

УДК 553.983

АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ И КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА ЕЁ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ



ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE BAZHENOV FORMATION AND CRITERIA FOR FORECASTING ITS OIL AND GAS POTENTIAL

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук,
профессор кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений
Санкт-Петербургский горный университет
savenok_ov@pers.spmi.ru

Кусова Лизавета Геннадиевна

студент направления подготовки
21.05.06 «Нефтегазовые техника и технологии»,
Санкт-Петербургский горный университет
kusovalisa@gmail.com

Аннотация. Сланцевая революция в США спровоцировала интерес к нетрадиционным углеводородам во всём мире, в том числе и в России. При этом до сих пор не существует единой классификации нетрадиционных УВ, а путаница в терминах зачастую создаёт иллюзии относительно ресурсного потенциала и перспектив добычи. Несмотря на то, что есть понимание значительности ресурсов углеводородного сырья баженовской свиты, их оценки имеют значительный разброс из-за отсутствия эффективных технологий разведки и добычи. Потенциал баженовской свиты весьма высок, но технологий, обеспечивающих промышленную разработку на текущий момент, не существует. Поэтому накопленный объём добычи нефти баженовско-абалакского НГК с момента его обнаружения на текущий момент (около 60 лет) едва превышает 11 млн тонн. В статье приведено геологическое описание баженовской свиты и рассмотрены вопросы её нефтегазонасности. Показано, что для повышения добычи из баженовской свиты требуется разработка новых экономически рентабельных способов эксплуатации.

Ключевые слова: геологическое описание баженовской свиты, общие сведения и стратиграфия баженовской свиты, литостратиграфические особенности баженовской свиты и её возрастных аналогов, литология баженовской свиты, распределение органического углерода в породах, вопросы о нефтегазонасности баженовской свиты, критерии прогноза нефтеносности баженовской свиты.

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of Development
and Operation of Oil and Gas Fields,
Saint Petersburg Mining University
savenok_ov@pers.spmi.ru

Kusova Lizaveta Genadijevna

Student training direction 21.05.06
«Oil and Gas Equipment and Technologies»,
Saint Petersburg mining university
kusovalisa@gmail.com

Annotation. The US shale revolution has sparked interest in unconventional hydrocarbons around the world, including in Russia. At the same time, there is still no unified classification of unconventional hydrocarbons, and confusion in terms often creates illusions about the resource potential and production prospects. Despite the fact that there is an understanding of the significance of the hydrocarbon resources of the Bazhenov formation, their estimates have a significant scatter due to the lack of effective exploration and production technologies. The potential of the Bazhenov formation is very high, but at the moment there are no technologies that provide industrial development. Therefore, the accumulated volume of oil production from the Bazhenov – Abalak oil and gas complex from the moment of its discovery to the current moment (about 60 years) barely exceeds 11 million tons. The article provides a geological description of the Bazhenov formation and considers the issues of its oil and gas potential. It is shown that in order to increase production from the Bazhenov formation, the development of new economically viable methods of exploitation is required.

Keywords: geological description of the Bazhenov formation, general information and stratigraphy of the Bazhenov formation, lithostratigraphic features of the Bazhenov formation and its age analogues, lithology of the Bazhenov formation, distribution of organic carbon in rocks, questions about the oil and gas content of the Bazhenov formation, criteria for predicting the oil content of the Bazhenov formation.

Россия является одним из признанных мировых лидеров по добыче нефти и газа, но истощённость традиционных месторождений требует изыскивать новую ресурсную базу, по масштабам сопоставимую с крупнейшими разрабатываемы-

ми нефтегазоносными провинциями. В качестве равнозначной альтернативы рассматриваются освоение арктического шельфа и огромного потенциала самой большой в мире сланцевой формации – баженовской свиты, которая распространена практически по всей Западной Сибири.

Если разработка арктического шельфа связана с созданием инфраструктуры в суровых непригодных для постоянного проживания человека районах, то баженовская свита развита в районах со сложившейся нефтедобывающей инфраструктурой, прямо на территории разрабатываемых месторождений.

Её освоение для России имеет огромное социальное значение, так как снижение добычи нефти и газа в Западной Сибири в первую очередь скажется на благополучии многочисленных Западно-Сибирских городов и населённых пунктов, в которых компании нефтегазовой отрасли являются основными работодателями.

Впервые баженовскую свиту описал в 1959 году советский геолог Фабиан Гурари, один из первооткрывателей нефтяной провинции в Западной Сибири. Он предположил, что она может служить источником углеводородов, что подтвердилось в 1968 году, когда на Салымском месторождении в пробуренных к баженовскому горизонту скважинах стали получать нефть.

Учёные написали сотни статей и монографий о баженовской свите, однако главные вопросы, которые помогли бы её освоению, остаются спорными. К примеру, до сих пор нет надёжной методики поиска месторождений. Рядом расположенные скважины могут давать разный результат: одна фонтанирует, другая окажется «сухой».

В баженовской свите нет обычных коллекторов – участков с большим количеством пустот и трещин, проницаемых для нефти. Углеводороды там удерживаются в порах, мелких прослойках или входят в состав горной породы в виде органического вещества (керогена).

Исследовать их в лаборатории в неизменном виде не получается: при поднятии с глубины образец распадается на мелкие чешуйки. Учёные пытаются смоделировать разные типы коллекторов баженовской свиты, но стройной системы, которая бы помогла их поискам, пока не создано. Отсюда и различающиеся на порядок оценки запасов нефти.

Ещё одна особенность баженинов (одно из названий этих пород) – аномально высокая температура, достигающая в некоторых скважинах 134 градусов Цельсия, и пластовое давление. Об их природе нет единого мнения, что тоже затрудняет поиск коллекторов.

Общие сведения о баженовской свите

Баженовский горизонт – крупнейшее региональное стратиграфическое подразделение Западно-Сибирской плиты площадью свыше 2 млн км². Баженовская свита занимает всю центральную часть Западно-Сибирской низменности. По разным оценкам, в этом слое толщиной всего 20–60 метров, содержится от 18 до 170 миллиардов тонн нефти. Вопрос в том, как её оттуда добыть: если из обычных месторождений она вытекает сама, то из чёрных сланцев её надо вытягивать разными хитрыми способами.

В первые годы освоения Западно-Сибирской равнины предполагалось, что битуминозные отложения имеют довольно однородный литологический состав и строение разреза. С течением времени по мере накопления фактического материала стали выявляться литологические различия в строении этих образований. В настоящее время в составе битуминозных отложений выделяются три самостоятельные свиты: баженовская, тутлеймская и мулымьинская, отличающиеся друг от друга некоторыми литологическими особенностями и стратиграфическим объёмом. Однако даже в ареале одной свиты отмечаются различия в строении разрезов. С учётом кернового материала и палеонтологических данных, привязанных к материалам каротажа, битуминозные отложения были расчленены на отдельные части, которые впоследствии были переведены в ранг подсвит и пачек. Территории, на которых отмечается одинаковое строение разреза, объединялись в районы, которым были присвоены географические

наименования, как правило, по площадям, реже нефтегазоносным районам. Так сложилось представление об определённых типах разрезов рассматриваемых образований. Вся совокупность типов разрезов одного подразделения получила название зоны, которая также имеет географическое наименование, но двойное (по крайним пунктам своего развития). Вдоль границы распространения битуминозных отложений узкой полосой выделяется внешняя область, где в отличие от внутренней отмечается пониженная битуминозность.

Таким образом, в области развития битуминозных отложений выделяются Игримско-Леушинская зона, в которой распространена мулымьинская свита, Березово-Тобольская зона, соответствующая ареалу тутлеймской свиты, и Тамбейско-Омская зона, охватывающая область распространения баженовской свиты. Однако в пределах зон распространения свит каждая из них неоднородна. По особенностям строения разрезов в зонах выделены районы. Во внешней области в зависимости от строения разрезов также выделяется ряд районов. Основным критерием стратиграфического районирования являлась степень битуминозности пород. По этому признаку в мулымьинской свите выделяются два типа разрезов и соответственно два района: Игримско-Шаимский и Потанайский.

Самый большой стратиграфический объём битуминозных отложений зафиксирован в Шаимском нефтегазоносном районе, эти отложения были отнесены к мулымьинской свите, в основании которой обособлена трёхзёрная толща. Из анализа её литологии следует, что в одних случаях она сложена алевритовыми глинами, в других алевролитами, ближе к своду – песчаниками и конгломератами. На ограниченной территории осевой части Шаимского мегавала она представлена практически всеми типами пород, встречающихся во всём морском разрезе Западно-Сибирской равнины, и образует на локальном участке нормальный фациальный ряд с одновременным изменением верхней границы по возрасту. На погружении она замещается битуминозными осадками. В разрезе Половинкинской скважины № 100-Р среди алевритовых глин отмечаются прослои битуминозных разностей, а ещё ниже по юго-восточному склону мегавала эта часть разреза представлена тонкоотмученными глинами с прослоями, обогащёнными органическим веществом. Распространение битуминозных глинистых пород в Западной Сибири представлено на рисунке 1.

