

УДК 550.849, 550.838.3, 550.835.23, 553.98

## ОПЫТ НАЗЕМНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ, ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ НЕФТИ В БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЕ

Соболев Игорь Станиславович<sup>1</sup>,  
geolsob@yandex.ru

Орехов Александр Николаевич<sup>1</sup>,  
orekhovan@mail.tomsknet.ru

Бредихин Николай Петрович<sup>1</sup>,  
bnp1991@mail.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

**Актуальность исследований** обусловлена слабой изученностью вопроса возможности применения наземных геохимических и геофизических (несейсмических) методов при поисках залежей углеводородов в породах черносланцевой формации. Подобными отложениями с высоким ресурсным потенциалом нефтеносности в Западной Сибири являются битуминозные аргиллиты баженовской свиты. По особенностям своей локализации автохтонные скопления нефти имеют ряд существенных отличий от традиционных месторождений нефти и газа, а устоявшиеся модели эпигенетического формирования аномальных геополей являются не совсем уместными для интерпретации данных геохимических и геофизических съемок в подобных геологических условиях. Поэтому возникает необходимость оценки поисковой информативности этих методов для выявления нефтегазоносных объектов сланцевого типа. В статье представлены результаты проведенной геохимической, а также наземных высокоточных радиогеохимической и магнитной съёмок на юге Западной Сибири.

**Цель работы:** изучение особенностей структуры приповерхностных углеводородного геохимического, радиогеохимического и магнитного полей, а также их трансформант на месторождении нефти в баженовской свите.

**Методы исследования:** наземные высокоточные полевые методы измерения магнитного и радиогеохимического полей, лабораторные испытания проб на содержание ряда углеводородных компонентов, статистическая обработка данных, включающая методы фильтрации и относительных параметров на месторождении сланцевой нефти на юге Западной Сибири.

**Результаты.** Проведена оценка взаимосвязи количественных и качественных характеристик проанализированных геополей с особенностями структурно-тектонического строения территории и ее нефтеносностью с помощью: показателей остаточного магнитного поля, дисперсии и градиента магнитного поля; дисперсии радиогеохимических показателей; анализа изменения значений углеводородных индикаторных отношений.

### Ключевые слова:

Геохимия, магниторазведка, литохимические пробы, углеводородные залежи, баженовская свита, сланцевая нефть.

### Введение

Наземная геохимическая съемка, в различных вариантах ее проведения и спектра анализируемых компонентов, является устоявшимся методом поисков залежей нефти и газа. Однако теоретическая и методологическая основа применения геохимических методов разрабатывалась для поисков традиционных скоплений углеводородов. До настоящего времени вопрос возможности и целесообразности использования геохимического картирования при выявлении автохтонных нефтегазовых месторождений в слабопроницаемых нефтематеринских отложениях практически не изучен. В целом процесс поисков и разведки трудно извлекаемых залежей углеводородов оказался заметно сложнее, чем для находящихся в привычных коллекторах. До сих пор дискуссионными остаются предлагаемые поисковые геолого-геофизические модели нефтегазовых объектов, локализованных в породах черносланцевой формации. Неоднозначно трактуется роль различных геологических факторов в возникновении емкостного пространства. Эти обстоятельства определяют сравнительно низ-

кую эффективность геолого-разведочных работ при изучении таких объектов. При этом геохимическим методам преимущественно отводится роль изучения содержания и состава органического вещества, а также оценки степени реализации нефте- и газогенерационного потенциала нефтематеринских пород по материалу керна скважин [1].

Существующие модели формирования геохимических и геофизических (несейсмических) аномалий над залежами углеводородов базируются на представлениях о субвертикальной миграции углеводородных и сопутствующих компонентов с уровня продуктивных горизонтов к дневной поверхности. Источником вещества для массопереноса является углеводородное скопление, ограниченное водоуглеводородным контактом. Залежь заключена в ловушку, включающую проницаемый пористый горизонт, перекрытый флюидоупором, а облик приповерхностных геохимических аномалий зависит от морфогенотипа ловушки [2–5].

Использование этих моделей при наземных геохимических поисках залежей нефти сланцевого типа, по всей видимости, некорректно, так как они

отличаются от традиционных скоплений углеводородов рядом важных особенностей. Резервуар представляет собой трещинный коллектор в изолированной системе в литологических ловушках неструктурного типа, глинисто-карбонатные отложения – одновременно нефтематеринская толща, коллектор и флюидоупор. Нефтегенерирующие горизонты гидроизолированы и находятся в термобарических условиях главной фазы нефтеобразования. Характерны сверхвысокие пластовые и поровые давления и температуры, плотностная неоднородность пород.

Существует несколько основных точек зрения на формирование емкостного пространства. В качестве возможных причин рассматриваются: автонефтеразрыв, обусловленный процессами нефтегенерации [6–10]; особенности литологического состава [11–13]; влияние пликативной и разрывной тектоники, а также связанных с ней наложенных гидротермально-метасоматических изменений [14, 15]; сочетание тектоногенных, седиментогенных и диагенетических процессов [16–18].

Возникает вопрос о принципиальной возможности использования наземных геохимических исследований для выявления углеводородных залежей в отложениях нефтематеринских формаций. Возможно, отчасти некоторые ответы дадут обсуждаемые в статье результаты комплексной съемки на территории, где установлена продуктивность баженовского горизонта.

#### Краткая геолого-геофизическая характеристика площади исследований

Наземные углеводородные геохимические, магнитометрические и гамма-спектрометрические исследования проводились в пределах одного из лицензионных участков, расположенного на юге Западной Сибири.

По данным сейсморазведки МОВ (метод отраженных волн), в середине 1960-х годов на территории участка выявлена антиклиналь, которая является структурой III порядка. В начале 1980-х годов строение положительной структуры было уточнено небольшим объемом сейсморазведочных работ МОГТ (метод общей глубинной точки) (рис. 1).

В границах складки пробурено несколько поисковых скважин, вскрывающих осадочный чехол на всю мощность и палеозойский фундамент на глубину до 34 м.

В геологическом строении осадочного чехла принимают участие породы мезозойского возраста, включающие отложения юрского и мелового периодов. Мезозойская толща перекрыта осадочными образованиями кайнозоя палеогенового, неогенового и четвертичного возраста.

Поисковое бурение осуществлялось в два этапа. В середине 1960-х годов были пройдены три скважины, только в одной при испытании верхнеюрских отложений выявлено нефтепроявление, но его приуроченность к определенному интервалу

установить не удалось. Следует отметить, что на тот момент времени битуминозные аргиллиты баженовской свиты как потенциальный объект для добычи углеводородов не рассматривался.

