УДК 553.983

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ НА ПРИМЕРЕ АЙ-ПИМСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

FEATURES OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE BAZHENOV FORMATION ON THE EXAMPLE OF THE AI-PIMSKOYE OIL FIELD

Жарикова Наиля Халимовна
кандидат технических наук,
доцент кафедры разработки и эксплуатации
нефтяных и газовых месторождений,
Санкт-Петербургский горный университет
zharikova_nkh@pers.spmi.ru

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

Ситёв Роман Рустамович
студент направления подготовки
21.05.06 «Нефтегазовые техника и технологии»,
Санкт-Петербургский горный университет
roman-sitev@yandex.ru

Аннотация. В статье приведено описание геолого-геофизической характеристики Ай-Пимского месторождения, расположенного в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области. Приведён литолого-стратиграфический разрез; рассмотрены тектоника и нефтегазоносность; представлена петрофизическая характеристика разреза. С целью выявления геофизических признаков нефтеносности отложений баженовской свиты в условиях Ай-Пимского нефтяного месторождения использован весь имеющийся геолого-геофизический материал, анализ которого в той или иной мере позволит увязать геолого-геофизические данные по разновозрастным образованиям разрезов скважин (горизонт $Ю_0$ и $АС_{12}$ и др.).

Ключевые слова: геолого-геофизическая характеристика месторождения, литолого-стратиграфический разрез, тектоника и нефтегазоносность, петрофизическая характеристика разреза, характеристика структурных элементов месторождения, кривые распределения пористости, проницаемости и остаточной водонасыщенности, граничные значения коэффициентов пористости и проницаемости.

Zharikova Nailia Khalimovna
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Development and Operation
of Oil and Gas Fields,
Saint Petersburg Mining University
zharikova_nkh@pers.spmi.ru

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

Sitev Roman Rustamovich
Student Training Direction 21.05.06
«Oil and Gas Equipment and Technologies»,
Saint Petersburg Mining University
roman-sitev@yandex.ru

Annotation. The article provides a description of the geological and geophysical characteristics of the Ai-Pimskoye field, located in the Surgut district of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug of the Tyumen region. A lithological-stratigraphic section is given; tectonics and oil and gas potential are considered; the petrophysical characteristic of the section is presented. In order to identify the geophysical signs of the oil-bearing capacity of the deposits of the Bazhenov formation in the conditions of the Ai-Pimskoye oil field, all available geological and geophysical material was used, the analysis of which, to one degree or another, will make it possible to link the geological and geophysical data on the formations of well sections of different ages (horizon Yu_0 and AC_{12}, etc.).

Keywords: geological and geophysical characteristics of the field; lithological-stratigraphic section; tectonics and oil and gas potential; petrophysical characteristic of the section; characterization of the structural elements of the field; distribution curves of porosity, permeability and residual water saturation; boundary values of porosity and permeability coefficients.

Литолого-стратиграфический разрез

В стратиграфическом разрезе Ай-Пимского месторождения принимают участие отложения палеозойской, мезозойской и кайнозойской эратем. Мощность разреза превосходит 3000 м. Разрез прерывистый, в нём выделяются два комплекса пород: нижний – палеозойский, который слагает фундамент, и верхний – чехол, который с угловым несогласием залегает на фундаменте. Общая мощность такого осадочного чехла составляет 500 м.

Палеозойская эратема (Pz)

Отложения палеозойской эратемы не расчленены и слагают фундамент платформы. Породы фундамента отмечаются на глубинах 3340,1 м (а.о. – 3259 м) в скважине № 7, 3405,9 м (а.о. – 3319 м) в скважине № 4008 и 3361,2 м (а.о. – 3273 м) в скважине № 4037Б, по которым пройдено 119,2 м, 98,8 м и 62,4 м соответственно. В скважине № 7 (интервал 3414–3415 м) керн представлен кварцевыми порфиритами, в верхней части выветрелыми и пелитизированными (интервал 3290–3330 м). В скважине № 4008 керн в интервале 3469–3475 м представлен гранит-порфиром (по результатам изучения шлифов под микроскопом), в интервале 3377–3384 м керн макроскопически представлен белесовато-зеленовато-серой кристаллической породой со следами выветривания, под микроскопом эта порода диагностируется как аплит. Вероятно, что она генетически связана с ниже залегающими гранит-порфирами, являясь их краевыми фациями, образуясь в результате кристаллизации остатков магмы. В скважине № 4037Б из интервала 3390–3393 м поднята глинисто-карбонатная порода с пелитоморфной и микрозернистой структурой, часто нарушена трещинами, выполненными карбонатным и, вероятно, кремнистым материалом.