Баженовская свита является хорошо известным по многим публикациям репером в мезозойской толще Западной Сибири. Распространена на территории четырёх фациальных районов: Фролово-Тамбейского, Пурпейско-Васюганского, Омского и Сильгинского. В качестве стратотипа принята толща, выделенная (вначале как баженовская пачка) по Большереченской скважине № 1-Р (интервал 2533–2506 м). В качестве лектостратотипа предлагалась скважина № 2-Р Саргатская (интервал 2503–2530 м), а как гипостратотип часто рассматривается скважина № 170 Салымская (интервал 2844–881 м). Свита представлена высокоугле-родистыми чёрными с коричневатым оттенком кероген-глинисто-силицитовыми породами, массивными, плитчатыми, листоватыми, с прослоями радиоляритов, глинистых известняков, остатками морских фоссилей. Содержание органического вещества в кероген-глинисто-силицициновых породах иногда достигает 20 % и более. В аномальных разрезах она содержит прослои песчаников, алевролитов, аргиллитов с очень малым содержанием $C_{орг}$. Мощность свиты около 30 м, а иногда достигает 90 м. Обычно в разрезах уникально богатые планктоном и бактериогенным органическим веществом кероген-глинисто-силицициновые породы баженовской свиты трансгрессивно, со стратиграфическим несогласием залегают на верхневасюганской подсвите или согласно перекрывают аргиллиты георгиевской или абалакской свит.

Перекрывается баженовская свита свитами куломзинского горизонта. Обычно непосредственно перекрывающие баженовскую свиту отложения представлены переослаиванием слабоуглеродистых и местами углеродистых глин, соответствующих подачимовским отложениям, объемлющим (с учётом обнаруженных в них комплексов макро- и микрофауны) верхнюю часть рязанского регионального яруса. Таким образом, на большей части территории своего распространения баженовская свита соответствует по объёму баженовскому горизонту в пределах от верхней части нижневолжского подъяруса до низов рязанского регионального яруса (рис. 2).

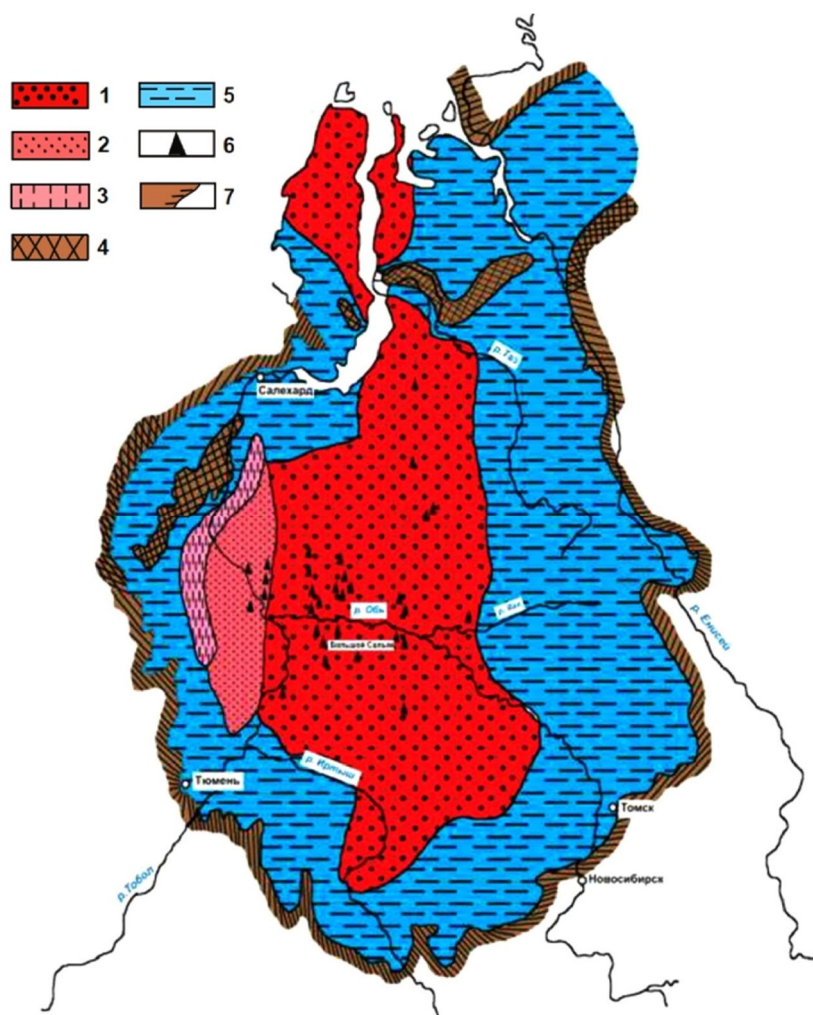


Рисунок 1 – Распространение битуминозных глинистых пород в Западной Сибири.
 Условные обозначения: 1 – баженовская свита; 2 – тутлеймская свита;
 3 – шаимская и игримская свиты; 4 – участки отсутствия титон-нижнеготеривских отложений;
 5 – сероцветные аналоги титон – нижнеготеривских пород;
 6 – основные залежи нефти в битуминозных породах;
 7 – граница Западно-Сибирской мезо-кайнозойской нефтегазоносной провинции

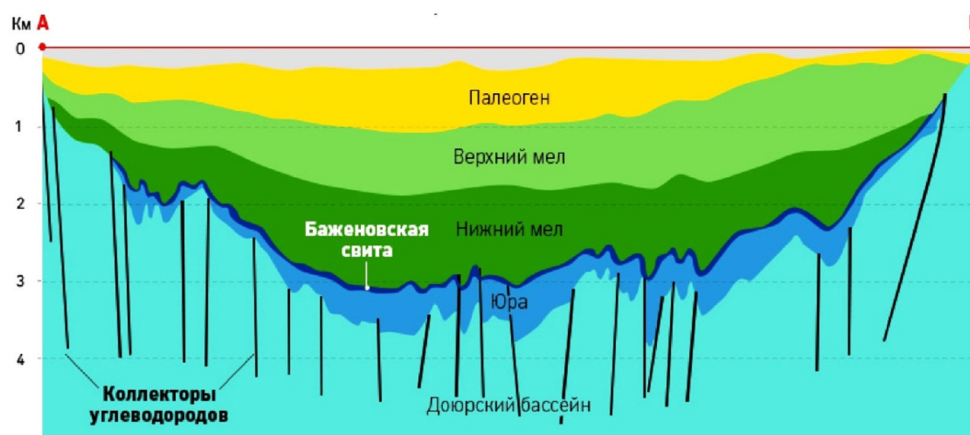


Рисунок 2 – Геологический разрез баженовской свиты

Стратиграфия баженовского горизонта

В многочисленных разрезах баженовской свиты совместно с характерным для типового разреза комплексом фораминифер, двустворок, спор и пыльцы найдены и аммониты.

На протяжении последних трёх десятилетий для юры и нижнего мела Западной Сибири были разработаны, наряду с аммонитовой, автономные зональные шкалы по основным группам беспозвоночных. Как показывает опыт биостратиграфического изучения юры и мела на закрытых территориях Западной Сибири, сводная зональная основа, представляющая весь комплекс увязанных между собой шкал, основанных на различных группах фауны и флоры, служит надёжным инструментом для дробного расчленения вскрытых скважинами осадочных толщ, обеспечивает установление возрастных диапазонов свит и их пространственную корреляцию. Приграничный интервал юры и мела в Сибири хорошо охарактеризован комбинацией взаимоувязанных параллельных зональных шкал по разным группам фоссилей. Однако здесь нет биостратиграфических маркеров, позволяющих напрямую сопоставить какой-нибудь из указанных биостратонов с разрезами приграничных толщ юры и мела.

Граница между юрской и меловой системами на севере России и смежных территориях Арктики долгое время рассматривалась как граница волжского яруса и «бореального берриаса». В Сибири она проводилась по подошве аммонитовой зоны *Chetaitessibiricus* или зоны *Praetolliamayi*. Нередко в работах как российских, так и зарубежных исследователей в качестве нижнего яруса меловой системы в бореальных разрезах называется рязанский ярус, который в отличие от волжского яруса никогда не фигурировал в общей стратиграфической шкале России (принята Межведомственным стратиграфическим комитетом России). С 1996 года оба бореальных яруса в России официально признаны в статусе региональных ярусов. Использование термина «бореальный берриас» не удачно хотя бы потому, что несоответствие его объёма берриасскому ярусу очевидно для многих специалистов. Проблема соотношения объёмов волжского и рязанского ярусов со стандартными для этого интервала титонским и берриасским ярусами обсуждается во множестве публикаций. Однозначного решения этой проблемы биостратиграфическим путём достигнуть не удалось.

Что касается статуса волжского и рязанского ярусов, то не так уж и важно, будут ли эти ярусы признаны ярусами общей стратиграфической шкалы России или же так и останутся в ранге региональных. Поскольку стандартным ярусом международной стратиграфической шкалы ни один из них не является, по своей сути оба яруса – региональные (при этом в качестве региона можно понимать и весь бореальный регион в целом).

Использование волжского и рязанского ярусов на огромной территории бореальных палеобассейнов вполне оправдано, поскольку они отражают два разных этапа геологической истории. В какой-то мере это и дань традициям, в соответствии с которыми составлялось большинство геологических документов прошлого и начала нынешнего века для бореальных регионов. В отличие от границы стандартных титонского и берриасского ярусов, в бореальных разрезах только граница волжского и рязанского ярусов может быть охарактеризована надёжными биособытийными маркерами. Однако параллелизовать при этом границу юрской и меловой систем (= границу титонского и берриасского ярусов) с границей волжского и рязанского ярусов в настоящее время вряд ли можно считать правильным.

