

Зависимость содержания и состава органического вещества от литологических типов пород баженовской свиты

В.Д. Немова

к.г.-м.н., начальник отдела технологий разработки нетрадиционных объектов
Varvara.Nemova@lukoil.com

Т.А. Матюхина

ведущий специалист отдела технологий разработки нетрадиционных объектов
Tatyana.Matyukhina@lukoil.com

ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия

Проведены масштабные литологические и геохимические исследования керна баженовской свиты. Рассмотрены некоторые аспекты методики лабораторных исследований керна, основанной на изучении образцов пород до и после воздействия на них органическими растворителями. Описаны условия осадконакопления отложений баженовской свиты, свойства и особенности ее строения, сходства и различия основных типов пород баженовской свиты, указаны причины их различий. Дана характеристика нефтематеринских пород, коллекторов. Отдельное внимание уделено содержанию углеводородов в разных типах пород. Описаны факторы, влияющие на формирование коллекторов баженовской свиты, свойства различных типов коллекторов, закономерности их распространения в разрезе и на площади.

Материалы и методы

Комплексные исследования керна и их интерпретация.

Ключевые слова

баженовская свита, лабораторные исследования, коллекторы нефти, литология, геохимия

Баженовский горизонт известен как основная нефтематеринская толща Западной Сибири. Одновременно в теле горизонта присутствуют и проницаемые пласты, содержащие подвижную извлекаемую нефть. Благодаря такой двуединой сущности — нефтематеринской формации, содержащей автохтонные залежи нефти, — горизонт является носителем стратегических запасов углеводородов России.

Промышленные притоки нефти из баженовских пластов Ю₀ получены более чем на 90 месторождениях. Известная более 50 лет нефтематеринская формация дважды становилась целевым объектом исследований. Первый раз — в 70–80-х годах XX века, когда были проведены обобщения всех накопленных данных по тематике. Второй раз — в последние 10 лет, когда крупнейшие нефтяные компании России на своих лицензионных участках начали вести целенаправленные работы по поиску эффективного способа разработки данных отложений. В результате пробурен ряд современных скважин практически с полным отбором изолированного керна, впоследствии изученного различными лабораторными методами, проведены промышленные мероприятия по выявлению точных интервалов притока баженовского горизонта, гидропрослушивание, отбор и исследование нефтей с целью определения их свойств и распространения единых полей нефтеносности, протестированы технологии бурения скважин с горизонтальным окончанием с многосекционными гидроразрывами пластов, различные методы интенсификации притока. На Средне-Назымском месторождении компания АО «РИТЭК» реализует технологию термогазового воздействия на пласт с целью повышения его нефтеотдачи [5].

В основу статьи положены результаты изучения более 100 скважин с кондиционным керном баженовской свиты на разных месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа, что на сегодняшний день является самым масштабным обобщением фактических данных. Представленные ниже результаты характеризуют баженовский горизонт, находящийся на стадии преобразования ОВ МК₁₋₂.

Важно понимать, что баженовская свита существенно отличается от других нефтематеринских толщ, разработка которых ведется в мире. Поэтому ее необходимо исследовать не методом аналогий, а в лабораториях, с опорой на керновый материал высокого качества. Только такие работы позволяют создать надежную фактическую базу данных, на основании которой можно строить геологические модели, считать запасы и планировать разработку объекта.