Мезозойская эратема (Mz)

Отложения мезозойской эратемы представлены юрской и меловой системами.

Юрская система представлена нижним, средним и верхними отделами.

Нижний отдел состоит из горелой свиты.

Горелая свита (J_1gr) представлена отложениями в объёме плинсбахтоарского яруса и вскрыта скважинами №№ 7, 4008 и 4037бис Ай-Пимского месторождения. В разрезе присутствуют радомская и тогурская глинисто-битуминозные пачки и заглинизированные пласты $ЮС_{10}$–$ЮС_{11}$.

Средний отдел состоит из тюменской свиты.

Тюменская свита (J_2tm) представлена в объёме Ааленского, Байосского и Батского ярусов, имеет мощность около 350 м, характеризуется углисто-песчано-глинистым составом. В составе свиты залегают песчаные пласты $ЮС_{2-9}$, которые обладают линзовидным строением и низкими коллекторскими свойствами. Лишь пласты $ЮС_{2-3}$, залегающие в кровле свиты, имеют коллекторские свойства промышленных классов и относительно устойчивое площадное распространение. К верхней части тюменской свиты приурочен отражающий горизонт $Тю_2$. Более глубокие отражающие горизонты связаны с отложениями средней и нижней юры, границей раздела которых является ОГ $Тю_{10}$.

Верхний отдел состоит из абалакской и баженовской свит.

Абалакская свита (J_3ab) имеет мощность 30–35 м и сложена тёмно-серыми и чёрными глинами с включением глауконита и прослоями известково-сидеритовых стяжений, известковых алевролитов и обильными остатками морской фауны и микрофауны, позволяющими датировать возраст свиты келловей-кимериджем.

Баженовская свита (J_3bg) охватывает стратиграфический диапазон волжский ярус – берриас. Свита имеет мощность 25–30 м и сложена чёрными и буроватыми битуминозными глинами с прослоями радиоляритов и глинистых известняков. Породы имеют тонко- и микрослоистое строение. Накопление битуминозных пелитовых осадков, слагающих баженовскую свиту, происходило в условиях морского глубоководья (200–400 м) при дефиците терригенного осадочного материала. Пачка является региональным репером. С отложениями баженовской свиты связан динамически хорошо выраженный отражающий горизонт Б.

Баженовская свита является нижним, наиболее трансгрессивным элементом позднеюрско-неокомского регионального седиментационного суперцикла трансгрессивно-регрессивного типа. Глубоководная ванна, сформировавшаяся в поздней юре, заполнялась неокомскими осадками от периферии к центру бассейна, чем и обусловлена наклонная мегаструктура неокомской осадочной толщи.

Меловая система представлена нижним и верхним отделами.

Нижний отдел включает в себя ахскую, черкашинскую, алымскую, викуловскую и хантымансийскую свиты.

Ахская свита (K_1ah) представлена отложениями в объёме берриаского, готеривского, барремского ярусов, имеет мощность 90–450 м и сложена преимущественно глинами с невыдержанными по простиранию песчаными пластами $БС_1$, $БС_{2-3}$ и ачимовской толщи. Глины тёмно-серые и зеленовато-серые, от тонкоотмученных до алевритистых и алевритовых с остатками водорослей, слюдой, стяжениями пирита, редким и мелким углистым детритом, остатками раковин двухстворок, аммонитов. Песчаники средне-мелкозернистые, алевритовые, светло-серые, содержат углистый детрит, слюду, слоистость – линзовидная, косая и горизонтальная. По данным скважинной корреляции на месторождении выделяются песчаные линзы, индексируемые как $Ач_1$–$Ач_4$, предположительно соответствующие по возрасту шельфовым пластам $БС_{4-6}$. Для пород ачимовской толщи характерно обилие флюидальных и подводно-оползневых текстур, свидетельствующее о связи ачимовских песчаных тел с мутьевыми потоками и подводными оползнями. Песчаники ачимовской толщи содержат большое количество слюды, глиняные окатыши.