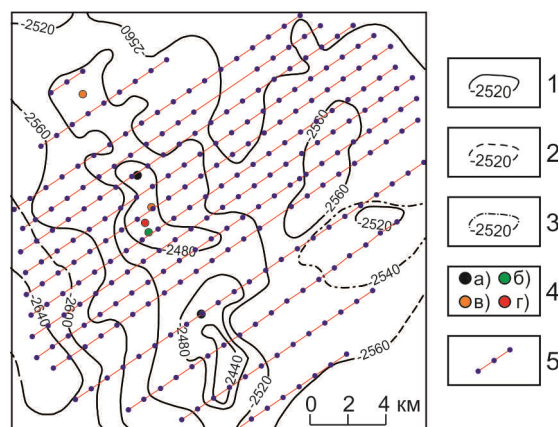


Рис. 1. Схематическая структурная карта по отражающему горизонту IIa (по Н.М. Никифоровой, 1984): изогипсы подошвы баженовской свиты, м: 1) достоверные; 2) предполагаемые; 3) полуизогипсы; 4) скважины: а) без признаков нефти; б) пленки нефти в верхней юре; в) признаки нефти в ядре баженовской свиты; г) промышленный приток в баженовской свите; 5) профили магнитных и гамма-спектрометрических измерений, точки геохимического опробования

Fig. 1. Schematic structural map of the reflecting horizon IIa (according to N.M. Nikiforova, 1984): isohypses of the Bazhenov Formation sole, meters: 1) reliable; 2) anticipated; 3) semiisohypses; 4) wells: a) no signs of oil; б) oil films in Upper Jurassic; в) signs of oil in the core of the Bazhenov Formation; г) commercial flow in the Bazhenov Formation; 5) profiles of magnetic and gamma spectrometric measurements, geochemical sampling points

После получения промышленных притоков нефти из баженовского горизонта на Салымском месторождении было сделано предположение, что и на данном участке возможна продуктивность этих отложений. Бурение было продолжено в начале 1980-х годов и включало комплекс мероприятий, направленных на изучение нефтеносности баженовской толщи. В результате в двух скважинах в баженовской свите были отмечены пленки нефти и признаки нефтенасыщения по керну, в одной скважине получен промышленный приток нефти.

#### Методика выполнения работ

Комплексные наземные исследования проводились по сети профилей с расстоянием между ними 1–2 км (рис. 1).

Магнитная съемка осуществлялась с шагом измерений 25 м протонными магнитометрами «МИНИМАГ» с обязательным измерением вариаций. Гамма-спектрометрические измерения концентраций  $^{40}\text{K}$ ,  $e\text{U}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ),  $^{232}\text{Th}$  проводились по профилям через 200 м полевыми гамма-спектрометрами РКП-305. Пробы грунта извлекались из скважин с глубины 1,5–2,5 м. Шаг опробования –

1 км. Образцы дегазировались термовакуумным способом. Определение в газовой смеси содержания метана и его гомологов ( $C_1-C_7$ ), а также бензола осуществлялось методом газовой хроматографии с предварительным концентрированием в Центре аналитических исследований ФГУП СНИИГГиМС (г. Новосибирск).

Обработка магнитометрической информации включала получение информативных трансформант посредством фильтрации данных, вычисления остаточных составляющих, оценки градиента изменения магнитного поля. Параметр, направленный на картирование микромагнитных аномалий, рассчитывался как разница между дисперсиями разностных компонент, полученных путем вычитания из исходных данных высокочастотной и низкочастотной составляющей магнитного поля соответственно [19].

Анализ результатов гамма-спектрометрических измерений заключался в оценке состояния корреляционных связей между естественными радиоактивными элементами (ЕРЭ), индикаторных отношений между ними, а также дисперсии остаточных составляющих полей концентрации калия и урана [20].

При обработке геохимической информации осуществлялся расчет коэффициентов концентраций углеводородных газов по выборкам, сформированным по признаку литологического состава проб. Для интерпретации углеводородных характеристик геохимического поля использовались показатели, направленные на оценку эпигенетичности газов и выявления эффектов дифференциации углеводородных соединений в миграционном потоке за счет диффузионных, сорбционно-хроматографических, распределительно-хроматографических и термобарических процессов [21–25]. В частности, анализировалось пространственное изменение значений отношений: алканов и алкенов; газообразных и парообразных гомологов метана; изомерных и нормальных форм бутана и пентана; бензола к сумме гексана и гептана. В случаях присутствия резко выделяющихся «ураганных» значений индикаторных показателей с целью улучшения визуального восприятия структуры геохимического поля в диапазонах средних и низких значений отношения рассчитывались по формуле [26]

$$\frac{a^*}{b} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}},$$

где  $a$ ,  $b$  – концентрация одного и другого компонента (например, алканов и алкенов).