Результаты исследований

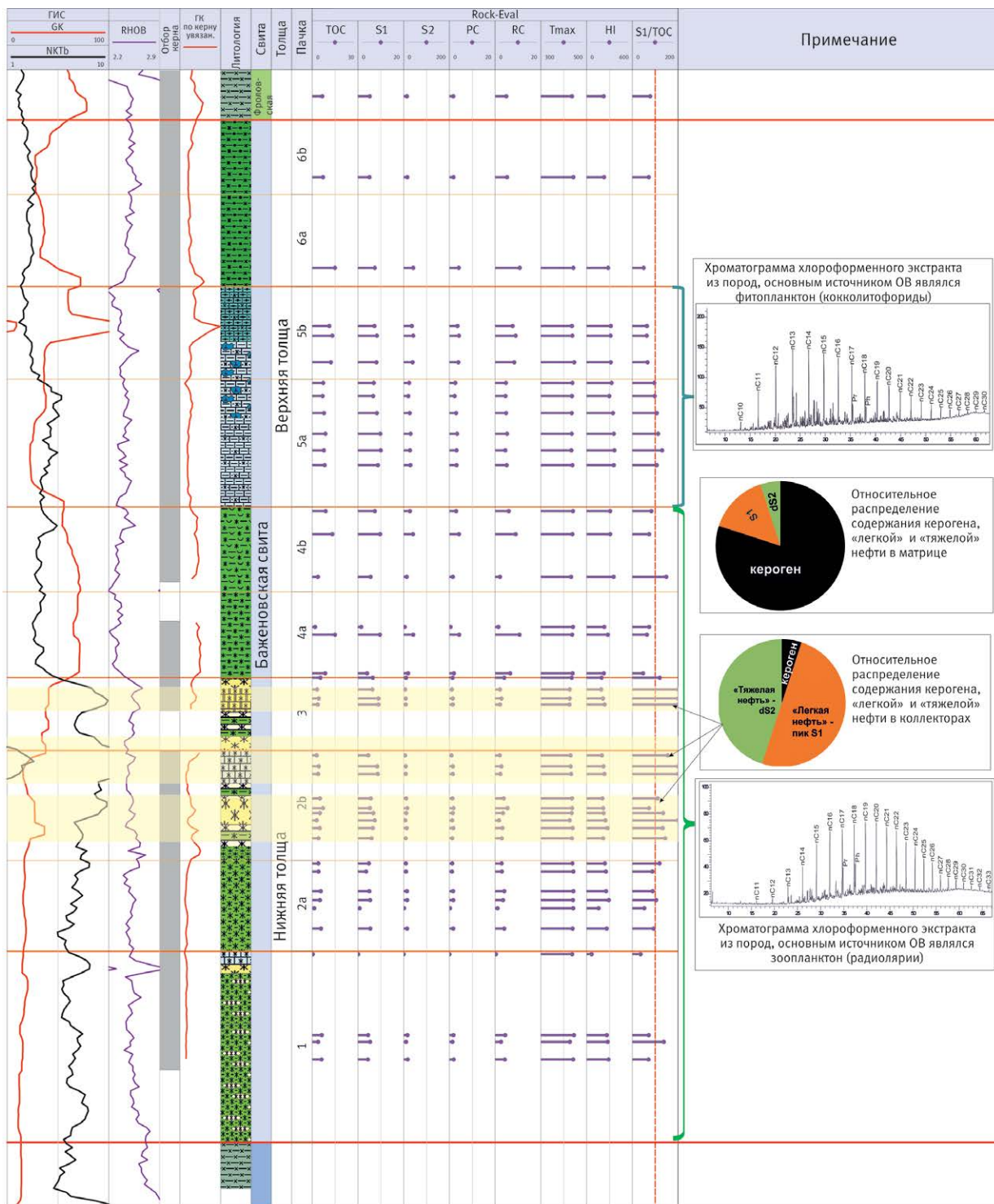
Изучение керна и интерпретация данных, полученных дистанционными методами,

позволили установить, что разрез баженовской свиты сложен породами «матрицы», содержащими в себе маломощные хрупкие, часто трещиноватые слои, с которыми ассоциируются приточные интервалы толщи [8]. Этой информации явно недостаточно для эффективного планирования разработки такого нестандартного и сложного объекта, как баженовская свита.

Изучение баженовской свиты проводилось на керне, отличающемся высокой степенью выноса и сохранности. Особенно интересными лабораторными исследованиями керна являлось то, что литологическими, петрофизическими и геохимическими методами изучались образцы пород до и после экстракции — воздействия органических растворителей с целью очистки емкостного пространства от жидких углеводородов (далее — УВ). Результаты, полученные на образцах до и после экстракции, сравнивались. Кроме того, проводилась тщательная увязка и совместная интерпретация результатов всех лабораторных исследований, сопоставление их с промыслово-геофизическими данными по изученным скважинам. Это позволило получить принципиально новые и важные данные о баженовской свите.