При геологических исследованиях на огромных территориях Сибири фиксация положения границы в конкретных разрезах, как правило, проводится на биостратиграфической основе.

За прошедшие 10 лет после принятия стратиграфических схем юры и мела Западной Сибири на Межведомственном стратиграфическом комитете России получены новые биостратиграфические данные, позволившие усовершенствовать и детализировать пакет зональных шкал по разным группам фоссилей: аммонитам, белемнитам, двустворкам и фораминиферам, что отражено в предлагаемом варианте стратиграфической схемы баженовского горизонта и подстилающих его отложений Западной Сибири. Схема развития зон перспектив баженовской свиты Западной Сибири показана на рисунке 3.

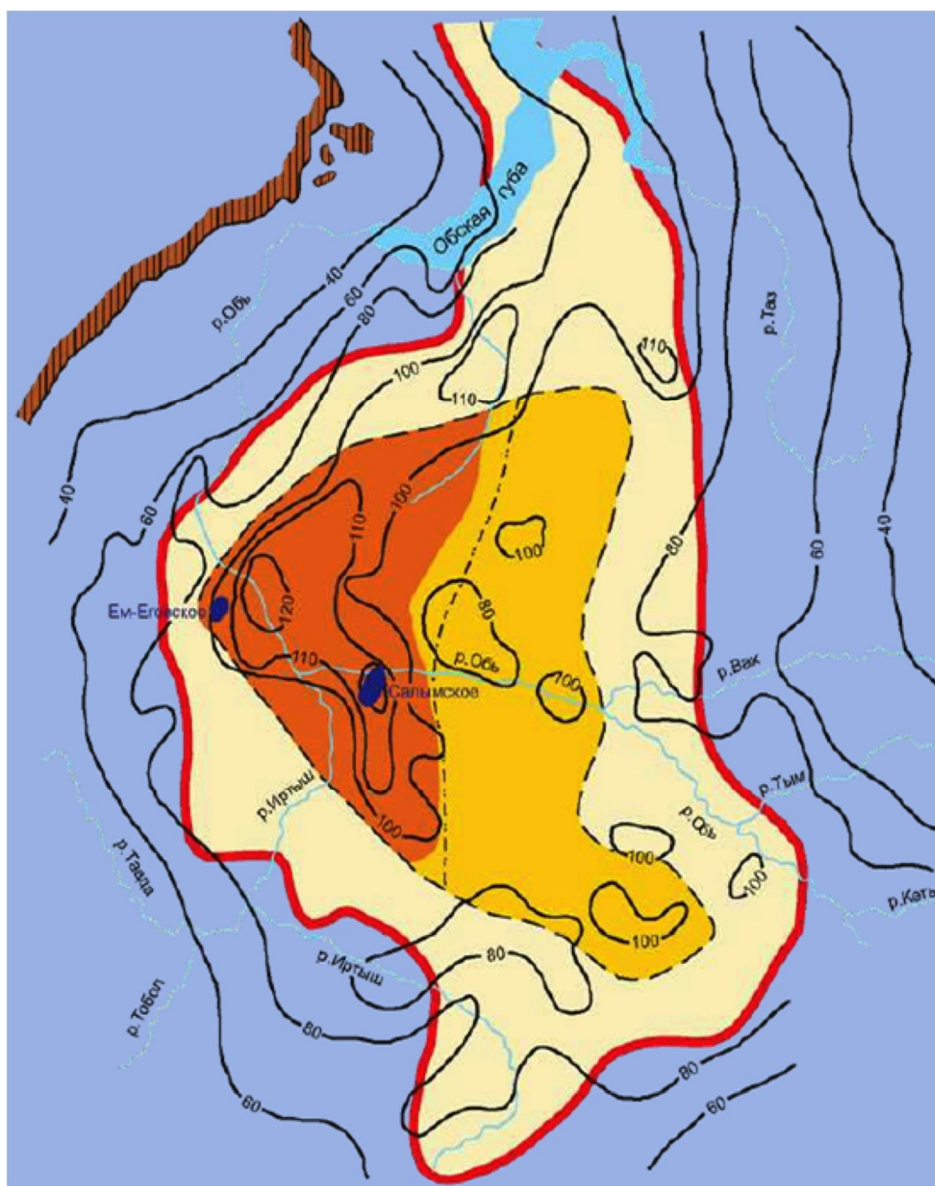


Рисунок 3 – Схема развития зон перспектив баженовской свиты Западной Сибири

Литостратиграфические особенности баженовской свиты и её возрастных аналогов

Баженовская свита прослежена в Западной Сибири на площади около 1 млн км². По своим физическим параметрам Баженовская свита резко отличается от выше- и нижележащих пород. Кероген-глинисто-силицистые породы в своём типичном выражении характеризуются значениями кажущегося сопротивления от 5

до 500 Ом · м (в разрезах таркосалинского типа – от 5 до 75 Ом · м), отсутствием отрицательных аномалий потенциалов самопроизвольной поляризации (кроме трещиноватых разностей), высокой естественной гамма-активностью (свыше 16 мкР/ч), высокими значениями нейтронного гамма-каротажа, низкими ПК, низкими скоростями акустических волн. Интервалы разреза с высокими значениями КС не всегда совпадают с положительными аномалиями ГК – последние часто бывают «сдвинуты» вверх на 5–10 м.

Обособление и корреляция высокоуглеродистой толщи баженовской свиты обычно не вызывают затруднений, однако при этом нельзя не заметить многообразия разрезов, которые отличаются между собой и по величине кажущегося сопротивления, и по форме этих кривых, количеству и положению их максимумов, характеру спада кривых кажущегося сопротивления и самопроизвольной поляризации.

Установлены 4 типа и 8 подтипов баженовской свиты и закартированы зоны их распространения в центральных и южных районах Западной Сибири.

Зона развития баженовской свиты *первого (переходного)* типа занимает ограниченную территорию на востоке и юге Западной Сибири, включая районы перехода от марьяновской свиты (на юге) и яновстанской (на востоке) к баженовской свите. Баженовский горизонт представлен тёмно-серыми аргиллитами, незначительно обогащёнными Сорг, с прослоями серых алевролитов и серых аргиллитов. Отличие пород баженовской свиты от граничащей с ней по латерали яновстанской состоит в увеличении значений кажущегося сопротивления. Мощность баженовской свиты в разрезах первого типа составляет 10–30 м.

Разрезы баженовской свиты *второго типа* широко распространены в Западной Сибири. Зона развития разрезов баженовской свиты второго типа вытянута по периферии бассейна. Сложена типичными чёрными к буровато-чёрным высокоуглеродистыми аргиллитами, кажущиеся сопротивления которых изменяются от 25 до 125 Ом · м. По положению максимума гамма-активности и степени расчленённости свиты по электрическим сопротивлениям выделяются три подтипа:

- 1) тайдасский подтип (включает самые южные разрезы зоны);
- 2) площади Межовского свода и Парабельского мегавала;
- 3) разрезы Усть-Тымской впадины.

Характерна приуроченность максимума гамма-активности к интервалу выше кровли свиты. Для тайдасского типа свойственны одно-, двух- и трёхчленное строение, но чёткой границы между пачками различного сопротивления провести невозможно. Резко изменяется мощность свиты. В районе Межовского свода она равна 20–26 м, на Дарабельском мегавале сокращается до 10–14 м, в более северных районах не превышает 5–8 м (площади Песчаная, Басмасовская, Нань-Яхская). Территория распространения братского подтипа баженовской свиты протягивается узкой полосой вдоль зоны тайдасского подтипа. В зону распространения этого подтипа входят разрезы Крюковской, Чебурлинской, Тарбажинской, Саргатской, Литковской, Баклянкой, Мурасовской, Сергеевской, Камышинской, Братской, Малоичской и других площадей, а также разрезы западного борта Усть-Тымской впадины и южных окончаний Александровского и Ларь-Ёганского мегавалов. Братский подтип отличается от тайдасского только расположением максимума гамма-активности, который приурочен к верхней части свиты. Разрезы тагринского подтипа приурочены к Пурскому прогибу и осложняющим его локальным поднятиям. В эту зону входят разрезы скважин №№ 3 Новомолодёжной и 76 Сикторской, а также Тагринской, Северо-Тагринской, Ярайнерской, Етыпуровской структур и др. Баженовская свита тагринского подтипа характеризуется значительными мощностями (30–70 м), резкими перепадами значений кажущегося сопротивления (от 0 до 120 Ом · м) и радиоактивности, что связано с чередованием здесь керогенглинисто-силицитовых пород со слабо углеродистыми аргиллитами. С увеличением количества пачек уменьшается их мощность и теряется чёткость границ. На Тагринской площади установлено резкое колебание мощностей баженовской свиты и выпадение отдельных слоёв и пачек: с севера на юг мощность изменяется от 20 до 65 м. Максимальное количество пачек вскрыто скважинами №№ 2 и 57 Тагринскими, расположенными на крыльях структуры. От крыльев к своду количество пачек и общая мощность отложений постепенно уменьшается и в разрезе, вскрытом скважиной № 66 Тагринской, сохраняется лишь одна нижняя пачка мощностью 20 м.