В составе ахской свиты на Ай-Пимском месторождении выделяется субрегиональный маркирующий горизонт $Нбс_1$ – глинистая пимская пачка, залегающая в кровле свиты. Пачка является устойчивым репером при геологических и сейсмостратиграфических построениях. К подошве пимской пачки приурочен отражающий горизонт $Нбс_1$.

Черкашинская свита (K_1ck) представлена в объёме готеривского и барремовского ярусов, согласно залегает на ахской свите и является регрессивной частью пимского субрегионального седиментационного цикла. В составе свиты на Ай-Пимском месторождении выделяются песчаные пласты $АС_4$, $АС_{5–6}$, $АС_{7–8}$, $АС_9$, $АС_{10}$, $АС_{11}$ и $АС_{12}$, разделённые глинистыми пачками мелководно-морского генезиса. Песчаные пласты имеют незначительные мощности и линзовидное строение. К западу от Ай-Пимского поднятия нижние пласты $АС_{10–12}$ имеют клиноформное строение и последовательно глинизируются. Мощность черкашинской свиты составляет 240–520 м.

Алымская свита (K_1al) аптского возраста трансгрессивно перекрывает черкашинскую свиту. Имеет преимущественно глинистый состав. Глины тёмно-серые, плотные, слюдистые, алевритистые. В нижней части отмечаются прослои алевролитов серых, тёмно-серых, плотных, обычно линзовидно-слоистых. В кровле свиты выделяется глинистый кошайский МГ. С ним связан опорный отражающий горизонт М. Мощность алымской свиты 180–200 м.

Викуловская свита (K_1vk) согласно (регрессивно) залегает на алымской свите. Викуловская свита имеет преимущественно песчаный состав. Мощность свиты 250–280 м, в кровле её выделяется песчаный горизонт $ВК_1$. По палинологическим данным возраст викуловской свиты принят аптским.

Хантымансийская свита (K_1hm), представленная в объёме альбского яруса, трансгрессивно перекрывает викуловскую и сложена глинами (нижняя подсвита), переслаиванием глин и песчаников (верхняя подсвита). Мощность свиты около 300 м – это нижняя трансгрессивная часть хантымансийско-Уватского регионциклита.

Верхний отдел меловой системы представлен Уватской, Кузнецовской, Березовской и Ганькинской свитами.

Уватская свита (K_2uv) сеноманского возраста сложена преимущественно песчаниками субконтинентального генезиса. Мощность свиты 300 м. В кровле свиты залегает песчаный горизонт $ПК_1$.

Вышележащая глинисто-кремнистая толща верхнего мела – палеогена играет роль регионального флюидоупора. В её составе снизу вверх выделяются кузнецовская (K_2kz), березовская (K_2bz), ганькинская (K_2gn), талицкая (P_1tl), люлинворская (P_2ll), тавдинская свиты (P_2tv). Общая мощность толщи превышает 800 м. К основанию толщи приурочен опорный отражающий горизонт Г.

В свою очередь она перекрывается осадками континентального палеогена (некрасовская серия) и четвертичными отложениями мощностью 30–80 м.

Тектоника

В геологическом строении Западно-Сибирской плиты по степени изменённости слагающих пород и тектоническим особенностям выделяются три структурно-тектонических этажа. Нижний этаж отвечает геосинклинальному этапу развития фундамента плиты, заканчивающемуся в палеозое и представлен дислоцированными осадочными и вулканогенными породами. Породы под мезо-кайнозойским чехлом являются составными частями всех основных групп формаций: геосинклинальной, срединных массивов, платформенной и рифтовой. Группу орогенных формаций составляют различные вулканогенные, вулканогенно-осадочные, терригенные, терригенно-карбонатные породы, формирование которых происходило в условиях дифференцированных тектонических движений большой амплитуды. Породы, слагающие эти формации, характеризуются значительной дислоцированностью.

Группу формаций срединных массивов составляют осадочные и вулканогенно-осадочные образования, формирование которых происходило в условиях относительной жёсткости основания массивов. Наибольшим развитием пользуются карбонатная и терригенная формация. Группу платформенных формаций представляют карбонатные, терригенные, карбонатно-терригенные, трапповые формации.

Группа формаций рифтогенеза представлена вулканогенной, вулканогенно-осадочной и габбровой формациями, породы которых, слагая рифовые зоны, имеют большую мощность, но не несут следов ярко выраженного регионального метаморфизма и для них наиболее характерны гидротермальные преобразования. Фундамент района Ай-Пимского месторождения, который приурочен к стыку структур I порядка – Сургутского свода и Северо-Сургутской моноклинали, на границе надпорядковых структур Мансийской синеклизы и Хантыйской антеклизы, по-видимому, относится к рифовой группе формаций. Наличие рифовой зоны к востоку от Ай-Пимского вала подтверждается сейсмическими материалами. По данным сейсмических исследований отражающая граница $А_1$ отождествляется с кровлей верхне-палеозойских отложений и залегает в районе в интервалах глубин 5500–6000 м, т.е. кровля собственно палеозойского фундамента находится на указанных глубинах. Поисковыми и разведочными скважинами, пробуренными в пределах Сургутского свода и в прилегающих районах, породы палеозойского фундамента не вскрывались.

Породы промежуточного комплекса (II – структурно-тектонический этаж), отвечающего парагеосинклинальному этапу развития, вскрыты поисково-разведочными скважинами. На Ай-Пимском месторождении породы кровельной части промежуточного этажа вскрыты скважиной № 7, пробуренной в южной части месторождения. Фактическая глубина скважины 3415 м. Кровля доюрского основания вскрыта на глубине 3290 м (вскрытая толщина 40 м). Породы фундамента представлены эффузивами основного состава.

На промежуточном структурном комплексе залегает слабо дислоцированная мощная толща мезо-кайнозойских пород, накапливавшихся в условиях устойчивого прогибания фундамента. Согласно тектонической карте мезо-кайнозойского чехла Западной Сибири, Ай-Пимское месторождение расположено в пределах Ай-Пимского вала – структуры II порядка, приуроченного к западной части Сургутского свода на стыке последнего с Унлорским мегавалом.

Анализ структурной карты по горизонту «А» свидетельствует, что по доюрскому основанию Ай-Пимскому поднятию соответствует ряд субширотно ориентированных локальных выступов.

Собственно Ай-Пимское поднятие по отражающему горизонту «А» имеет куполовидную форму, оконтурено сейсмоизогипсой – 3100 м и имеет размеры 4,5х2,0 км, амплитуду 20 м, площадь 7,1 км^2. Кроме того, выявлено два малоразмерных, но высокоамплитудных выступа фундамента: Западно-Ай-Пимский и Верхне-Ай-Пимский выступ по отражающему горизонту «А» оконтурен сейсмоизогипсой – 3100 м, имеет размеры 6х2,5 км, амплитуду 110 м, площадь 11,6 км^2. Верхне-Ай-Пимская складка оконтурена сейсмоизогипсой – 3140 м, имеет размеры 5х3 км, амплитуду 140 м, площадь 11,8 км^2.

Структурный план территории Ай-Пимского месторождения по отражающему горизонту «Б» значительно отличается от такового по горизонту «А». Во-первых, Ай-Пимское поднятие представляет собой замкнутую антиклинальную структуру, оконтуриваемую сейсмоизогипсой – 2760 м в северной части, постепенно погружаясь в южном направлении, где с определённой долей условности может быть замкнуто по сейсмоизогипсе – 2780 м. Площадь поднятия увеличилась более чем в 6 раз по сравнению с площадью по горизонту «А», увеличилась и её амплитуда. Во-вторых, наблюдается уменьшение площадей и амплитуд Западно- и Верхне-Ай-Пимских структур, т.е. они являются погребёнными.

В 10 км к северу от Верхне-Ай-Пимского поднятия, в районе скважин №№ 10 и 12 по отражающему горизонту «Б» выделяется Лабатъюганское локальное поднятие, оконтуриваемое сейсмоизогипсой – 2820 м, с размерами 6х5 км, амплитудой 40–45 м. Свод структуры (3,5х3,0 км) оконтуривается сейсмоизогипсой – 2800 м.

По отражающему горизонту кровля пласта $АС_{12}$ Ай-Пимское поднятие представляет собой антиклинальную складку, чётко ограничиваемую сейсмоизогипсой – 2280 м, которая раскрывается в южном направлении, в сторону Чигоринского поднятия. Размеры Ай-Пимского поднятия по названной сейсмоизогипсе 22х8 км, амплитуда 30–35 м. Северный присводовый участок (6х4 км) оконтуривается сейсмоизогипсой – 2260 м, южный (основной свод) с размерами 8,0х4,5 км также ограничивается сейсмоизогипсой – 2260 м.

В 10 км к северу от Ай-Пимской складки сейсмоизогипсой – 2360 м оконтуривается Верхне-Ай-Пимское поднятие с размерами по контуру этой изогипсы 15х5 км, амплитудой около 30 м. Обе структуры вытянуты в субмеридианальном направлении. Западно-Ай-Пимская структура выделяется в виде структурного носа, а Лабатъюганская структура по отражающему горизонту $Н_{АС12}$ отсутствует.

Характерной чертой описываемой карты является то, что Западная часть Ай-Пимского вала характеризуется резким падением отражающего горизонта $Н_{АС12}$ в западном направлении на глубину до 300–320 м на расстоянии от западного борта Ай-Пимского вала всего 10–12 км, т.е. характеризуется большими углами наклона, в то время как по отражающему горизонту «Б» наибольшими углами наклона характеризуется восточный склон.

По отражающему горизонту кровли пласта $АС_{12}$ Ай-Пимская структура чётко ограничивается сейсмоизогипсой – 2200 м. Размеры структуры 21,5х7,5 км, амплитуда 30 м. Структура вытянута в меридиальном направлении. Ай-Пимское поднятие осложнено двумя присводовыми участками, ограниченными сейсмоизогипсой – 2180 м каждый. Северный свод имеет размеры 11,5х4,5 км, амплитуду 15 м. Южный свод имеет размеры 5,0х4,5 км, амплитуду 15 м. Верхне-Ай-Пимское поднятие вырисовывается в виде Северной переклинали Ай-Пимской структуры и практически выположено.

Лабатъюганская структура выделяется в 5 км к востоку от линии скважин №№ 12–10, оконтуривается сейсмоизогипсой – 2260 м, имеет изометрическую форму с размерами 4х4 км, амплитуду 15–20 м. Лабатъюганская и Ай-Пимская структуры оконтуриваются общими сейсмоизогипсами –2280 и –2300 м, которые к югу от Ай-Пимской структуры раскрываются.

По отражающему горизонту $Н_{АС10}$ Ай-Пимский вал имеет более чёткий восточный склон с амплитудой падения к востоку 100 м. Западная часть территории от западного борта Ай-Пимского вала имеет слабоволнистый рельеф с отметками от –2300 до –2340 м.

По отражающему горизонту «М» принципиальных отличий в морфологии Ай-Пимского поднятия по отношению к нижележащим горизонтам $Н_{АС10}$ и $Н_{АС12}$ не наблюдается, а Западно- и Верхне-Ай-Пимские структуры расформированы полностью. Эти же особенности прослеживаются и по горизонту «Г». Ниже даются характеристики структурных элементов Ай-Пимской площади (табл. 1).

Нефтегазоносность

В пределах Ай-Пимского месторождения установлена продуктивность пластов $ЮС_2$ (тюменская свита), $ЮС_0$ (баженовская свита), ачимовской толщи мегионской свиты, $БС_{2–3}$ ахской свиты, $АС_{12}$, $АС_{11}$, $АС_{10}$ черкашинской (вартовской) свиты. Месторождение характеризуется низким дебитом резервуаров и сложным строением залежей, обусловленных наличием многочисленных экранов.

Пласт $ЮС_2$

Нижне-среднеюрские отложения на территории Ай-Пимского месторождения представлены осадками тюменской свиты, сложена широким спектром песчано-алевритовых и глинистых пропластков. Песчаники серые, участками тёмно-серые, средне-мелкозернистые, полимиктовые, иногда с примесью грубообломочного материала. Толщины прослоев песчаников и алевритов колеблются в широких пределах: от нескольких сантиметров до нескольких метров (редко более 10–15 м). Глины тёмно-серые с зеленоватым или буроватым оттенком, прослоями сидеритизированные, крепкие с включениями растительного детрита.

Таблица 1 – Характеристика структурных элементов Ай-Пимской площади

Отражающий горизонт	Замыкающая сейсмоизогипса	Размеры, км х км	Площадь, км^2	Амплитуда, м	Краткая характеристика
Ай-Пимское поднятие					
А	-3100	4,5x2,0	7,1	20	куполовид. складка
Б	-2760	17,0x6,0	80	40	антиклиналь субмеридиального простирания
$Н_{АС12}$	-2280	22,0x8,0	176	30-35	антиклиналь
$Н_{АС10}$	-2200	21,5x7,5	140	30	—
М	-1900	29,0x10,0	228	60	—
Западно-Ай-Пимское поднятие					
А	-3100	6,0x2,5	11,8	110	—
Б	-2760	4,0x1,5	4,7	25	—
$Н_{АС12}$	-2260	структурный нос			
$Н_{АС10}$		—			
М	не отражается				
Верхне-Ай-Пимское поднятие					
А	-3140	5,0x3,0	11,8	140	куполовид. складка
Б	-2780	5,5x5,0	37,5	35-40	—
$Н_{АС12}$	-2360	15,0x5,0	70	35	антиклинальная складка
$Н_{АС10}$	периклиналь Ай-Пимского поднятия				
М	не отражается				
Лабатъ-Юганское поднятие					
А	не отражается				
Б	-2820	6,0x5,0	30	40-45	антиклиналь
$Н_{АС12}$	не отражается				
$Н_{АС10}$	-2260	4,0x4,0	15	15-20	смещение к востоку
М	не отражается				

Режим накопления осадков тюменской свиты по времени разнообразен: континентальный, прибрежно-континентальный, прибрежно-морской, реже морской. В благоприятных геологических условиях накапливались и русловые фации.

В зависимости от районов наблюдения фациальный облик осадков тюменской свиты имеет различные комбинации, что представляет разнообразие и сложность сопоставления разрезов, корреляции отдельных пластов и пропластков.

В кровле тюменской свиты повсеместно залегает пласт $ЮС_2$, который представлен мелкозернистыми и среднезернистыми песчаниками, крупно- и среднезернистыми алевролитами с прослоями аргиллитов. Осадок пласта $ЮС_2$ характеризуется признаками как континентальных, так и прибрежно-морских, мелководных условий осадконакопления, иногда несёт признаки русловых отложений палеорельефа. Для пласта $ЮС_2$ характерна резкая фациальная изменчивость, с чем связаны колебания толщин и коллекторских свойств песчаных и алевролитовых пластов как по площади, так и во времени.

На Ай-Пимском месторождении отложения тюменской свиты и, в частности, пласт $ЮС_2$ изучены крайне слабо. Большинством поисково-разведочных скважин эти отложения не вскрыты вообще. Притоки нефти получены в скважинах №№ 5 и 6 из интервалов пласта (2900–2964 и 2903–2934 м) соответственно 2,0 и 8,4 м^3/сут. на динамических уровнях 1185 м и 1245 м.

Баженовская свита, пласт $ЮС_0$

Баженовская свита представлена аргиллитами тёмными, коричневыми, сланцеватыми, битуминозными. Отмечаются конкреции сидерита, включения пирита, аммонитов.

В определённых геологических условиях (вероятнее всего, под влиянием дизъюнктивного тектогенеза) в отложениях баженовских аргиллитов могут образовываться фильтрационно-емкостные зоны (зоны с повышенными коллекторскими свойствами), которые оказываются продуктивными.

На Ай-Пимском месторождении притоки нефти из интервалов пласта $ЮС_0$ были получены в скважине № 5, где из интервала 2837–2871 м был получен приток нефти с дебитом 0,9 $м^3$/сут. на динамическом уровне 1265 м. В других частях месторождения (скважины №№ 6, 7 и 9), где эти отложения были испытаны, положительного результата не получено.

Ачимовская толща

Строение ачимовской толщи на Ай-Пимском месторождении изучено слабо как вследствие недостатка геологической информации, так и ввиду сложного строения и, как следствие этого, слабой коррелируемости разрезов. Поэтому было предложено рассматривать ачимовскую толщу как единый объект. Площадное распространение ачимовских песчаников уточнено по сейсморазведочным данным – зона развития этих песчаников соотносится с наличием субгоризонтального отражающего горизонта, расположенного в 20–40 м над отражающим горизонтом «Б».

На основе результатов бурения, испытания и данных сейсмики было выделено две залежи пластов $Ач_3$ и $Ач_4$. Приток нефти получен в скважине № 5 из интервала 2686,6–2699,6 дебитом 2,65 $м^3$/сут. на динамическом уровне 1415,3 м.

Пласт $АС_{12}$

Пласт $АС_{12}$, прилегающий непосредственно над пимской пачкой, прослеживается приблизительно на 10 мс выше зачернённого экстремума кровли пимской пачки. С учётом морфологии отражающий горизонт кровли пласта $АС_{12}$ закартирована точка перегиба горизонта в клиноформу, отождествляемая с палеобразным шельфом на момент формирования пласта $АС_{12}$ и совпадающая с линией глинизации пласта в глубоководной зоне. В склоновой и фондоформной частях комплекса $АС_{12}$, судя по сейсмофациальной характеристике разрезов (отсутствие динамических аномалий, субгоризонтальных террас) не следует ожидать наличия песчаных тел. Распространение маломощных песчаных резервуаров $АС_{12}$ связано с ундаформной (мелководно-морской) зоной седиментации, где следует ожидать наличие как самостоятельных песчаных тел, ориентированных субпараллельно палеопобережью, так и канальных песков в значительной мощности. Вскрытые скважинами в этой зоне песчаники пласта $АС_{12}$ имеют эффективную мощность не более 1–2 м. В зоне бровки палеошельфа толщины пласта $АС_{12}$ возрастают до 7,8 м (скважина № 9) – 10,2 (скважина № 5).

Вследствие залегания пласта $АС_{12}$ на пимской пачке, являющегося контрастным акустическим репером, динамические особенности отражающего горизонта кровли пласта $АС_{12}$ не отражает изменения толщин и строения этого пласта.

Приток нефти получен в скважине № 4п из интервала 2254,7–2298,7 дебитом 2,25 $м^3$/сут., в скважине № 5Р приток нефти получен из интервала 2259,6–2265,6 дебитом 9,2 $м^3$/сут. на динамическом уровне 1353 м.

Пласт $АС_{11}$

Корреляция пласта $АС_{11}$ и сейсмографическая интерпретация временных сейсмических разрезов, увязанных со скважинами, свидетельствуют о сложном, линзовидно-чешуйчатом строении резервуаров пласта $АС_{11}$. ОГ кровли пласта $АС_{11}$, как отмечено выше, имеет сложное строение. В направлении с востока на запад он приобретает клиноформное строение и разделяется на ряд субгоризонтальных площадок, переходящих на запад в клиноформы, а на восток объединяющихся в единый горизонт. Прослеживание этой зональности в меридиальном направлении позволило выделить четыре полосы распространения пласта $АС_{11}$, разделённых зонами глинизации.

Восточная зона распределения пласта $АС_{11}$ вскрыта скважинами на Ай-Пимском месторождении и характеризуется покровным распространением пласта незначительной мощности. В палеогеографическом отношении это отложение барово-лагунного морского мелководья удалённого от крупных аллювиальных источников питания. Последним обстоятельством и обусловлена маломощность песчаников пласта $АС_{11}$ на Ай-Пимском месторождении.

По блоку объемной сейсморазведки на Ай-Пимском месторождении выполнен динамический анализ по ОГ кровли пласта $АС_{11}$. Поле покровного распространения пласта $АС_{11}$ характеризуется повышенными значениями амплитуд и энергий. Зона понижения динамических характеристик на западном склоне Ай-Пимской структуре совпадает с зоной клиноформного перегиба кровли пласта $АС_{11}$, отожествляемого с бровкой палеошельфа.

Наличие полосовидных резервуаров $АС_{11}$ отражает циклический процесс проградации шельфа. В палеогеографическом плане это осадки шельфа, а аккумулятивные песчаные тела имеют баровый генезис.

В эксплуатационных скважинах получены очень небольшие смешанные притоки нефти с водой или воды от 0,5 м^3/сут. при $Н_{дин}$ = 961 м до 1,95 м^3/сут. при $Н_{дин}$ = 1002 м.

Пласт $АС_{10}$

Нефтеносность пласта установлена в южной части Ай-Пимского месторождения. Пласт имеет линзовидно-покровное распространение.

Эффективные толщины пласта крайне незначительны. Тип залежи – пластово-сводовый. Испытан в скважине № 7Р, где из интервала 2196,9–2203,9 м получены 3,5 м^3/сут. воды и 0,4 м^3/сут. нефти при $Н_{дин}$ = 658 м. Эксплуатация месторождения идёт с 1973 года и на сегодняшний день обводнённость составляет 89 %. На сегодняшний день месторождение уже вступило в IV стадию эксплуатации (завершающий этап).

Петрофизическая характеристика разреза

Были использованы керновые данные по 13 скважинам Ай-Пимского месторождения. Средний вынос керна из скважин составил 94,6 %. Максимальный вынос 100 %, минимальный 46,4 %. На керне были определены следующие параметры: коэффициенты пористости по гелию и керосину, проницаемости, остаточной водонасыщенности, пористости эффективной, также определена карбонатность:

Количество образцов, шт.	$К_п^{гелий}$	$К_П^{керосин}$	$К_{п\,эф}$	$К_{пр}$	$К_{во}$	Карбонатность
	147	159	293	447	329	610

Для петрофизической характеристики объекта построены кривые распределения пористости, проницаемости и остаточной водонасыщенности (рис. 1–3).

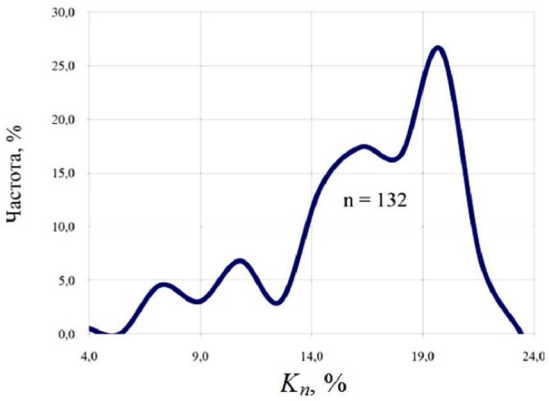

Рисунок 1 – Гистограмма распределения пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

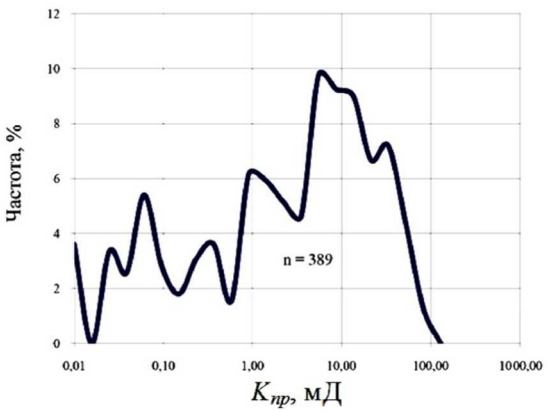

Рисунок 2 – Гистограмма распределения абсолютной проницаемости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

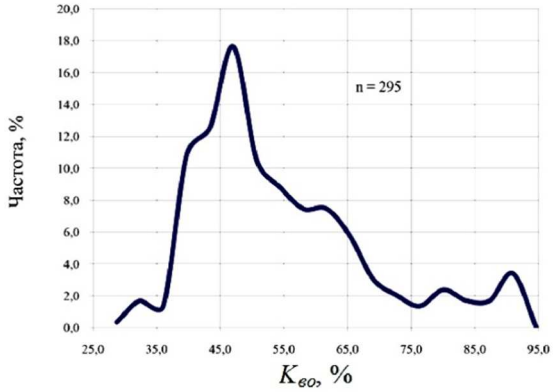

Рисунок 3 – