки метода и опыт его применения // Разведка и разработка полезных ископаемых: Труды Всес. научно-техн. конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в народном хозяйстве и науке. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – С. 51–56.
5. Алексеев Ф.А. Радиометрический метод поисков нефти и газа (о природе радиометрических и радиогеохимических аномалий в районе нефтяных и газовых месторождений) // Сб. ст. по использованию радиоактивных излучений и изотопов в геологии нефти. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – С. 3–26.
6. Gregory A.F. Analysis of radioactive sources in aeroradiometric surveys over oil fields // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geologists. – 1956. – V. 40. – № 10. – P. 2457–2474.
7. Kellog W.C. Observations and interpretation of radioactive patterns over some California oil fields // The Mines Magazine. – 1957. – V. XLVII. – № 5 (57). – P. 31–33.
8. Алексеев Ф.А., Готтих Р.П., Воробьева В.Я. Закономерности в распределении радиоактивных элементов и естественного γ -поля нефтегазосных областей (к вопросу о природе радиометрических аномалий) // Труды ВНИИЯГТ. – М.: Недра, 1968. – Вып. 2. – С. 3–122.
9. Davidson M.J. On the acceptance and rejection of surface geochemical exploration // Oil and Gas Journal. – 1994. – June 6. – P. 70–76.
10. Morse J.G., Rana M.H. New perspectives on radiometric exploration for oil and gas // Oil and Gas Journal. – 1983. – June 6. – P. 87–90.

11. Sanders D.F., Tompson C.K. Integrated exploration improves wild-cat success (Part I) // *World Oil*. – 1987. – September. – P. 36–45.
12. Sikka D.B., Shives R.B.K. Radiometric surveys of the Redwater oil field, Alberta: Early surface exploration case history suggest mechanism for the development of hydrocarbon – related geochemical anomalies / Applications of geochemistry, magnetics, and remote sensing, D. Shumacher and L.A. LeSchak, eds., AAPG Studies in Geology № 48 and SEG Geophysical References Series № 11. – 2002. – P. 243–297.
13. Collins B.I., Tedesco S.A., Martin W.F. Integrated petroleum project evaluation – three examples from the Denver-Julesburg Basin, Colorado // *Journal of Geochemical Exploration*. – 1992. – № 43. – P. 67–89.
14. Morse J.G., Rana M.H., Morse L. Radon mapping as indicators of subsurface oil and gas // *Oil and Gas Journal*. – 1982. – May 10. – P. 227–246.
15. Kilmer C. Radiation lows over productive areas seen as soil geochemical phenomenon // *Oil and Gas Journal*. – 1983. – July 25. – P. 179–184.
16. Saunders D.F., Burson K.R., Branch J.F., Thompson C.K. Relation of thorium-normalized surface and aerial radiometric data to subsurface petroleum accumulations // *Geophysics*. – 1993. – V. 58. – № 10. – P. 1417–1427.
17. Соболев И.С., Меркулов В.П., Рихванов Л.П. Некоторые методические аспекты поисков месторождений нефти и газа радиохимическими методами // *Геология и охрана недр*. – 2004. – № 2(11). – С. 57–65.
18. Siegel F.R., Hu Decheng, Vaz J.E., Wang Zaiming, Viterito A., Areal thermoluminescence radiometric survey of Shengping oil using buried dosimeters // *Oil and Gas Journal*. – 1989. – July 3. – P. 53–57.
19. Wang Z., Qin D., Zhuang G., Zha Z., Wang S., Shen W., Cai G. Application of thermoluminescence dozimetry in the exploration for oil and gas using Chinese GR-200 LiF (Mg,Cu,P) TLD // *Radiation Protection Dozimetry*. – 1993. – V. 47. – № 1/4. – P. 323–326.
20. Лазарев Ф.Д. Прогнозирование скоплений углеводородов по данным комплексных аэрогеофизических исследований (на примере западной части Енисей-Хатангского прогиба): Дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2001. – 130 с.
21. Соболев И.С., Рихванов Л.П., Ляшенко Н.Г., Паровинчак М.С. Прогнозирование и поиски месторождений нефти и газа радиохимическими методами // *Геология нефти и газа*. – 1999. – № 7–8. – С. 19–24.
22. Столбов Ю.М., Парыгин К.Д. О целесообразности комплексирования лиогеохимических поисков залежей углеводородов с сейсморазведочными работами на территории Томской области // *Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства: Матер. Междунар. научно-техн. конф., секция «Геологическое и горное образование. Геология нефти и газа»*. – Томск, 2001. – С. 264–265.