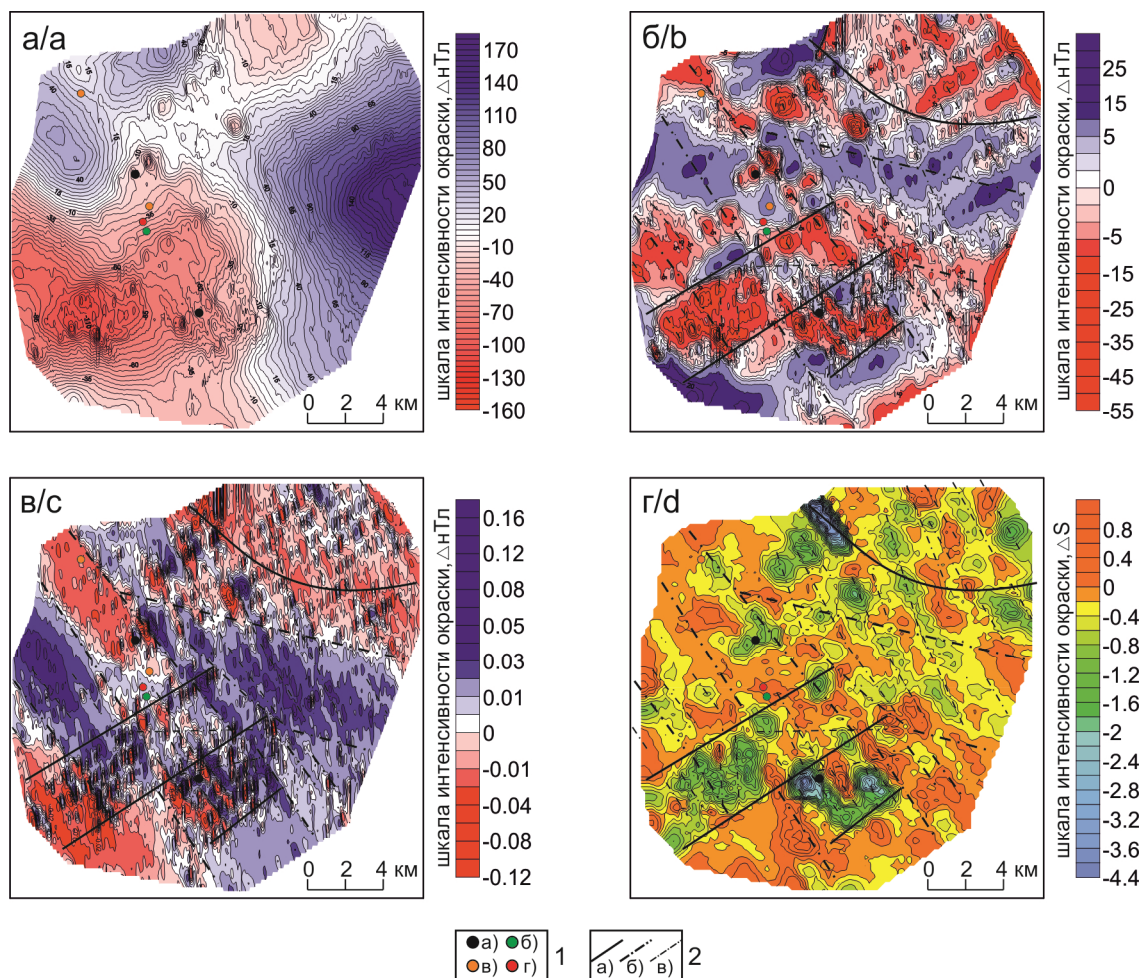
#### Обсуждение результатов

Особенности магнитного поля указывают на гетерогенное строение палеозойского фундамента участка исследований (рис. 2, а). Линейные границы между сегментами доюрского основания указывают на их тектонический характер. По всей видимости, они разделяют приподнятые жесткие

участки и депрессионные структурные элементы. Наличие приподнятых блоков и отрицательных структур повлияло на дальнейшее развитие мезозойско-кайнозойской осадочной толщи. Известно, что морфоструктуры чехла Западно-Сибирской плиты отчетливо наследуют тектонические элементы герцинской системы фундамента. Области пониженного магнитного поля интерпретируются как интрузивы кислого состава, послужившие основанием для формирования антиклинальных складок и перегибов. Не вызывает сомнения приуроченность к блокам с подобной характеристикой магнитного поля большей части антиклинали, а также «структурного носа», намечающегося в юго-западной части участка (рис. 1). Исходя из этого, предполагается более сложная морфология юрских горизонтов, чем это представляется по имеющимся структурным построениям. Помимо тектонических контактов блоков фундамента по магнитным данным в палеозойских консолидированных отложениях картируется система разрывных нарушений более низкого порядка, в основном северо-западного и реже северо-восточного простирания (рис. 2, б и в).

С точки зрения тектонических факторов, влияющих на емкостные свойства нефтематеринских пород, участок характеризуется сочетанием группы благоприятных признаков. Уже отмечалась положительная роль пликативной и дизъюнктивной тектоники в формировании трещинных и трещино-кавернозных коллекторов как для североамериканский, так и для западносибирских объектов сланцевой нефти. Это подтверждается физическим моделированием роста антиклинальных складок, создающего пластические напряжения, приводящие к возникновению в хрупких породах трещин различного направления [14, 27]. В зонах влияния глубинных долгоживущих тектонических разломов происходит улучшение коллекторских свойств баженовского горизонта за счет выщелачивания минералов под воздействием флюидов в периоды тектоногидротермальной активизации [14]. Следы гидротермальной деятельности в виде наложенной эпигенетической минерализации, в том числе и в баженовской свите, устанавливались неоднократно и достаточно хорошо изучены [14, 28]. Кроме того, с позиции флюйодинамических представлений о формировании залежей нефти и газа подобные глубинные структуры характеризуются повышенным тепловым потоком и микросейсмичностью. Наличие этих особенностей способствует более быстрому созреванию рассеянного органического вещества и интенсификации процессов генерации углеводородов.

Существование глубинных проницаемых структур фиксируется в радиогеохимическом поле. На это указывает ортогональная система линейных неоднородностей пониженных корреляционных взаимосвязей между калием и торием (рис. 3, а). Согласно результатам исследований



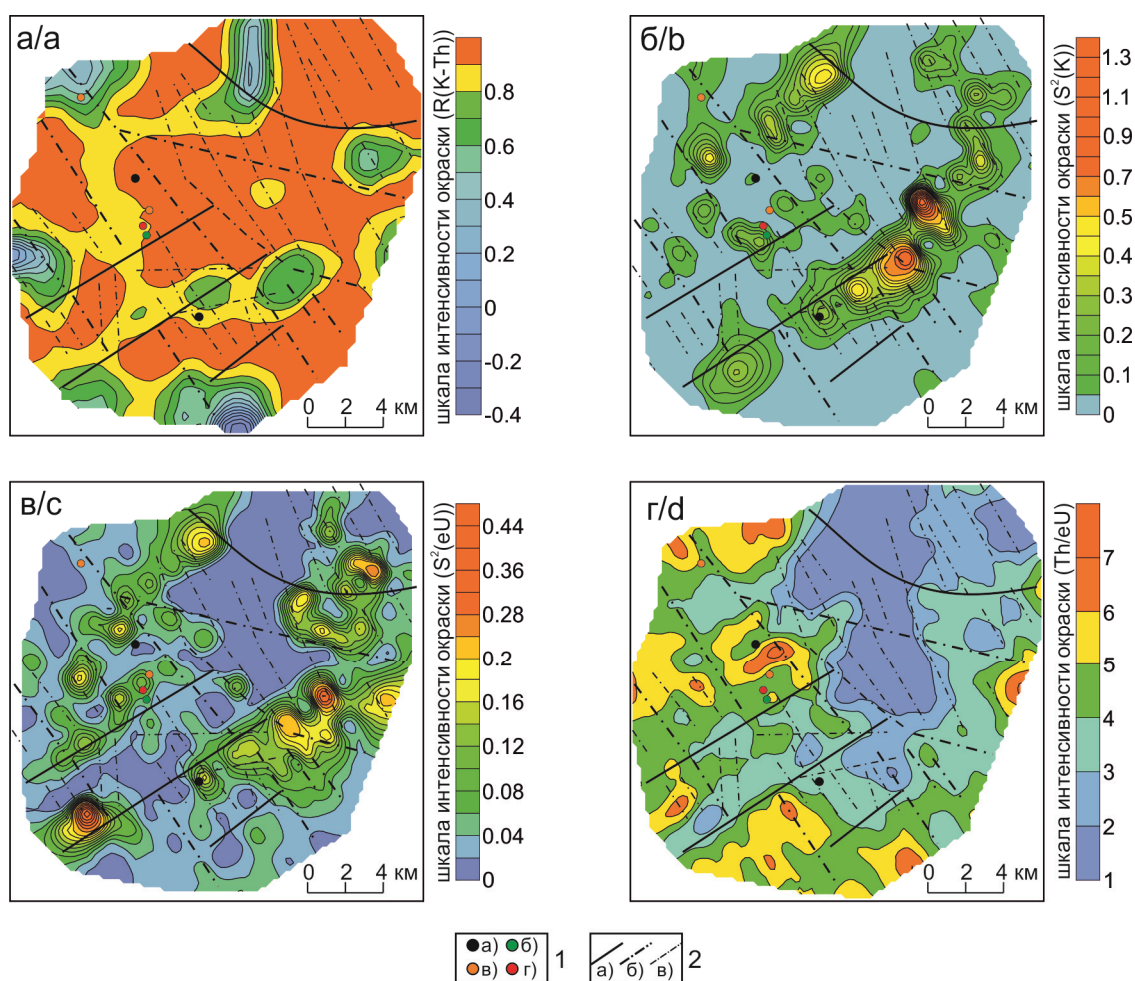
**Рис. 2.** Планы изолиний наблюдаемых значений (а), остаточных значений (б), полного градиента (в) и разностного дисперсионного параметра (г) приращения полного вектора индукции магнитного поля: 1) скважины: а) без признаков нефти; б) пленки нефти в верхней юре; в) признаки нефти в ядре баженовской свиты; г) промышленный приток в баженовской свите; 2) элементы тектонического строения по данным магнитометрии: а) тектонические границы блоков фундамента; б) основные разрывные нарушения; в) прочие разрывные нарушения