Разрезы баженовской свиты *третьего типа* группируются в три подтипа. Так, к малореченскому подтипу отнесены разрезы большей части Юганской впадины, Ларь-Ёганского вала, части Нижневартовского и Сургутского сводов, частично Пякутинско-Ампутинского мегапрогиба и Северного свода. Баженовская свита этого подтипа имеет небольшие мощности (10–15 м), одночленное строение, вытянутую форму кривой кажущегося сопротивления. Кочевский подтип этой свиты установлен на ограниченной территории Сургутского свода, в Танловской впадине, Соимлорском прогибе, части Северо-Сургутской моноклинали. Для этих разрезов баженовской свиты характерны сдвоенные, близко расположенные пачки со значительно повышенными значениями кажущегося сопротивления. Средняя мощность свиты этого подтипа составляет 20–30 м. Баженовская свита юганского подтипа распространена на территории, примыкающей к Салымскому району, в центральной и западной частях Танловской впадины. Мощность свиты здесь не превышает 20–30 м. Свита имеет трёхчленное строение, сжатую форму кривой кажущегося сопротивления с очень высокими их значениями.

Четвёртый тип разреза баженовской свиты характеризует Салымский район. Разрезы этого типа выделяются по резкому увеличению кажущегося сопротивления, величина которых может достигать 4500 Ом. Отличает разрезы четвёртого типа от других типов появление в ряде случаев отрицательной аномалии кривой самопроизвольной поляризации. Максимальные значения гамма-активности приурочены к верхней части свиты. Мощности отложений в Салымском районе достаточно стабильны (от 35 до 50 м).

Зоны развития баженовской свиты различных типов показаны на рисунке 4.

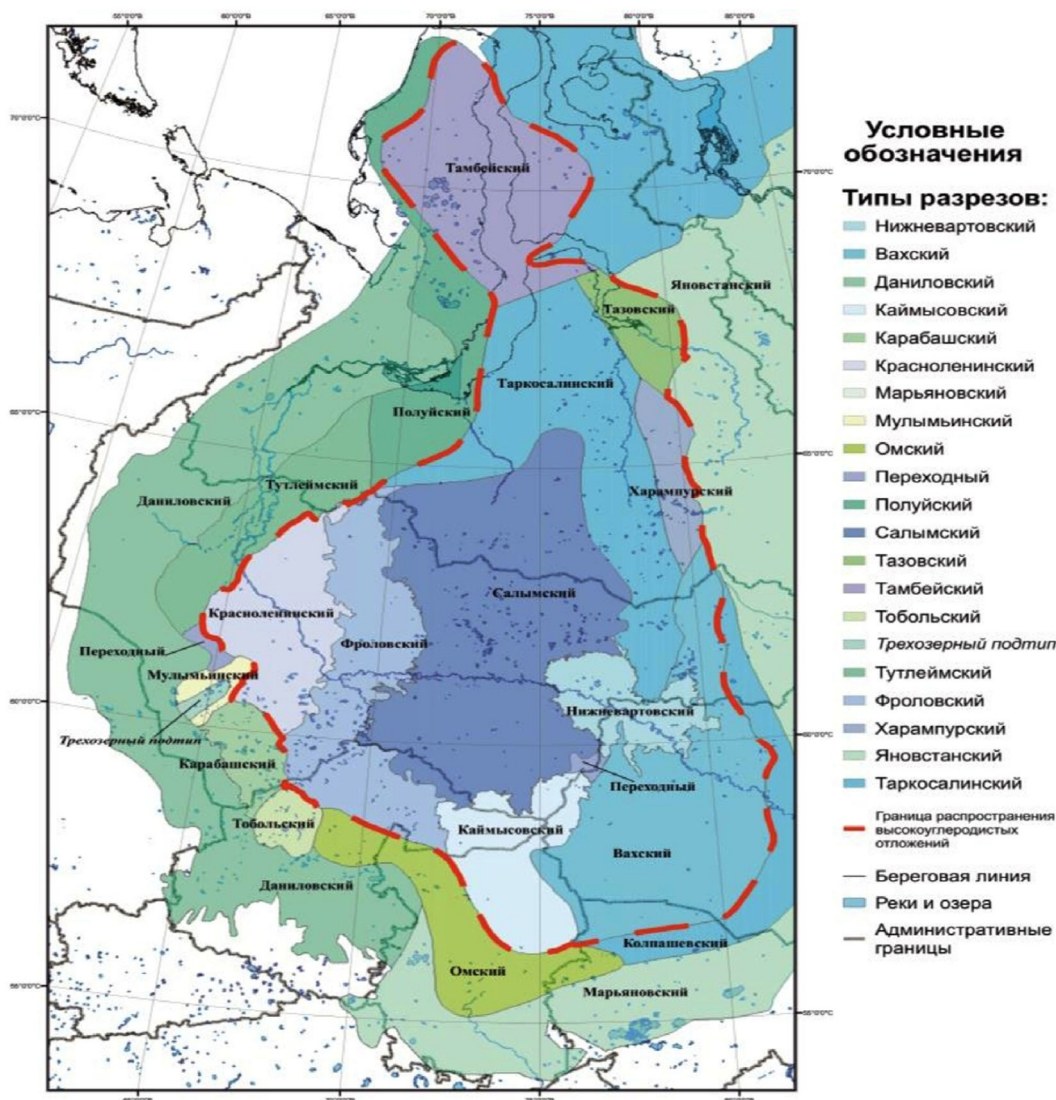


Рисунок 4 – Зоны развития баженовской свиты различных типов

Литология

Долгое время считалось, что баженовская свита представляет собой толщу аргиллитов, обогащённых органическим веществом. Так, ещё в 1970 году исследователи писали, что баженовская свита «развита на большей части территории Западно-Сибирского бассейна и повсеместно представлена чёрными тонкоотмученными плотными аргиллитами с землистым неровным изломом. В западной и юго-западной частях изучаемого района, где баженовская свита замещается породами тутлеймской свиты, аргиллиты становятся тонкоплитчатыми (2–5 мм) с листоватой поверхностью излома». Однако при углублённом изучении литологии баженовской свиты стало очевидно, что она имеет чрезвычайно сложный литологический состав и является продуктом существенно биогенной седиментации (рис. 5).

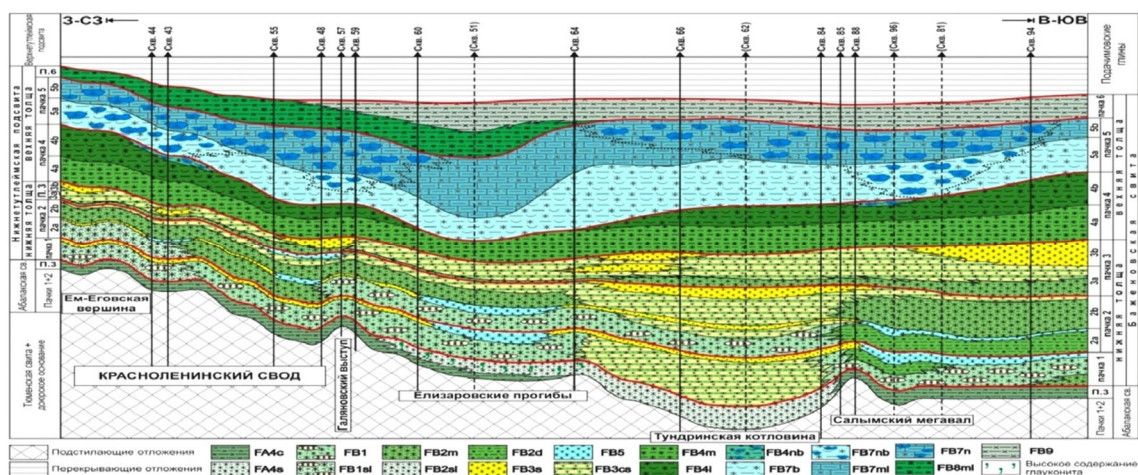


Рисунок 5 – Литологический состав баженовской свиты

Для системного описания пород баженовской свиты необходима специальная классификация слагающих её пород. Для классификации минералогический состав пород определялся по результатам:

- рентгено-дифрактометрических;
- электронно-микроскопических исследований;
- спектрального анализа фракций в инфракрасной области спектра, определения концентрации породообразующих химических элементов методом РФА;
- определения концентрации Сорг в породах и элементного состава керогена.

Для расчёта минерального состава пород баженовской свиты были использованы адаптированные к особенностям минералогического состава пород балансовые методы. В результате расчётов были определены содержания основных минеральных компонентов пород (кремнезёма, глинистых минералов, в том числе отдельных групп глинистых минералов, альбита, керогена, кальцита, доломита, апатита, пирита и барита). Результаты расчётов контролировались петрографическими и рентгенофазовыми исследованиями.

В основу классификации положен принцип группировок пород баженовской свиты по минералогическому составу. При этом в соответствии с результатами литологических, петрографических, минералогических исследований принято, что основная масса пород баженовской свиты сложена следующими составляющими:

- продуктами биохимической концентрации минерального вещества (кальцит, кремнезём);
- органическим планктоно- и бентосогенным органическим веществом (керогеном), сохранившимся после диагенетических и катагенетических превращений;
- продуктами химического разрушения и тончайшей дисперсии первичных пород в областях водосборов (глинистый аллотигенный материал);
- аутогенными продуктами химической концентрации минерального вещества на стадиях позднего диагенеза и катагенеза.