Условия осадконакопления баженовской свиты предопределили выдержанность ее строения и состава. Основное отличие литологических типов пород баженовской свиты друг от друга заключается в содержании глинистого и органического вещества. В толще чередуются слои (рис. 1), представленные карбонатно-глинисто-кремнистыми породами, аномально обогащенными органическим веществом (Сорг достигает 5–25%) и кремнисто-карбонатные слои, породы которых содержат 2–3% глин, Сорг едва достигает 5%. Свойства пород этих слоев резко контрастны. Первые обладают тонкослоистой текстурой, благодаря алевро-пелитовой размерности частиц и повышенному содержанию глин. Из-за высокого содержания органического вещества их свойства в пластовых условиях близки к пластичным. Вторые — вторично преобразованные радиоляриты — обладают массивной структурой, большей плотностью и хрупкостью. Многочисленные проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что первые являются преимущественно нефтематеринскими (нефтегенерирующими) породами, а во вторых могут формироваться естественные коллекторы [7].

Нефтематеринские породы («матрица») баженовской свиты включают в себя глинисто-кремнистые породы, обогащенные ОВ, и глинисто-кремнистые кокколитофоридовые известняки, обогащенные ОВ, приуроченные к верхней части разреза свиты. Основным источником органического вещества в породах первой группы — зоопланктон (радиолярии), а в породах второй группы — фитопланктон



Условные обозначения

- Лины кремнистые аргиллитоподобные
- Силециты глинистые углеродистые
- Силециты глинистые углеродистые с нодулями радиоляритов
- Переслаивание (тонкое) силецитов глинистых и радиоляритов
- Силециты глинистые бескарбонатные послойно пиритизированные
- Силециты глинистые высокоуглеродистые
- Силециты глинистые высокоуглеродистые с двустворками
- Силециты глинисто-карбонатные
- Силециты глинисто-карбонатные с нодулями карбонатов
- Силециты глинисто-карбонатные послойно пиритизированные
- Вторичные доломиты по радиоляритам
- Вторичные известняки по радиоляритам
- Радиолярит кремнистый, слабодоломитистый

Рисунок — Сводный литолого-геохимический разрез баженовской свиты
 Figure — Lithologic-geochemical composed sequence of Bazhenov formation

(кокколитофориды). Отмечено, что битумоиды, содержащиеся в различных литологических типах пород «матрицы», отличаются и по составу биомаркеров (см. рисунок).

В свете вопроса разработки баженовской свиты, особый интерес представляет содержание УВ в породах матрицы. Результаты исследований образцов на анализаторе Rock-Eval до и после экстракции показывают, что в породах «матрицы» содержание Сорг составляет 5–25%. Содержание свободных углеводородов, фиксируемых пиком S1, достигает 5–15%. Еще 20–50% УВ — это экстрагируемые нефтеподобные компоненты, фиксируемые разницей пиков S2 до и после экстракции пород. Остальная часть представлена керогеном, обладающим превосходным нефтегенерационным потенциалом (пик S2 после экстракции). Важно отметить, что образцы подвергались экстракции хлороформом в течение 24 часов, после чего проводились повторные определения содержания УВ. «Короткая» экстракция не способна удалить все нефтеподобные компоненты из породы, о чем свидетельствовал темный цвет раствора в экстракторе, поэтому считаем, что содержание нефтеподобных компонентов, выявленное в результате геохимических исследований, несколько занижено.

Таким образом, исследования показывают, что в «матрице» баженовской свиты содержится огромное количество свободной нефти и нефтеподобных компонентов. Данный вывод также приведен в работе [4]. Однако пока нет технологий вовлечения в разработку этих углеводородов.

Коллекторы в баженовской свите формируются в основном в слоях вторично преобразованных радиоляритов. Трещинно-поровые коллекторы встречаются в радиоляритах, кремнистых вторичных доломитах, вторичных доломитах, вторичных средне-мелкокристаллических известняках и вторичных известняках с регенерационным цементом, развитым по радиоляритам. Механизмы формирования такого разнообразия литологических типов и их фильтрационно-емкостных свойств (далее — ФЕС) подробно освещены в статье [7]. В данной группе пород содержание Сорг едва достигает 5%. При этом, свободных углеводородов (пик S1) может быть до 30%, а экстрагируемых нефтеподобных компонентов (разница пиков S2 до и после экстракции) — до 70%, содержание керогена — до 2–3%.