**Fig. 2.** Plans of isolines of the observed values (a), the residual values (b), the full gradient (c) and the differential dispersion parameter (d) of increment of the magnetic field total vector: 1) wells: a) no signs of oil; б) oil films in Upper Jurassic; в) signs of oil in the core of the Bazhenov Formation; г) commercial flow in the Bazhenov Formation; 2) the elements of the tectonic structure by the magnetometry data: a) the tectonic boundaries of the basement blocks; б) the main faults; в) other faults

Н.Г. Лященко [29], в строении области аномально низких корреляционных взаимосвязей ЕРЭ торий-калиевый корреляционный ореол часто локализован и слагает ядерную часть. В генетическом смысле его можно связать с подстилающим энергогенерирующим глубинным очагом. Продуктивная скважина участка находится поблизости от узла пересечения субмеридиональной и субширотной зон низкой корреляции этих двух радиоэлементов. Эпигенетическое влияние глубинных структур с активным массопереносом вещества также проявляется повышенной дисперсией разностных компонент полей концентрации калия и урана (рис. 3, б и в).

В торий-урановом отношении участок разделяется на западную с повышенными и восточную с пониженными значениями показателя части (рис. 3, г). Для залежей углеводородов традицион-

ного типа характерно возникновение ореолов высокого Th/eU в области преимущественно диффузионной миграции углеводорода сквозь слабопроницаемые породы покровы и более локальных аномалий низкого Th/eU над участками фильтрации по зонами повышенной проницаемости, пространственно сопряженных с водоуглеводородными контактами [20]. Применительно к прогнозу нефтеносности баженовской свиты, дифференциацию территории на две части на карте Th/eU, на наш взгляд, можно интерпретировать с позиции интенсивности генерации углеводородов и флюидоупорных свойств осадочного чехла. Известно об изучении возможности использования радиогеохимических методов для картирования зон влияния разрывных нарушений в аспекте поисков сланцевого газа в США [30]. Однако чрезмерно вы-



**Рис. 3.** Планы изолиний ранговой корреляции калия и тория (а), дисперсии остаточных значений содержания калия (б) и урана (в), торий-уранового отношения (г). Условные обозначения см. на рис. 2

**Fig. 3.** Plans of isolines of rank correlation of potassium and thorium (a), the dispersion of residual values of potassium (b) and uranium (c) content, the thorium–uranium ratio (d): the symbols are the same as in Fig. 2

сокая проницаемость тектонических зон может способствовать активной миграции нефти из нефтематеринских пород либо разрушению скоплений под воздействием межпластовых водных перетоков. Поэтому видится наиболее благоприятным сочетание признаков наличия и близости разрывных нарушений при повышенном торий-урановом отношении радиогеохимического поля.

Разная интенсивность дегазации разреза западной и восточной частей участка хорошо подтверждается в особенностях поля микромагнитных аномалий (рис. 2, з). На востоке наблюдается большая плотность линейных зон, главным образом северо-западного простирания, обладающих более высокой дисперсией остаточного поля в диапазоне низких частот магнитного поля (отрицательные значения показателя). Это указывает на глубокое проникновение каналов миграции, образуемых разрывными нарушениями, в осадочном чехле и, как следствие, его низкие флюидоупорные свойства. Для западной половины территории харак-