Необходимо, однако, учитывать, что на разных этапах формирования пород баженовской свиты и в результате совершенно различных процессов могли формироваться идентичные по химическому и минералогическому составу фазы. Кроме того, продукты более ранних этапов являлись основой и источником вещества для минералообразования более поздних стадий. По этой причине классификация не является в полной мере генетической.

Материалом для составления классификации послужила коллекция из более 400 образцов пород баженовской свиты, отобранных из керна 13 скважин, пробуренных на территории центральных районов Западно-Сибирской геосинеклизы (Ханты-Мансийский автономный округ, запад Томской и север Новосибирской областей) (рис. 6).



Рисунок 6 – Литологическое многообразие баженовской свиты
(на фотографиях представлены фрагменты керна из одного и того же разреза)

Изученная выборка образцов характеризуется следующими количественными вариациями компонентов пород:

- минералы кремнезёма – от 0 до 88,4 % (в среднем 35,5 %);
- глинистые минералы – от 1,25 до 53,1 % (в среднем 25,1 %);
- альбит – от 0 до 29,1 % (в среднем 8,8 %);
- карбонатные минералы – от 0 до 92,3 % (в среднем 13,3 %);
- органическое вещество (кероген) – от 0,4 до 28,1 % (в среднем 10,5 %);
- пирит – от 0,14 до 23,1 % (в среднем 6,0 %);
- апатит – от 0,1 до 17,5 % (в среднем 0,85 %).

Таким образом, основными пороодообразующими группами баженовской свиты являются кремнистые, глинистые, карбонатные минералы и кероген, которые за редким исключением в сумме составляют более 80 вес. % от породы.

Распределение органического углерода в породах

Западная Сибирь и, в первую очередь, баженовская свита была одним из первых объектов, на примере которого в СССР было начато изучение закономерности распределения органического вещества в древних осадочных бассейнах. Первые попытки построения таких карт были предприняты в 1960–1963 гг. Гурами Ф.Г., Запиваловым Н.П., Конторовичем А.Э., Нестеровым И.И., Никоновым В.Ф. Именно в это время Страхов Н.М. (1962) сформулировал задачу построения таких карт для современных и ископаемых осадочных бассейнов как одну из приоритетных задач осадочной геохимии. Западно-Сибирский бассейн стал одним из первых ископаемых бассейнов, на примере которых было начато решение этой задачи. Обычно такие построения опирались только на аналитические данные по керну. Данные радиоактивного каротажа скважин первым для оценки содержания органического углерода в породах использовал Плумен И.И., что позволило резко повысить плотность наблюдений при построении карт. В 80-е годы прошлого века такой же подход использовали Гурами Ф.Г. и Москвин В.И., а в начале XXI века Конторович В.А. При этом при поисках зависимости «кern – ГИС» они использовали средние значения параметров по каждой изученной скважине.

Результаты последних исследований показывают, что концентрация органического углерода меняется от первых процентов до 25 %. Наиболее часто встречаемые концентрации органического углерода в породах баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского бассейна от 8 до 13 %, среднее по результатам 1541 анализа – 9,9 %.

Уже исследования 60-х, 70-х годов прошлого века показали тенденцию роста от окраин бассейна седиментации волжского века к его центральной, наиболее глубокой части.

К настоящему времени на основании зависимости «керна – ГИС» в центральных районах Западно-Сибирского бассейна было обработано более 600 скважин, что позволило относительно равномерно охарактеризовать разрез каждой изученной скважины. Обработка полученных по данным ГИС диаграмм позволила замерить значения Сор_г в этих скважинах более, чем в 36000 точек. Обработка этих данных дала несколько более низкое значение среднего содержания органического углерода в породах баженовской свиты 7,5 %.

Вопросы о нефтегазоносности баженовской свиты

Впервые предположение о наличии в баженовской свите трещинных коллекторов и возможность обнаружения в них залежей нефти было высказано Гурари Ф.Г. в 1961 году. Это предположение вскоре подтвердилось на территории деятельности Правдинской нефтегазоразведочной экспедиции. В 1964 году при бурении скважины № 1Р на Лемпинском локальном поднятии во время вскрытия отложений баженовской свиты наблюдалось разгазирование глинистого раствора и появление нефтяной плёнки. Первый промышленный приток нефти из баженовской свиты был получен в апреле 1967 года в результате бурения скважины № 12, расположенной в присводовой части поднятия. При забое 2836 м произошёл неожиданный аварийный нефтегазовый выброс. Дебит нефти при фонтанировании ориентировочно определялся в 750 м³/сут. Исходя из существовавшей тогда геологической модели, этот фонтан связывали с ачимовской толщей неокома или пластами кровли тюменской свиты. В этом же году, но чуть позднее, на Правдинском месторождении в скважине № 90Р при вскрытии баженовской свиты через колонну был получен приток нефти при переливе дебитом 6 м³/сут.

Для выяснения, из каких отложений получена нефть, в 1968 году была пробурена скважина, в которой при особых условиях вскрытия баженовской свиты получили мощный фонтан нефти, равный примерно 300–400 тонн/сут.

Впоследствии и на Салымском, и на Правдинском месторождениях при испытании интервала баженовской свиты в десятках разведочных скважин были получены притоки нефти от малодобитных до высокодобитных – фонтанирующих.

К настоящему времени опробование на приток углеводородов интервала баженовской свиты (без перекрывающих и подстилающих толщ) проведено на более чем 200 площадях, расположенных в Тюменской (юг), Омской, Томской областях и ХМАО, ЯНАО. Наибольшее количество испытаний проведено в центральной и западной частях территории Западной Сибири (ХМАО), где баженовская свита подстилается абалакской (рис. 7). Промышленные и полупромышленные притоки безводной нефти были получены на 120 площадях, при этом в центральной части осадочного бассейна притоки нефти от незначительных (менее 1 м³/сут.) до нескольких десятков м³/сут. получены как из классических разрезов баженовской свиты, так и из аномальных (Асомкинская, Вачимская, Восточно-Перевальная, Имилорская, Северо-Тончинская и другие площади).

Результаты испытаний баженовской свиты следующие. В 40 % скважин притока не получено. Приведём результатам испытаний скважин только для одной компании ОАО «Сургутнефтегаз», которая достаточно давно занимается проблемами нефтеносности баженовской свиты. Согласно опубликованным данным на сайте компании, компания пробурила около 600 скважин на пласт Ю0 и испытала его, причём 37 % этих скважин оказались «сухими». В 13 % от общего количества испытанных скважин получены либо признаки нефти в виде плёнки, либо дебиты составили менее 1 м³/сут. В 28 % опробований из баженовской свиты получены притоки нефти от 1 до 10 м³/сут. при различных гидродинамических уровнях. При испытании 15 % скважин дебиты

нефти составили от 10 до 100 м³/сут. Наиболее высокодебитные фонтанные притоки (более 100 м³/сут.) получены в 4 % скважин, которые пробурены в центральной части ХМАО, где баженовская свита перекрывается достаточно мощной пачкой подачимовских глин и подстилается глинистой толщей абалакской свиты. Эти скважины расположены в пределах Салымского, Северо-Салымского, Приразломного, Правдинского, Сахалинского и Ай-Пимского месторождений, а в западной части ХМАО – на Красноленинском месторождении. Исключением является фонтан дебитом более 150 м³/сут., полученный при вскрытии баженовской свиты на Мултановской площади, расположенной в юго-восточной части ХМАО.

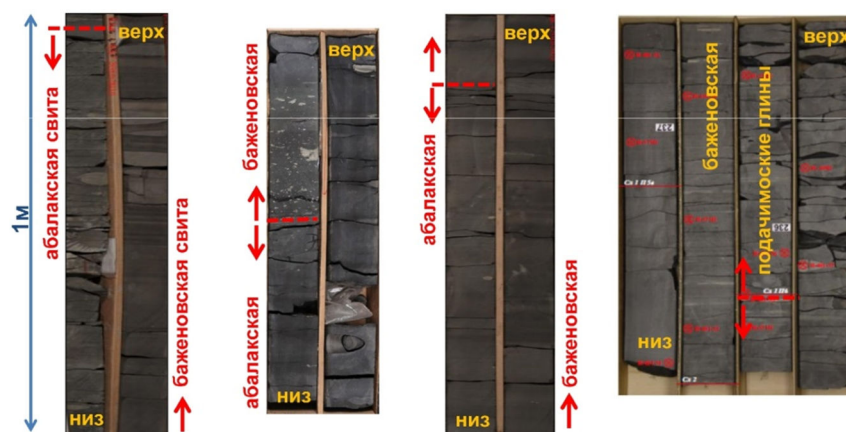


Рисунок 7 – Характер литологических переходов в подошвенных и кровельных частях баженовской свиты

На основании обобщения опубликованных данных по нефтеносности баженовской свиты можно сделать следующие выводы:

1. Большинство исследователей, занимавшихся проблемой нефтегазосности баженовской свиты, отмечает приуроченность выявленных нефтяных залежей к зонам положительных температурных аномалий и к областям с достаточно высоким содержанием органического вещества (керогена).

2. Залежи нефти в баженовской свите не имеют подошвенных и краевых вод. Во всех скважинах из интервала баженовской свиты получена безводная нефть.

3. Залежи нефти в баженовской свите не контролируются структурным фактором. Однако ряд авторов отмечает некоторое тяготение высокодебитных скважин к сводовой части Лемпинского поднятия в пределах Салымского месторождения, что объясняется ими образованием в сводовой части зон разуплотнения.