В среднем в разрезе баженовской свиты встречается четыре стратиграфических уровня распространения радиоляритовых слоев, накопление которых обусловлено изменениями гидродинамического режима в баженовском бассейне седиментации. Слои имеют небольшую толщину 0,5–1,5 м. Исключение составляет «радиоляритовая» пачка, представленная переслаиванием вторично доломитизированных радиоляритов и тонких прослоев глинисто-кремнистых пород «матрицы», обогащенных органическим веществом. Эта пачка располагается в центральной части разреза баженовской свиты и является региональным репером, уверенно выделяющимся по резкому падению показаний радиоактивного каротажа во всех скважинах, вскрывших баженовскую свиту в центральной части Западно-Сибирского

нефтегазоносного бассейна. Толщина данной пачки меняется в интервале от 2,5 до 8 м. При этом суммарная толщина слоев вторично преобразованных радиоляритов в данной пачке составляет до 70 %.

Коллекторские свойства отложений баженовской свиты обусловлены процессами постседиментационных преобразований пород: растворением и перекристаллизацией, включающей окремнение, кальцитизацию и доломитизацию. В результате этих процессов формировалась вторичная пористость и кавернозность пород, т.е. емкость коллектора. Кроме того, свой вклад в ФЕС вносит и трещиноватость. Встречаются трещины различного генезиса: автофлюидоразрыва (преобладают) и тектонические. Наличие трещин, связывающих емкостное пространство породы в единую флюидодинамическую систему, обуславливает проницаемость коллектора. Аналогичный вывод, основанный на специальных геохимических исследованиях, сделан в работе [3].

Отмечено, что каждый из процессов, способствующих формированию коллекторских свойств баженовской свиты, может также и негативно влиять на эти свойства. В качестве примера можно привести процесс залечивания трещин кальцитом в скважине, расположенной вблизи разрывного нарушения. Наличие разлома может как способствовать увеличению проницаемости, так и ухудшать коллекторские свойства пород.

Итоги

Установлена зависимость содержания и состава органического вещества от литологических типов пород баженовской свиты.

Выводы

Отложения баженовской свиты состоят из чередования карбонатно-глинисто-кремнистых пород, обогащенных органическим веществом, обладающих превосходными нефтематеринскими свойствами, и мало-мощных плотных слоев, сложенных вторично преобразованными радиоляритами, в которых могут формироваться коллекторы трещинно-порового типа.

В нефтематеринских породах содержание органического углерода достигает 5–25%. На долю «свободной нефти» приходится 5–15%, углеводородов и гетероатомных соединений нефтяного ряда, извлекаемых при горячей экстракции, — 20–50%, продуктов крекинга керогена — 35–75%. Во вторично преобразованных радиоляритах содержание органического углерода не превышает 5%, основная его часть представлена «свободной нефтью» и нефтеподобными компонентами.

Основными процессами вторичных преобразований радиоляритов в отложениях баженовской свиты являются раннедиагенетическое окремнение, катагенетическая доломитизация и карбонатизация, последняя отмечается на всех стадиях литогенеза. Окремнение играло важную роль при первичной цементации радиоляритов на ранних стадиях литогенеза, что создавало предпосылки для сохранения структуры радиоляритов и обеспечивало возможность последующего развития вторичной пористости. Помимо этого, принципиально важное значение имели процессы, связанные с трансформацией органического вещества, к которым

относятся автофлюидоразрыв и локальная озокеритизация. Процессы доломитизации и автофлюидоразрыва способствовали увеличению ФЕС пород, процесс озокеритизации — снижению. Процессы кальцитизации неоднозначно влияют на ФЕС пород, в целом снижая их.

Факторами, влиявшими на постседиментационные преобразования пород, являются палеотемпературный и палеотектонический режимы, состав пластовых вод и его изменение в процессе преобразования толщи, скорости уплотнения пород, состав и строение подстилающих и перекрывающих баженовскую свиту отложений и др. Комбинация этих факторов привели к различным процессам вторичных преобразований. Именно поэтому, несмотря на кажущуюся «выдержанность» строения отложений баженовской свиты, ее добычные свойства могут резко меняться на достаточно небольших участках территории. В такой ситуации вполне объяснимо наличие практически противоположных результатов разведки и освоения баженовской свиты на различных участках недр.