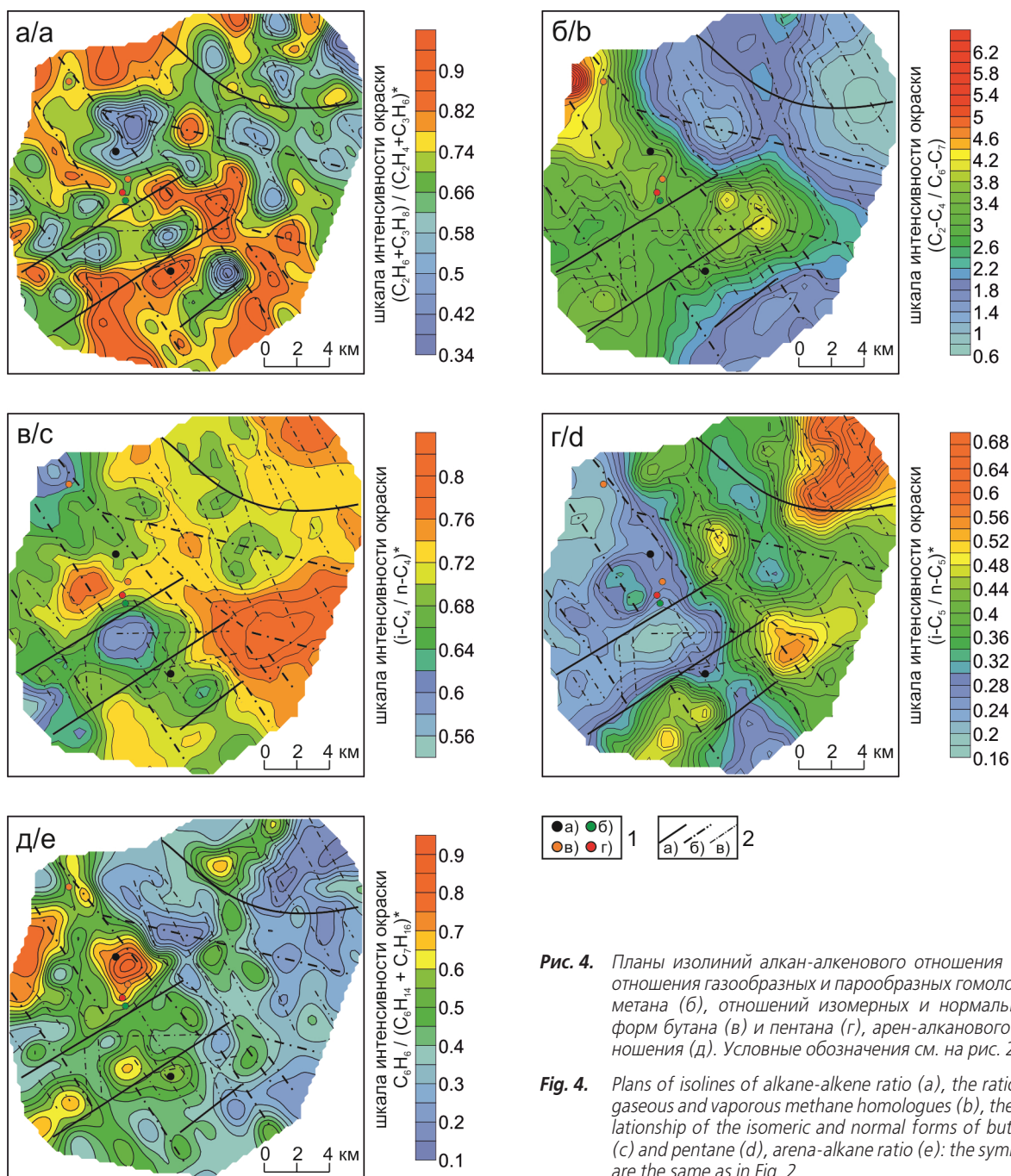
терно наличие блоков, особенно в северо-западном секторе, где магнитное поле соответствует представлениям о формировании магнитных эпигенетических эффектов в верхней части разреза, то есть над скоплениями углеводородов [31].

Особенности структурно-тектонического строения участка во многом определили облик углеводородного геохимического поля. На большую роль в массопереносе вещества каналов тектонического генезиса указывает линейный характер большинства аномалий высоких значений алкан-алкенового отношения (рис. 4, а) и их пространственное совпадение с тектоническими границами фундамента, прогнозируемые по данным магнитной съемки (рис. 2, б и в). Несмотря на повсеместное присутствие геохимических признаков эпигенетической миграции с доминированием процессов фильтрации, в западной части площади исследований отчетливо проявляются признаки диффузионной дифференциации углеводородных компонентов. Это выражается в увеличении доли в припо-

верхностном горизонте газов по отношению к паробразным соединениям (рис. 3, б). Соответственно, здесь можно предполагать более высокую защищенность потенциальных нефтеносных горизонтов от факторов, способствующих деградации залежей углеводородов. Подтверждением данному выводу являются особенности соотношений концентраций изомерных и нормальных форм гомологов метана. В структуре полей  $i\text{-C}_4\text{H}_{10}/n\text{-C}_4\text{H}_{10}$  и  $i\text{-C}_5\text{H}_{12}/n\text{-C}_5\text{H}_{12}$  в восточной половине и на юге участка доминируют высокие значения этих показателей при относительном снижении в северо-за-

падном секторе (рис. 3, в и г). По всей видимости, это связано с реализацией на северо-западе территории эффекта молекулярных сит с предпочтительной миграцией сквозь слабопроницаемые отложения  $n$ -алканов по сравнению с разветвленными [21].

Отношение концентраций бензола к сумме гексана и гептана в генетическо-смысловом аспекте рассматривается нами как аналог бензол-толуолового отношения, являющийся информативным индикатором при поисках нефти и локальном прогнозе контуров нефтеносности в Западно-Си-



**Рис. 4.** Планы изолиний алкан-алкенового отношения (а), отношения газообразных и парообразных гомологов метана (б), отношений изомерных и нормальных форм бутана (в) и пентана (г), арена-алканового отношения (д). Условные обозначения см. на рис. 2

**Fig. 4.** Plans of isolines of alkane-alkene ratio (a), the ratio of gaseous and vaporous methane homologues (b), the relationship of the isomeric and normal forms of butane (c) and pentane (d), arena-alkane ratio (e): the symbols are the same as in Fig. 2

бирской нефтегазоносной провинции [26]. Его применение основывается на проявлении сорбционно-хроматографического и распределительно-хроматографического разделения жидких углеводородов при миграции за счет существенных различий между молекулярными массами бензола и данных гомологов метана, а также их растворимостью. Учитывая, что для западносибирской нефти типично высокое содержание бензола, рост арен-алканового отношения будет характерен для областей локализации нефтяных скоплений на участках с хорошими флюидоупорными свойствами разреза. С этой точки зрения признаками нефтеносности обладает северо-запад площади съемки, где при общем повышенном фоне значений этого показателя выявлено несколько положительных аномалий (рис. 3, д).

В статье сознательно не обсуждались возможности локального прогноза контуров нефтеносности из-за недостаточной детальности исследований. К тому же в скважинах, пробуренных в 1960-х годах нефтеносность баженовского горизонта не изучалась, поэтому вызывает сомнение их отнесение к разряду «без признаков нефтеносности». Тем не менее обращает внимание положение продуктивной скважины возле места сочленения линейных ослабленных структур субмеридионального и субширотного направлений. К узлу сопряжения дизъюнктивов тяготеет аномалия высокого арен-алканового отношения. При этом прогнозируемое разрывное нарушение субширотного простирания в углеводородном геохимическом поле слабо проявлено единичными аномалиями невысокой контрастности. Это позволяет говорить о сравнительно невысокой проницаемости данной геологической неоднородности, что характерно в целом для северо-западного сектора участка. В противоположность скважинам с признаками нефтеносно-

сти непродуктивные скважины находятся в магнитном поле с признаками активной глубинной миграции.