4. Характерными являются аномально высокие пластовые давления (АВПД) в залежах, что указывает на их гидродинамическую изоляцию от проницаемых горизонтов, низкие емкостные и фильтрационные свойства получаемых из скважин образцов.

5. Залежи в баженовской свите приурочены к листовато-порово-кавернозно-трещинному коллектору пласта Ю0, характеризующемуся низкой ёмкостью и высокой проницаемостью. Породы-коллекторы баженовской свиты залегают в виде прерывистых пропластков и линзовидных образований внутри преимущественно непроницаемых глинисто-кероген-силицитовых пород. В большинстве случаев линзы между собой практически не сообщаются. Это подтверждает распределение начального пластового давления. Оно резко отличается по скважинам и меняется от 28 МПа (гидростатическое давление равно 28 МПа) до 49 МПа. Кроме этого, высокий процент и хаотичность расположения «сухих» и малопродуктивных скважин также указывают на линзовидное строение коллектора баженовской свиты. Продуктивность скважин, вскрывших высокоуглеродистые отложения баженовской свиты, даже в пределах одного месторождения резко отличается друг от друга, причём расстояние между этими скважинами может составлять лишь первые сотни метров. Проведённые предварительные оценки (на основе гидродинамических расчётов) показывают, что протяжённость самих нефтеносных линз может достигать 1,0–1,5 км, а их наиболее вероятная величина 3–5 м.

В ряде скважин проведены отдельные поинтервальные испытания баженовской свиты. Выполнена статистика по результатам испытания отдельных интервалов баженовской свиты из нескольких скважин Салымского месторождения, которая свидетельствует об улучшении коллекторских свойств в низах баженовской свиты, хотя наличие промышленно нефтеносных интервалов предполагается по всему разрезу.

Обобщение результатов испытания отдельных интервалов баженовской свиты показало, что в Салымском районе притоки нефти с фонтанированием из верхней пачки свиты составляют 24 %, из средней – 28 %, из нижней – 48 %. Нефтепроявления всех категорий (фонтанирование, разгазирование бурового раствора, появление плёнки нефти и др.) из верхней пачки составляют 34 %, из средней – 26 %, из нижней – 40 %. На основании полученных статистических результатов сделан вывод о том, что нефтеносность проявляется во всех частях разреза свиты, но основные по количеству и мощности притоки получены из нижней её части.

На сегодняшний день на территории Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в пласте Ю0 баженовской свиты выявлено более 150 залежей нефти на 92 месторождениях, подавляющее количество из которых расположено в западной половине ХМАО.

Обзор взглядов на критерии прогноза нефтеносности баженовской свиты

Как же образовались такие интересные горные породы? Сейчас геологи более или менее могут восстановить историческую картину. Примерно двести миллионов лет назад, в конце юрского периода, согласно геологическому летоисчислению, распадался суперконтинент Пангея.

Участки, где земная кора растягивалась, заполнились водой. Обширные пространства Западной Сибири оказались заняты тёплым морем. Осадки накапливались медленно, тысячи и миллионы лет, в основном это были илы из отмерших микроорганизмов, фито- и зоопланктона, наземных растений.

Это было время сильного вулканизма на Земле. Именно с ним связывают аномально высокое содержание урана и редкоземельных элементов в баженовской свите. Климат менялся, вымерли многие виды флоры и фауны. В истории планеты произошла смена геологических периодов. В такой обстановке в разных частях земного шара образовались чёрные сланцы. Они есть в США, Канаде, Венесуэле, Алжире, Средней Азии. Но только в Западной Сибири эта порода занимает гигантскую площадь – 1,2 миллиона квадратных километров – и непрерывна на всём её протяжении.

Баженовская свита формировалась в глубоководном морском бассейне в конце юрского и начале мелового периода, приблизительно 145 миллионов лет назад. Она образована останками морских организмов, в основном планктона, и продуктами их жизнедеятельности, которые не были переработаны бактериями, а были захоронены под толщей вышележащих пород. В процессе геологического развития из останков планктона сформировалось твёрдое органическое вещество – кероген. На протяжении многих миллионов лет отложения баженовской свиты постепенно погружались на всё большую глубину, и сложные органические соединения керогена, попав в условия высокой температуры (порядка 100 °С) и давления, начали распадаться на более простые молекулы углеводородов – таким образом из керогена образовалась нефть вместе с сопутствующими гетерогенными соединениями (смолами и асфальтенами).

Главный механизм, который обеспечивал насыщение и пропитку пород баженовской свиты углеводородами, связан с явлением автофлюидоразрыва пород. Переход органического вещества из твёрдого состояния в жидкое сопровождался увеличением его объёма, что вызывало сильное избыточное давление, благодаря которому жидкие новообразованные продукты трансформации керогена растрескивали породу. Через созданные в породе микротрещины лёгкие углеводороды «выгонялись» от очага генерации, а более твёрдые продукты преобразования керогена затем их «залечивали». Таким образом сформировались битуминозные аргиллиты – общее название пород, слагающих баженовскую свиту. При этом давление в очаге генерации было столь высоким, что ультранизкая проницаемость никаким образом не являлась препятствием

для насыщения баженовской свиты углеводородами. Поэтому скопления нефти смогли возникнуть в практически непроницаемых породах – по сути, в битуминозных глинах.

Баженовская свита накапливалась около 8 миллионов лет, в течение которых происходило множество событий: менялись жизненные циклы морских обитателей, их видовой состав, случались и крупные извержения вулканов. Каждое из этих событий формировало отдельный тонкий слой на дне баженовского моря, а потом эти слои перешли в породу, придав ей характерную сланцеватость, что дало основание отнести баженовскую свиту к сланцевым формациям. Глубинные процессы, которые протекали в недрах, наложили свои отпечатки, что только усложнило и без того непростое строение. Так, в баженовской свите глины могут соседствовать с прослоями кремнезёма и карбонатных пород, рядом могут располагаться слои вулканического пепла, пирит и другие минералы, поэтому для геологического моделирования свита представляет крайне сложный объект.

Баженовская свита представляет собой достаточно тонкий по геологическим меркам слой осадочных пород, расположенный на глубине 2–3 км. В зависимости от района залегания её толщина меняется и в среднем составляет 30 м. Большинство учёных баженовская свита признаётся главной нефтегазоматеринской свитой Западной Сибири, т.е. «местом рождения» нефти, которая затем насытила пластовые ловушки большинства известных месторождений Западно-Сибирского региона. Но не вся рождённая баженовской свитой нефть покинула «родные стены»: значительная часть осталась, образовав самое большое в мире скопление «трудной» нефти – во всяком случае, по площади распространения. О наличии промышленных запасов нефти в баженовской свите известно с середины 1960-х годов, но только в первом десятилетии XXI века эту нефть стали называть сланцевой, подчёркивая её сходство с предметом «сланцевой революции» в США. Таким образом, можно заключить, что к баженовской свите приурочено крупнейшее в мире месторождение сланцевой нефти размером практически во всю Западную Сибирь.

Формирование залежей нефти в глинистой толще – явление «неклассическое» с точки зрения традиционных представлений. Впервые баженовская свита была испытана в 1959 году в Томской области на Назинской площади. Промышленные притоки нефти были получены в 1968 году на Салымской площади в скважине № 12 и на Правдинской площади в скважине № 90, причём в скважине № 90 нефтенасыщенность пород была отмечена при описании керна.

Имеется большое число публикаций относительно критериев нефтеносности пород баженовской свиты. На основании этих публикаций можно сформулировать следующий ряд критериев прогноза в баженовской свите залежей нефти салымского типа:

- значительная (не менее 15 м) толщина баженовской свиты;
- высокая концентрация органического вещества в породах;
- развитие микрослоистости, приводящей при катагенезе органического вещества к листоватости, автофлюидоразрыву слоёв и формированию баженигов;
- наличие над и под баженовской свитой достаточно мощных пачек глинистых пород, изолирующих нефтепроизводящие породы и бажениги от песчаных резервуаров углеводородов;
- катагенез органического вещества в породах баженовской свиты, отвечающий второй половине главной зоны нефтеобразования;
- высокие современные температуры пород в зонах развития нефтеносности и баженигов.

С изложенных позиций основными документами для оценки промышленной нефтеносности баженовской свиты является карта содержаний Сорг, карта катагенеза органического вещества баженовской свиты, карта мощностей свиты и мощностей, изолирующих свиту флюидоупоров (карты толщин подачимовских глин, абалакской и георгиевской свит), карта температур в баженовской свите.

Что касается ресурсной базы баженовской свиты, то, поскольку её запасы относятся к нетрадиционным, геологи сталкиваются с очень высоким уровнем неопределённости. Получаемые оценки разнятся от весьма «скромных» 600 миллионов до гигантских 60 миллиардов тонн – это в несколько раз больше, чем во всех известных ме-

сторождениях России вместе взятых. Важно понимать, что продуктами преобразования керогена как материнского органического вещества являются не только жидкие углеводороды, которые в проницаемых породах могут перемещаться под действием перепада давления, создаваемого между пластом и скважиной, но также гетероатомные твёрдые соединения вроде смол и асфальтенов, не имеющие такой возможности. Кроме того, у керогена может оставаться нереализованный генерационный потенциал, который можно высвободить благодаря его термической деструкции (внутрипластовому нагреву). В этой связи кроме лёгкой нефти, образованной в естественных природных условиях, в баженовской свите есть ресурс для её синтеза техногенными методами. Таким образом, каждый раз, встречая оценку потенциала баженовской свиты, необходимо выяснять, какой вид ресурсов принимался в расчёт: только жидкие углеводороды или также твёрдые продукты преобразования керогена и его остаточный генерационный потенциал? В зависимости от этого оценка ресурсной базы свиты будет различаться на порядки.