23. Siegel F.R., Chen R., Vaz J.E., Mathur V.K. The integrated radiation environment at well sites – an adjunct to petroleum exploration // *Oil and Gas Journal*. – 1997. – October 6. – P. 91–96.
24. Yanaki N.E., Ashery D., Kronfeld J. Careful analysis reveals root cause of gamma-ray anomalies // *World Oil*. – 2000. – October. – P. 81–83.
25. Reddy A.S., Rao N.V. Radiation anomaly correlation helpful in Krishna-Godavari basin // *Oil and Gas Journal*. – 2002. – April 15. – P. 38–42.
26. Магнитные свойства и биоактивность поверхностных отложений как поисковые и геоэкологические показатели // *Использование материальных ресурсов за рубежом*. – М.: ВИНТИ, 1991. – Вып. 3. – С. 38–47.
27. Pirson S.J. Projective well log interpretation years later // *Log analyst*. – 1975. – V. 16. – № 5. – P. 14–24.
28. Pirson S.J. Oil is confined in the earth by Redox potential barriers // *Oil and Gas Journal*. – 1980. – № 7. – P. 153–158.
29. Литогеохимические исследования при поисках месторождений нефти и газа / Под ред. О.Л. Кузнецова. – М.: Недра, 1987. – 184 с.
30. Филонов В.А. Роль гидрохимического фактора в формировании гамма-аномалий над нефтяными и газовыми месторождениями // *Геологическая изученность и использование недр*. – М.: АО «Геоинформак», 1994. – Вып. 1–2. – С. 3–8.
31. Столбова Н.Ф., Волостнов В.Д., Дешня Н.П., Столбов Ю.М. Постседиментационные преобразования пород ачимовской толщи Уренгойского месторождения // *Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства: Матер. Междунар. научно-технич. конф., секция «Геологическое и горное образование. Геология нефти и газа»*. – Томск, 2001. – С. 265–268.
32. Писарчук С.В., Номоконова Г.Г. Петрофизические изменения в зонах локализации месторождений углеводородов // *Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: Матер. Всеросс. научно-технич. конф.* – Томск, 2003. – С. 140–142.
33. Запывалов Н.П. Новая концепция изучения флюидонасыщенных геологических систем (фрактальный аспект) // *Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа: Матер. II Междунар. конф.* – М.: Изд-во МГУ, 1998. – С. 76–78.
34. Соколов Б.А., Абля Э.А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. – М.: ГЕОС, 1999. – 76 с.
35. Готтих Р.П., Писоцкий Б.И., Бурмистенко Ю.Н. Восстановленные флюиды в разрезах нефтегазоносных бассейнов // *Советская геология*. – 1988. – № 3. – С. 33–42.
36. Путиков О.Ф., Вешев С.А., Ворошилов Н.А., Алексеев С.Г., Байхун В., Цзыюн Ч. Струйные ореолы рассеяния тяжелых металлов нефтегазовых месторождений и их использование при оценке параметров залежей // *Доклады РАН*. – 2000. – Т. 370. – № 5. – С. 668–671.
37. Proceeding of radiometric methods in exploration of oil and gas. – Atomic Energy Press. – 181 p.
38. Соболев И.С., Рихванов Л.П., Лебединский И.Н., Олешко В.И. Особенности проведения радиогеохимической съемки при поисках месторождений нефти и газа в условиях Сибирской платформы (на примере Имбинской площади) // *Состояние и проблемы геологического изучения недр и развития минерально-сырьевой базы Красноярского края: Матер. докл. научно-практ. конф.* – Красноярск, 2003. – С. 115–121.
39. Гавшин В.М. Радиогеохимическая специфика крупных осадочных бассейнов Западной и Средней Сибири // *Геология и радиогеохимия Средней Сибири*. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 173–192.
40. Соболев И.С. Прогнозирование и поиски месторождений нефти и газа радиохимическими методами в условиях Западной Сибири: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 1999. – 218 с.
41. Комплексный анализ данных геохимических поисков месторождений нефти и газа / Под ред. Л.М. Зорькина, А.В. Петухова. – М.: Недра, 1981. – 259 с.
42. Меркулов В.П. Магнитные поля месторождений нефти и газа и возможности их использования при картировании залежей углеводородов // *Известия Томского политехнического университета*. – 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 218–224.

Поступила 6.12.2006 г.