### Заключение

Особенностью данной территории является значительное распространение проницаемых структур, наследующих элементы разрывной тектоники палеозойского фундамента. Их эпигенетическое влияние находит свое отражение в особенностях углеводородного геохимического, магнитного и радиогеохимического полей. Поисковые показатели, используемые для выявления традиционных скоплений углеводородов, применимы и для залежей нефти в отложениях баженовской свиты. Они позволяют картировать разрывные нарушения глубинного заложения, которые могут благоприятно сказываться на появлении в битуминозных аргиллитах трещинного и трещинно-кавернозного пространства, выявлять области современной генерации углеводородных компонентов в сочетании с участками низкой проницаемости разреза. Совокупность этих признаков не противоречит современным представлениям об особенностях локализации нефти в объектах сланцевого типа. Учитывая, что важную роль в продуктивности баженовского горизонта, по всей видимости, играют сравнительно узкие геологические структуры линейного характера, масштаб съемки должен быть не мельче чем 1:25000. Видится целесообразным включение в комплекс исследований методов, направленных на выявление глубинных структур повышенной проницаемости. В частности, анализ таких газов, как гелий и радон, которые являются весьма информативными показателями для расшифровки блокового строения при поисках традиционных залежей нефти и газа [30, 32–34].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка запасов «сланцевой нефти» по геохимическим параметрам / М.В. Дахнова, С.В. Можегова, Е.С. Назарова, И.Л. Пайзанская // Геология нефти и газа. – 2015. – № 4. – С. 55–61.
2. Davidson M.J. Toward a general theory of vertical migration // Oil & Gas Journal. – 1982. – V. 80. – № 25. – P. 288–299.
3. Schumacher D. Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments / Eds. D. Schumacher, M.A. Abrams // Hydrocarbon migration and its near surface expression. The American Association of Petroleum Geologists Memoir. – 1996. – V. 66. – P. 71–89.
4. Saunders D.F., Burson K.R., Tompson C.K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations // The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. – 1999. – V. 83. – № 1. – P. 170–185.
5. Боровиков В.Н. Системный базис парагенезиса геополей продуктивного и надпродуктивного комплексов // Геология нефти и газа. – 2005. – № 6. – С. 33–42.
6. Гурари Ф.Г., Гурари И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 1974. – № 5. – С. 36–40.
7. Зарипов О.Г., Сонич В.П., Юсупов К.С. О механизме образования коллектора в отложениях баженовской свиты // Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири: научные труды. – М.: ИГиРГИ, 1980. – С. 48–57.
8. Berg R.R., Gangi A.F. Primary migration by oil-generation microfracturing in low permeability source rocks: Application to the Austin Chalk, Texas // AAPG Bulletin. – 1999. – V. 83. – № 5. – P. 727–756.
9. Pitman J.K., Price L.C., LeFever J.A. Diagenesis and fracture development in the Bakken Formation, Williston Basin: Implications for reservoir quality in the middle member. – U.S. Geological Survey Professional Paper 1653. – Denver, 2001. – 19 p. URL: <http://pubs.usgs.gov/pp/p1653/p1653.pdf> (дата обращения: 15.06.2016).
10. Specific features of Bazhenov suite sediments in south-eastern Nurolsk sedimentary basin (Tomsk Oblast) / N. Nedolivko, T. Perevertailo, L. Cunyi, R. Abramova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Tomsk: IOP Publ., 2015. – V. 27. – № 1. – P. 012014.
11. Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири / под ред. Т.В. Дорофеевой – Л.: Недра, 1983. – 132 с.

12. Прищепова О.М., Аверьянова О.Ю. Формация Баккен: геология, нефтегазоносность и история разработки // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8. – № 2. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/9/19\\_2013.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/19_2013.pdf) (дата обращения: 18.06.2016).
13. Алексеев А.Д. Баженовская свита: в поисках большой сланцевой нефти на Верхнем Салыме. Часть 2 // ROGTEC Magazine. – 2013. – № 35. – С. 14–27.
14. Зубков М.Ю. Коллекторы в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и способы их прогноза // Геология нефти и газа. – 2014. – № 5. – С. 58–71.
15. The Bakken Formation – an integrated geologic approach to horizontal drilling / J. Carlisle, L. Dryff, M. Fryt, J. Artindale, H. Von Der Dick / Eds. J.E. Schmoker, E. Coalson, C. Brown // Geologic studies relevant to horizontal drilling: Examples from western North America: Rocky Mountain Association of Geologists. – Colorado: RMAG, 1992. – P. 215–226.
16. Боркун Ф.Я., Цимбалюк Ю.А. Геолого-геофизические поисковые критерии залежей нефти в баженовской и абалакской свитах Западной Сибири // Tyumen 2009-EAGE International Conference and Exhibition. – 2009. DOI: 10.3997/2214-4609.201405310.
17. Easley E.J. A fracture and texture analysis of the Bakken Formation, Montana: PhD thesis. – Montana, 2014. – 178 p.
18. Sonnenberg S.A. The upper Bakken shale resource play, Williston Basin // American Association of Petroleum Geologists: Proc. of the 2<sup>nd</sup> Unconventional Resources Technology Conference. – Cleveland, 2014. – P. 25–27.
19. Особенности обработки и интерпретации магниторазведочных и литохимических данных при поисках месторождений нефти и газа в условиях Сибирской платформы / И.С. Соболев, Н.П. Бредихин, В.П. Меркулов, А.Н. Орехов // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 4. – С. 6–18.
20. Рихванов Л.П., Соболев И.С., Лященко Н.Г. Радиогеохимические методы поисков месторождений нефти и газа // Прикладная геохимия: сб. статей. – М.: Изд-во ИМГРЭ, 2002. – Т. 3. – С. 383–394.
21. Основы теории геохимических полей углеводородных скоплений / под ред. А.В. Петухова, И.С. Старобинца. – М.: Недра, 1993. – 332 с.
22. Sundberg K.R. Surface geochemistry applications in oil and gas exploration // Oil and Gas Journal. – 1994. – V. 92. – № 23. – P. 47–58.
23. Jones V.T., Matthews M.D., Richers D.M. Light hydrocarbons for petroleum and gas prospecting // Handbook of exploration geochemistry. – 2000. – V. 7. – P. 133–212.
24. Analysis of light hydrocarbons in soil gases, Lost River region, West Virginia: relation to stratigraphy and geological structures / W. Harbert, V.T. Jones, J. Izzo, T.H. Anderson // AAPG Bulletin. – 2006. – V. 90. – № 5. – P. 715–734.
25. Surface geochemical exploration for hydrocarbons in the area of prospective structures of The Lublin Trough (Eastern Poland) / H. Sechman, G. Izydor, P. Guzy, M. Dzieniewicz // Marine and Petroleum Geology. – 2015. – V. 61. – P. 22–38.
26. Необходимость применения геохимической съемки при подготовке структур к эксплуатационному бурению на примере Тямкинского и Усть-Тегусского месторождений (Уватский район Тюменской области) / А.Р. Курчиков, Д.В. Емельянов, Р.И. Тимшанов, А.Ю. Белоносов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – № 6. – С. 25–37.
27. Nevin C.M., Sherril R.E. Studies on differential compaction // AAPG Bulletin. – 1929. – V. 13. – № 1. – P. 1–22.
28. Минералого-геохимические особенности баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических исследований / Л.П. Рихванов, Д.Г. Усольцев, С.С. Ильенок, А.В. Ежова // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 1. – С. 50–63.
29. Лященко Н.Г. Урановые рудообразующие системы // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 1. – С. 25–31.
30. Ghahremani D.T. Radon prospecting for hydrocarbon: potential strategy for Devonian shale gas in N.E. Ohio. PhD Thesis. – Cleveland, 1985. – 259 p.
31. 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.
32. Радиометрическая съемка с использованием термолуминесцентных детекторов при поисках месторождений нефти и газа / И.С. Соболев, А.А. Гришко, Л.П. Рихванов, В.С. Барановский // Геология нефти и газа. – 2007. – № 6. – С. 19–23.
33. Уточнение геологического строения залежей углеводородов по данным газо-геохимических методов разведки с использованием радоно-гелиевой съемки / А.В. Бочкарев, А.В. Кияков, В.Н. Кияков, С.В. Остроухов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 6. – С. 29–34.
34. Моделирование разломно-блоковой структуры месторождения по данным радоно-гелиевой съемки / А.В. Кияков, В.Н. Кияков, А.В. Бочкарев, А.К. Шевченко, С.В. Остроухов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 4. – С. 16–19.