На существующем уровне изученности строения и свойств баженовской свиты необходимо проведение детальных интегрированных лабораторных (литологических, петрофизических и геохимических) исследований керна для решения любых промысловых задач, подсчета запасов и планирования разработки. К аналогичным выводам пришли и другие коллективы [1], [2], [3] и [4], занимающиеся специализированным изучением баженовской свиты (ООО «Газпромнефть Научно-Технический Центр», МГУ им. М.В. Ломоносова, РГУ (НИУ) нефти и газа имени И.М. Губкина, «Сколковский институт науки и технологии» и др.).

Список литературы

1. Барышников А.В., Кофанов О.А., Тарасов С.Л. и др. // Перспективы вовлечения в разработку залежей в трещиновато-кавернозных коллекторах баженовско-абалакского комплекса на месторождениях ООО «Газпромнефть-Хантос» // Нефтяное хозяйство. 2010. №12. С. 27–29.
2. Временное методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещинных и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Недропользование XXI век. 2017. №4. С. 70–100.
3. Дахнова М.В., Назарова Е.С., Славкин В.С. и др. Геохимические методы в решении задач, связанных с освоением залежей нефти в баженовской свите на западе Широкого Приобья // Геология нефти и газа. 2007. №6. С. 39–43.
4. Козлова Е.В., Фадеева Н.П., Калмыков Г.А., и др. Технология исследования геохимических параметров органического вещества керогеносыщенных отложений (на примере баженовской свиты, Западная Сибирь) // Вестник Московского Университета. 2015. №5. С. 44–53.
5. Немова В.Д., Панченко И.В., Ильин В.С., Смирнова М.Е. Обзор результатов разработки баженовской свиты в связи с ее геологическим строением

и пластовыми условиями (на примере Средне-Назымского и Салымского месторождений) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. №1. С. 38–44.

6. Немова В.Д., Панченко И.В. Локализация приточных интервалов баженовской свиты и их емкостное пространство на Средне-Назымском месторождении

// Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т.12. №1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/11_2017.pdf

7. Немова В.Д. Условия формирования коллекторов в отложениях баженовского горизонта в районе сочленения Краснolenинского свода и Фроловской мегавпадины // Нефтегазовая геология.

Теория и практика. 2012. Т.7. №2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf.

8. Славкин В.С., Алексеев А.Д., Колосков В.Н. Некоторые аспекты геологического строения и перспектив нефтеносности баженовской свиты на западе Широного Приобья // Геология нефти и газа. 2007. №8. С. 100–104.

Correlation between the content and composition of organic matter with the lithological types of rocks in the Bazhenov formation

Authors:

Varvara D. Nemova — Ph.D., head of the department of technology development of unconventional resources; Varvara.Nemova@lukoil.com
Tat'yana A. Matyukhina — leading specialist of the department of technology development of unconventional resources; Tatyana.Matyukhina@lukoil.com

LLC "LUKOIL-Engineering", Moscow, Russian Federation

Abstract

Extensive lithological and geochemical studies of the core of the deposits of the Bazhenov formation have been performed. Some aspects of the laboratory core research method based on the study of rock samples before and after exposure to organic solvents are considered. The depositional environment of the Bazhenov formation, the properties and sediments specifics, similarities and differences of the main deposits of the formation are described; the reasons for their differences are indicated. Characteristics of source rocks and reservoirs are given. Special attention is paid to the content of hydrocarbons in different types of rocks. The factors affecting the formation of the reservoirs in Bazhenov formations as well as the properties of various types of reservoirs and

the patterns of their distribution in the vertical section and on the area are described.

Materials and methods

Comprehensive core analysis and comprehensive core data interpretation.

Results

The dependence of the content and composition of organic matter on the lithologic types of rocks of the Bazhenov formation was established.

Conclusions

The content of organic carbon reaches 5–25% in the source rocks. The share of "free oil" accounts for 5–15%, hydrocarbons and heteroatomic compounds of the oil

sequence, extracted during hot extraction, accounts for 20–50%, products of kerogen cracking accounts for 35–75%. In the secondarily converted radiolarite, the content of organic carbon does not exceed 5%, most of it is represented by "free oil" and oil-like components.

At the existing level of uncertainty of the properties and structure of the Bazhenov formation, it is necessary to conduct detailed integrated laboratory (lithological, petrophysical, geochemical) core studies to solve any production tasks, calculate reserves and plan the field development.

Keywords

bazhenov formation, laboratory studies, oil reservoir, lithology, geochemistry

References

1. A.V. Baryshnikov, O.A. Kofanov, S.L. Tarasov and others. *Perspektivy вовлечeniya v razrabotku zalezhey v treshchinovato-kavernoznykh kollektorakh bazhenovsko-abalaksogo kompleksa na mestorozhdeniyakh OOO «Gazpromneft'-Khintos»* [Prospects of deposits involvement in the development in cavernous fractured reservoirs of Bazhenovsko-Abalakskiy complex at Gazpromneft-Khintos LLC field]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2010, issue 12, pp. 27–29.
2. *Vremennoe metodicheskoe rukovodstvo po podschetu zapasov nefiti v treshchinnykh i treshchinno-porovykh kollektorakh v otlozheniyakh bazhenovskoy tolshchi Zapadno-Sibirskoy neftegazonosnoy provintsii* [Temporary methodological guidance on the calculation of oil reserves in fractured and fissures-porous reservoirs in the sediments of the Bazhenov strata of the West Siberian oil and gas province]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, 2017, issue 4, pp. 70–100.
3. Dakhnova M.V., Nazarova E.S., Slavkin V.S. and others. *Geokhimicheskie metody v reshenii zadach, svyazannykh s osvoboizheniem zalezhey nefiti v bazhenovskoy svite na zapade Shirotnogo Priob'ya* [Geochemical methods in solving problems associated with the development of oil deposits in the Bazhenov Formation in the west of Ob River Region]. *Oil and Gas Geology*, 2007, issue 6, pp. 39–43.
4. Kozlova E.V., Fadeeva N.P., Kalmykov G.A. *Tekhnologiya issledovaniya geokhimicheskikh parametrov organicheskogo veshchestva kerogenonasyshchennykh otlozheniy (na primere bazhenovskoy svity, Zapadnaya Sibir')* [Geochemical technique of organic matter research in deposits enrich in kerogene (the Bazhenov Formation, West Siberia)]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta*, 2015, issue 5, pp. 44–53.
5. Nemova V.D., Panchenko I.V., Il'in V.S., Smirnova M.E. *Obzor rezul'tatov razrabotki bazhenovskoy svity v svyazi s ee geologicheskim stroeniem i plastovymi usloviyami (na primere Sredne-Nazym'skogo i Salymskogo mestorozhdeniy)* [Review of the results of the development of the Bazhenov formation in connection with its geological structure and reservoir conditions (on the example of the the Sredne-Nazym'skoye and Salym oil fields)] // *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2017, issue 1, pp. 38–44.
6. Nemova V.D., Panchenko I.V. *Lokalizatsiya pritochnykh intervalov bazhenovskoy svity i ikh emkostnoe prostranstvo na Sredne-Nazym'skom mestorozhdenii* [Localization of the inlet intervals of the Bazhenov formation and their void space at the Sredne-Nazym'skoye oil field]. *Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies*, 2017, v.12, issue 1. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/11_2017.pdf
7. Nemova V.D. *Usloviya formirovaniya kollektorov v otlozheniyakh bazhenovskogo gorizonta v rayone sochleneniya Krasnoleninskogo svoda i Frolovskoy megavpadiny* [Conditions for the formation of reservoirs in the sediments of the Bazhenov horizon in the area of joint of the Krasnoleninsky arch and the Frolovskaya megadepression]. *Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies*, 2012, v.7, issue 2. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf.
8. Slavkin V.S., Alekseev A.D., Koloskov V.N. *Nekotorye aspekty geologicheskogo stroeniya i perspektiv neftenosnosti bazhenovskoy svity na zapade Shirotnogo Priob'ya* [Some aspects of the geological structure and potential of oil-bearing capacity of the Bazhenov Formation west of Shirotnoe Priobye]. *Geology of Oil and Gas*, 2007, issue 8, pp. 100–104.