Технологии добычи из нетрадиционных источников отработаны в ходе сланцевой революции в США в 1990-е. К пласту бурят скважину, отклоняют её горизонтально, создавая подачей воды или вязкого раствора на большой скорости в нескольких местах гидроразрывы. В результате горные породы сильно дробятся и становятся проницаемыми для углеводородов (рис. 8).

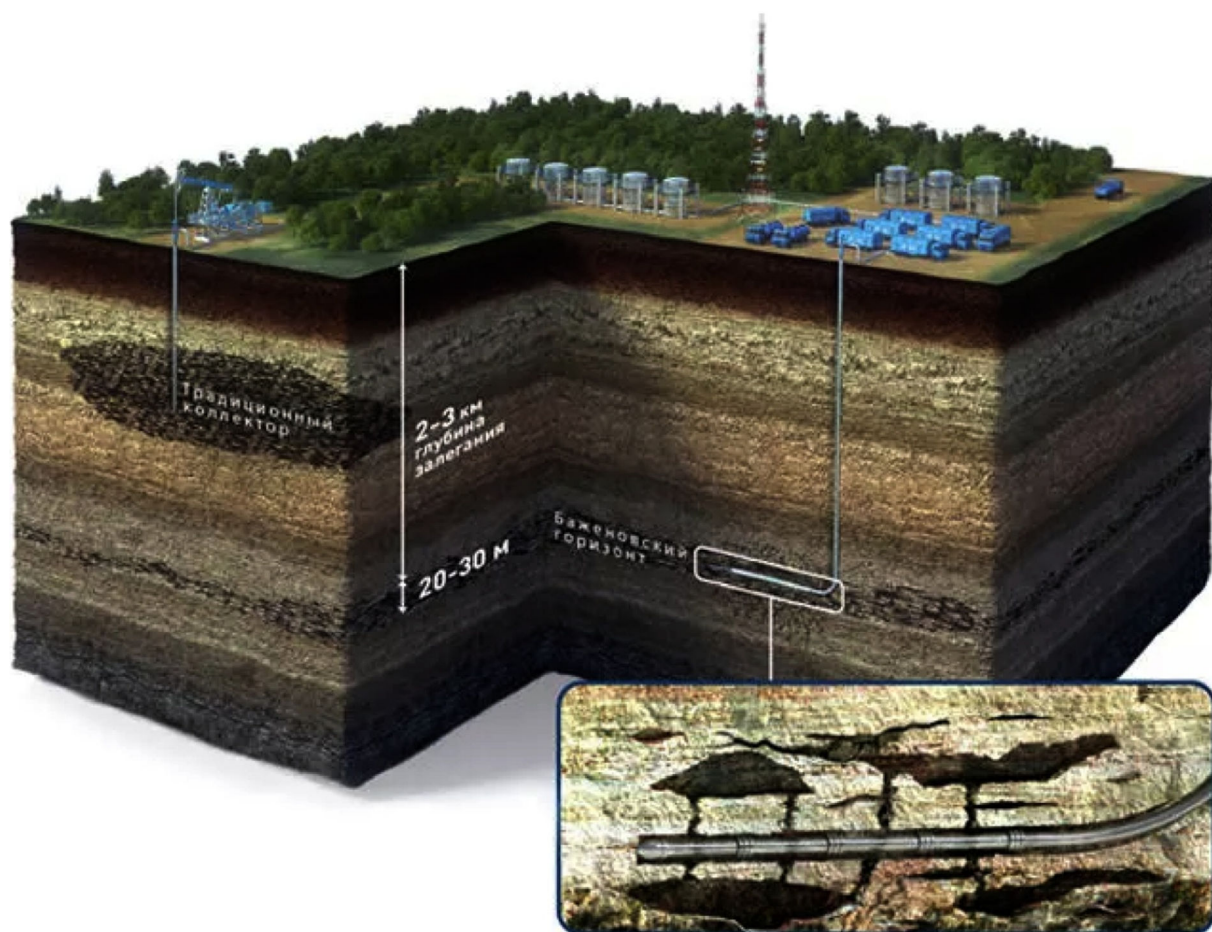


Рисунок 8 – Технология ГРП на баженовской свите

Технология гидравлического разрыва пласта получила широкое применение во всём мире. Это один из самых эффективных методов повышения нефтеотдачи, с помощью которого не только дают вторую жизнь зрелым месторождениям, но и добывают «трудную» нефть. Объектом применения ГРП являются низкопроницаемые пласты, содержащие углеводороды. Сегодня большинство новых скважин в России вводятся в разработку благодаря применению именно этой технологии.

Ещё один способ заставить породу отдать нефть – закачать в скважину воздух и дать керогену окислиться и даже загореться. Эксперименты показали, что таким образом удаётся значительно повысить дебит скважин.

Всего к баженовской свите пробурено порядка двухсот скважин. За все годы из них получено около 11 миллионов тонн нефти. В сущности, разработка необычного источника ископаемого топлива только начинается. К этому побуждает прогноз скорого истощения традиционных запасов нефти в Западной Сибири. К середине XXI века перед нефтяниками встанет вопрос: работать на арктическом шельфе или совершенствовать методы добычи из чёрных сланцев. Второе кажется менее рискованным.

Литература

1. Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. Баженовский горизонт Западной Сибири. – Новосибирск : Издательство «Наука», 1986. – 217 с.
2. Гурари Ф.Г. Доманикиты Сибири и их роль в нефтегазоносности. – Новосибирск : Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 1982. – 138 с.
3. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты / Ф.Г. Гурари [и др.]. – М. : Недра, 1988. – 200 с.
4. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Новосибирск : Издательство СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. – 253 с.
5. Савенок О.В. Повышение эффективности базовых и информационно-управляющих технологий при разработке месторождений углеводородов с трудноизвлекаемыми запасами: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук / Институт машиноведения им. А.А. Благоднарова Российской академии наук. – М., 2013. – 432 с.
6. Савенок О.В., Арутюнов Т.В. Сланцевые углеводороды: анализ текущего состояния и перспективы разработки. – Красноярск : ООО «Издательский Дом – Юг», 2019. – 272 с.
7. Банин Е.В. Обзор проектов по разработке залежей углеводородов в нефтематеринских породах на примере баженовской свиты: бакалаврская работа / Сибирский федеральный университет; науч. рук. М.Т. Нухаев. – Красноярск, 2017. – 64 с.
8. Алексеев А.Д., Жуков В.В., Стрижнев К.В., Черевко С.А. Изучение трудноизвлекаемых и нетрадиционных объектов согласно принципу «фабрика коллектора в пласте» // Записки Горного института. – 2017. – Т. 228. – С. 695–704.
9. Арутюнов Т.В., Арутюнов А.А., Савенок О.В. Постановка задачи физико-химического моделирования сланцевых пород // Инженер-нефтяник. – 2015. – № 1. – С. 42–47.
10. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Исследование сланцевых пород и природы сланцевой нефтеносности баженовской свиты и формации Баккен // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2015. – № 1. – С. 28–46.
11. Методология оценки ресурсов сланцевых отложений / Т.В. Арутюнов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 3. – С. 266–270.
12. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Принципы моделирования поровой структуры сланцевых пород // Евразийский союз учёных. – 2015. – № 4–11 (13). – С. 103–109.
13. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Экологические проблемы при разработке месторождений сланцевых углеводородов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. – № 9. – С. 39–42.
14. Арутюнов Т.В., Савенок О.В., Шляховой Д.С. Теоретическое исследование процесса формирования искусственных образцов глинисто-кремнистых сланцевых пород // Инженер-нефтяник. – 2016. – № 3. – С. 34–39.
15. Арутюнов Т.В. Влияние сланцевого газа на мировой энергетический рынок // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 7. – С. 149–157.
16. Балущкина Н.С., Калмыков Г.А., Кирюхина Т.А. Закономерности строения баженовского горизонта и верхов абалакской свиты в связи с перспективами добычи нефти // Геология нефти и газа. – 2013. – № 3. – С. 48–61.
17. Белкин В.И., Ефремов Е.П., Каптелинин Н.Д. Модель коллектора нефти баженовской свиты Салымского месторождения // Нефтяное хозяйство. – 1983. – № 10. – С. 27–31.
18. Белозёров И.П., Губайдуллин М.Г. О концепции технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов на цифровой модели керна // Записки Горного института. – 2020. – Т. 244. – № 4. – С. 402–407.
19. Условия формирования и особенности строения баженовского горизонта в северной части Фроловской мегавпадины / С.Л. Белоусов [и др.] // Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа: материалы VI научно-практической конференции. – Ханты-Мансийск : ООО «ИздатНаукаСервис», 2003. – С. 217–237.
20. Григулецкий В.Г. О теории и практике. О проблемах и перспективах добычи углеводородов (нефть, газ) из низкопроницаемых сланцеватых пород на месторождениях Российской Фе-

- дерации // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: материалы XXV международной научно-практической конференции (26–27 ноября 2015 года, г. Москва). – М. : Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований», 2015. – С. 85–104.
21. Перспективы развития минерально-сырьевой базы ООО «Газпром добыча Краснодар» за счёт разработки низкопроницаемых сланцеватых пластов домелового комплекса / В.Г. Григулецкий [и др.] // Нефть, газ и бизнес. – 2016. – № 3. – С. 11–24.
 22. Гулари Ф.Г., Гулари И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 1974. – № 5. – С. 36–40.
 23. Результаты испытаний низкопроницаемых сланцевых отложений домелового комплекса Кармалиновского месторождения / А.А. Захаров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – № 6. – С. 45–58.
 24. Конторович А.Э., Фомин А.Н., Красавчиков В.О. Катагенез органического вещества в кровле и подошве юрского комплекса Западно-Сибирского мегаполиса // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 11. – С. 1191–1200.
 25. Конторович В.А. Мезозойско-кайнозойская тектоника и нефтегазоносность Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 4. – С. 461–474.
 26. Корж М.В., Филина С.И. Особенности литогенеза аргиллитов баженовской свиты и возможный механизм образования в них залежей нефти // Сборник научных статей «Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири» / Под ред. Н.А. Крылова. – М. : ИГНРГИ, 1980. – С. 6–17.
 27. Лопатин Н.В., Емец Т.П., Симоненкова О.И. Баженовская нефтяная генерационно-аккумуляционная система на западе Хантейской антеклизы // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 1998. – № 5. – С. 2–27.
 28. Медведский Р.И., Светлов К.В. Строение залежей нефти баженовской свиты по данным промыслово-геологических исследований скважин // Сборник научных трудов «Строение и нефтеносность баженинов Западной Сибири». – Тюмень : ЗапСибНИГНИ, 1985. – С. 107–110.
 29. Нежданов А.А. Зоны аномальных разрезов баженовского горизонта Западной Сибири // Сборник научных трудов «Строение и нефтегазоносность баженинов Западной Сибири». – Тюмень : ЗапСибНИГНИ, 1985. – С. 27–35.
 30. Савенок О.В. Трудноизвлекаемые запасы нефти – структура и тенденции // Инженер-нефтяник. – 2012. – № 3. – С. 5–9.
 31. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. База данных «Технология эффективной выработки запасов углеводородов из сланцевых отложений». Свидетельство о регистрации базы данных RU 2015620762, 18.05.2015. Заявка № 2015620281 от 27.03.2015.

References

1. Braduchan Yu.V., Gurari F.G., Zakharov V.A. Bazhenov horizon of Western Siberia. – Novosibirsk : Publishing house «Nauka», 1986. – 217 p.
2. Gurari F.G. Domanikites of Siberia and their role in oil and gas potential. – Novosibirsk : Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 1982. – 138 p.
3. Formation conditions and methods of prospecting for oil deposits in mudstones of the Bazhenov Formation / F.G. Gurari [et al.]. – M. : Nedra, 1988. – 200 p.
4. Kontorovich V.A. Tectonics and oil and gas potential of the Mesozoic-Cenozoic deposits of the southeastern regions of Western Siberia. – Novosibirsk : Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, branch «GEO», 2002. – 253 p.
5. Savenok O.V. Improving the efficiency of basic and information-control technologies in the development of hydrocarbon deposits with hard-to-recover reserves: a thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences / Institute of Mechanical Engineering. A.A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences. – M., 2013. – 432 p.
6. Savenok O.V., Arutyunov T.V. Shale hydrocarbons: analysis of the current state and development prospects. – Krasnodar : LLC «Publishing House – South», 2019. – 272 p.
7. Banin E.V. Review of projects for the development of hydrocarbon deposits in oil source rocks on the example of the Bazhenov formation: Bachelor's thesis / Siberian Federal University; scientific hands M.T. Nukhaev. – Krasnoyarsk, 2017. – 64 p.
8. Alekseev A.D., Zhukov V.V., Strizhnev K.V., Cherevko S.A. The study of hard-to-recover and non-traditional objects according to the principle of «reservoir factory in the reservoir» // Zapiski Gornogo instituta. – 2017. – Vol. 228. – P. 695–704.
9. Arutyunov T.V., Arutyunov A.A., Savenok O.V. Statement of the problem of physical and chemical modeling of shale rocks // Oil engineer. – 2015. – № 1. – P. 42–47.
10. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Study of shale rocks and the nature of shale oil-bearing of the Bazhenov formation and the Bakken formation // Nauka. Technique. Technologies (polytechnical bulletin). – 2015. – № 1. – P. 28–46.
11. Methodology for assessing the resources of shale deposits / T.V. Arutyunov [et al.] // Mining Information and Analytical Bulletin. – 2015. – № 3. – P. 266–270.

12. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Principles of modeling the pore structure of shale rocks // Eurasian Union of Scientists. – 2015. – № 4–11 (13). – P. 103–109.
13. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Ecological problems in the development of shale hydrocarbon deposits // Protection of the environment in the oil and gas complex. – 2015. – № 9. – P. 39–42.
14. Arutyunov T.V., Savenok O.V., Shlyakhovoi D.S. Theoretical study of the process of formation of artificial samples of argillaceous-siliceous shale rocks. Oil Engineer. – 2016. – № 3. – P. 34–39.
15. Arutyunov T.V. Influence of shale gas on the global energy market // Bulatovskie readings. – 2018. – Vol. 7. – P. 149–157.
16. Balushkina N.S., Kalmykov G.A., Kiryukhina T.A. Patterns of the structure of the Bazhenov horizon and the upper reaches of the Abalak suite in connection with the prospects for oil production // Geology of Oil and Gas. – 2013. – № 3. – P. 48–61.
17. Belkin V.I., Efremov E.P., Kaptelinin N.D. Model of the oil reservoir of the Bazhenov formation of the Salymskoye field // Oil industry. – 1983. – № 10. – P. 27–31.
18. Belozerov I.P., Gubaidullin M.G. On the concept of technology for determining the reservoir properties of terrigenous reservoirs on a digital core model. Zapiski Gornogo instituta. – 2020. – Vol. 244. – № 4. – P. 402–407.
19. Formation conditions and structural features of the Bazhenov horizon in the northern part of the Frolovskaya megadepression / S.L. Belousov [et al.] // Ways to realize the oil and gas potential of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug: materials of the VI scientific and practical conference. – Khanty-Mansiysk : LLC «IzdatNaukaService», 2003. – P. 217–237.
20. Griguletsky V.G. On theory and practice. On the problems and prospects of hydrocarbon production (oil, gas) from low-permeability shale rocks in the fields of the Russian Federation // Modern problems of the humanities and natural sciences: materials of the XXV international scientific and practical conference (November 26–27, 2015, Moscow). – M. : Scientific and Information Publishing Center «Institute for Strategic Studies», 2015. – P. 85–104.
21. Prospects for the development of the mineral resource base of LLC Gazprom dobycha Krasnodar through the development of low-permeability shale formations of the pre-Cretaceous complex / V.G. Griguletsky [et al.] // Oil, gas and business. – 2016. – № 3. – P. 11–24.
22. Gurari F.G., Gurari I.F. Formation of oil deposits in mudstones of the Bazhenov formation in Western Siberia // Geology of Oil and Gas. – 1974. – № 5. – P. 36–40.
23. Results of testing low-permeability shale deposits of the pre-Cretaceous complex of the Karmalinskoye field / A.A. Zakharov [et al.] // Proceedings of higher educational institutions. Oil and gas. – 2018. – № 6. – P. 45–58.
24. Kontorovich A.E., Fomin A.N., Krasavchikov V.O. Catagenesis of organic matter in the top and bottom of the Jurassic complex of the West Siberian metropolis // Geology and Geophysics. – 2009. – Vol. 50. – № 11. – P. 1191–1200.
25. Kontorovich V.A. Mesozoic-Cenozoic tectonics and oil and gas potential of Western Siberia // Geology and Geophysics. – 2009. – Vol. 50. – № 4. – P. 461–474.
26. Korzh M.V., Filina S.I. Peculiarities of lithogenesis of argillites of the Bazhenov formation and a possible mechanism for the formation of oil deposits in them // Collection of scientific articles «Oil-bearing capacity of the Bazhenov formation of Western Siberia» / Ed. ON THE. Krylov. – M. : IGnRGI, 1980. – P. 6–17.
27. Lopatin N.V., Emets T.P., Simonenkova O.I. Bazhenovskaya oil generation-accumulation system in the west of the Khanteyskaya anteclise // Geology, geophysics and development of oil fields. – 1998. – № 5. – P. 2–27.
28. Medvedsky R.I., Svetlov K.V. The structure of oil deposits of the Bazhenov formation according to the data of field and geological studies of wells // Collection of scientific papers «Structure and oil content of the Bazhenites of Western Siberia». – Tyumen : ZapSibNIGNI, 1985. – P. 107–110.
29. Nezhdanov A.A. Zones of anomalous sections of the Bazhenov horizon of Western Siberia // Collection of scientific papers «Structure and oil and gas potential of the Bazhenites of Western Siberia». – Tyumen : ZapSibNIGNI, 1985. – P. 27–35.
30. Savenok O.V. Hard-to-recover oil reserves – structure and trends // Petroleum Engineer. – 2012. – № 3. – P. 5–9.
31. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Database «Technology for the efficient development of hydrocarbon reserves from shale deposits». Database registration certificate RU 2015620762, 05/18/2015. Application № 2015620281 dated 03/27/2015.