Поступила 20.06.2016 г.

#### Информация об авторах

**Соболев И.С.**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального Исследовательского Томского политехнического университета.

**Орехов А.Н.**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики Института природных ресурсов Национального Исследовательского Томского политехнического университета.

**Бредихин Н.П.**, аспирант кафедры геоэкологии и геохимии Института природных ресурсов Национального Исследовательского Томского политехнического университета.



UDC 550.849, 550.838.3, 550.835.23, 553.98

## EXPERIENCE IN SURFACE HYDROCARBON GEOCHEMICAL, GAMMA-RAY SPECTROMETRY AND MAGNETIC SURVEY ON OIL FIELD IN THE BAZHENOV FORMATION

Igor S. Sobolev<sup>1</sup>,  
geolsob@yandex.ru

Aleksandr N. Orekhov<sup>1</sup>,  
orekhovan@mail.tomsknet.ru

Nikolay P. Bredikhin<sup>1</sup>,  
bnp1991@mail.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

The relevance of the research is caused by insufficient study of the issue on the possibility on applying the ground geochemical and geophysical (non-seismic) methods when searching for hydrocarbon deposits in black shale rock formations. Such deposits with high oil content resource potential of Western Siberia are bituminous mudstones Bazhenov Formation. According to the features of their localization the autochthonous oil accumulations have a number of significant differences from the traditional oil and gas fields, and well-established models of epigenetic formation of abnormal geofields are not really relevant for interpreting the geochemical and geophysical survey data in similar geological conditions. Therefore there is a need to assess the information content of these search methods to identify the objects of oil and gas shale type. The paper introduces the results of the geochemical and high-precision ground radiogeochemical and magnetic surveys in the south of Western Siberia.

**The main aim** of the research is to study the structural features of the subsurface hydrocarbon geochemical, radiogeochemical and magnetic fields and their transforms, on the oil field in the Bazhenov Formation.

**The methods used in the study:** ground high-precision magnetic field measurement methods and radiogeochemical fields, laboratory testing of samples for the maintenance of hydrocarbon components, data statistical processing, including filtering methods and relative parameters of shale oil field in the south of Western Siberia.

**The results of the research.** The authors have evaluated the quantitative relationship and qualitative characteristics of the analyzed geofields with structural-tectonic peculiarities of the territory structure and its oil potential by: the indicators of residual magnetic field, dispersion and gradient of magnetic field; dispersion of radiogeochemical indicators; analysis of changes in the values of hydrocarbon indicator ratios.

### Key words:

Geochemistry, magnetic survey, lithochemical samples, hydrocarbon deposits, the Bazhenov formation, shale oil.

### REFERENCES

- Dakhnova M.V., Mozhegova S.V., Nazarova E.S., Payzanskaya I.L. Inventory valuation of «shale oil» in geochemical parameters. *Oil and gas geology*, 2015, no. 4, pp. 55–61. In Rus.
- Davidson M.J. Toward a general theory of vertical migration. *Oil & Gas Journal*, 1982, vol. 80, no. 25, pp. 288–299.
- Schumacher D. Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments. Eds. D. Schumacher, M.A. Abrams. *Hydrocarbon migration and its near surface expression. The American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1996, vol. 66, pp. 71–89.
- Saunders D.F., Burson K.R., Tompson C.K. Model for hydrocarbon microseepage and related near-surface alterations. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1999, vol. 83, no. 1, pp. 170–185.
- Borovikov V.N. System basis of paragenesis of productive and above productive complexes geofields. *Oil and gas geology*, 2005, no. 6, pp. 33–42. In Rus.
- Gurari F.G., Gurari I.F. Formirovanie zalezhey nefti v argillitakh bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri [Formation of oil deposits in shales of the Bazhenov Formation in Western Siberia]. *Oil and gas geology*, 1974, no. 5, pp. 36–40.
- Zaripov O.G., Sonich V.P., Yusupov K.S. O mekhanizme obrazovaniya kollektora v otlozheniyakh bazhenovskoy svity [Oil-bearing Bazhenov Formation in Western Siberia]. *Neftenosnost bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri: Nauchnye Trudy* [Oil-bearing of bazhenov suit in Western Siberia. Scientific papers]. Moscow, IGIRGI Press, 1980, pp. 48–57.
- Berg R.R., Gangi A.F. Primary migration by oil-generation microfracturing in low permeability source rocks: Application to the Austin Chalk, Texas. *AAPG Bulletin*, 1999, vol. 83, no. 5, pp. 727–756.
- Pitman J.K., Price L.C., LeFever J.A. Diagenesis and fracture development in the Bakken Formation, Williston Basin: Implications for reservoir quality in the middle member. *U.S. Geological Survey Professional Paper 1653*. Denver, 2001, 19 p. Available at: <http://pubs.usgs.gov/pp/p1653/p1653.pdf> (accessed 15 June 2016).
- Nedolivko N., Perevertailo T., Cunyi L, Abramova R. Specific features of Bazhenov suite sediments in south-eastern Nurolsk sedimentary basin (Tomsk Oblast). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Tomsk, IOP Publishing, 2015. Vol. 27, no. 1, pp. 012014.
- Kollektory nefti bazhenovskoy svity Zapadnoy Sibiri* [Oil collectors of Bazhenov Formation in Western Siberia]. Ed. by T.V. Dorofeeva. Leningrad, Nedra Publ., 1983. 132 p.
- Prishchepova O.M., Averyanova O.Yu. Bakken formation: geology, development history and petroleum potential. *Neftgazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2013, vol. 8, no. 2. Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/9/19\\_2013.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/19_2013.pdf) (accessed 18 June 2016).
- Alekseev A.D. Bazhenov formation: searching for large shale oil in the Upper Salym. P. 2. *ROGTEC Magazine*, 2013, no. 35, pp. 14–27. In Rus.
- Zubkov M.Yu. Collectors in Bazhenov-Abalaksy complex of Western Siberia and methods of their forecasting. *Oil and gas geology*, 2014, no. 5, pp. 58–71. In Rus.

15. Carlisle J., Dryff L., Fryt M., Artindale J., Von Der Dick H. The Bakken Formation – an integrated geologic approach to horizontal drilling. Eds. J.E. Schmoker, E. Coalson, C. Brown. *Geologic studies relevant to horizontal drilling: Examples from western North America: Rocky Mountain Association of Geologists*. Colorado, RMAG, 1992, pp. 215–226.
16. Borkun F.Ya., Tsimbalyuk Yu.A. Geological and geophysical criteria to search for oil deposits in the Bazhenov and Abalak Formation in Western Siberia. *Tyumen 2009-EAGE International Conference and Exhibition*, 2009, DOI: 10.3997/2214-4609.201405310.
17. Easley E.J. *A fracture and texture analysis of the Bakken Formation*. PhD thesis. Montana, 2014. 178 p.
18. Sonnenberg S.A. The upper Bakken shale resource play, Williston Basin. *Proc. of the 2<sup>nd</sup> Unconventional Resources Technology Conference. American Association of Petroleum Geologists*. Cleveland, 2014. pp. 25–27.
19. Sobolev I.S., Bredikhin N.P., Merkulov V.P., Orekhov A.N. Features of processing and interpretation of magnetic and lithochemical data while exploring oil and gas fields in Siberian platform conditions (by the example of Imbinskaya gas-bearing area). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 4, pp. 6–18.
20. Rikhvanov L.P., Sobolev I.S., Lyashchenko N.G. Radiogeokhimicheskie metody poiskov mestorozhdeniy nefiti i gaza [Radiogeochemical methods of oil and gas prospecting]. *Prikladnaya geokhimiya: sbornik statey* [Applied geochemistry. Collected papers]. Moscow, IMGRE Publ., 2002. Vol. 3, pp. 383–394.
21. *Osnovy teorii geokhimicheskikh poley uglevodorodnykh skopleniy* [Fundamentals of geochemical fields of hydrocarbon accumulations]. Eds. A.V. Petukhov, I.S. Starobinets. Moscow, Nedra Publ., 1993. 332 p.
22. Sundberg K.R. Surface geochemistry applications in oil and gas exploration. *Oil & Gas Journal*, 1994, vol. 92, no. 23, pp. 47–58.
23. Jones V.T., Matthews M.D., Richers D.M. Light hydrocarbons for petroleum and gas prospecting. *Handbook of exploration geochemistry*, 2000, vol. 7, pp. 133–212.
24. Harbert W., Jones V.T., Izzo J., Anderson T.H. Analysis of light hydrocarbons in soil gases, Lost River region, West Virginia: relation to stratigraphy and geological structures. *AAPG Bulletin*, 2006, vol. 90, no. 5, p. 715–734.
25. Sechman H., Izydor G., Guzy P., Dzieniewicz M. Surface geochemical exploration for hydrocarbons in the area of prospective structures of the Lublin Trough (Eastern Poland). *Marine and Petroleum Geology*, 2015, vol. 61, pp. 22–38.
26. Kurchikov A.R., Emelyanov D.V., Timshanov R.I., Belonov A.Yu. Neobkhdimost primeneniya geokhimicheskoy semki pri podgotovke struktur k ekspluatatsionnomu bureniyu na primere Tyamkinskogo i Ust-Tegusskogo mestorozhdeniy (Uvatskiy rayon Tyumenskoy oblasti) [The need for geochemical survey in preparing the structures for production drilling on the example Tyamkinskoye and Ust-Tegusskoe deposits (Uvat district of the Tyumen region)]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2013, no. 6, pp. 25–37.
27. Nevin C.M., Sherril R.E. Studies on differential compaction. *AAPG Bulletin*, 1929, vol. 13, no. 1, pp. 1–22.
28. Rikhvanov L.P., Usoltsev D.G., Ilenok S.S., Ezhova A.V. Mineralogical and geochemical characteristics of the Bazhenov Formation in Western Siberia according to nuclear physics and electron microscopy studies. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 1, pp. 50–63. In Rus.
29. Lyashchenko N.G. Uranium ore-forming systems. *Razvedka i okhrana nedr*, 2010, no. 1, pp. 25–31. In Rus.
30. Ghahremani D.T. *Radon prospecting for hydrocarbon: potential strategy for Devonian shale gas in N.E. Ohio*. PhD Thesis. Cleveland, 1985, 259 p.
31. Merkulov V.P. Magnetic fields of oil and gas deposits and possibilities of their using for the mapping of hydrocarbons traps. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2002, vol. 305, no. 6, pp. 218–224.
32. Sobolev I.S., Grishko A.A., Rikhvanov L.P., Baranovskiy V.S. Radiometric survey using thermoluminescent detectors in searching for oil and gas fields. *Oil and gas geology*, 2007, no. 6, pp. 19–23. In Rus.
33. Bochkarev A.V., Kilyakov A.V., Kilyakov V.N., Ostroukhov S.V. Utochnenie geologicheskogo stroeniya zalezhey uglevodorodov po dannym gazo-geokhimicheskikh metodov razvedki s ispolzovaniem radono-gelievoy semki [Clarification of geological structure of hydrocarbons deposits according to gas-geochemical exploration methods using radon-helium shooting]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2014, no. 6, pp. 29–34.
34. Kilyakov A.V., Kilyakov V.N., Bochkarev A.V., Shevchenko A.K., Ostroukhov S.V. Modelirovanie razlomno-blokovoy struktury mestorozhdeniya po dannym radono-gelievoy semki [Simulation of fault-block structure of a deposit by radon helium shooting]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2015, no. 4, pp. 16–19.

*Received: 20 June 2016.*

#### Information about the authors

**Igor S. Sobolev**, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Aleksandr N. Orekhov**, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Nikolay P. Bredikhin**, assistant, National Research Tomsk Polytechnic University.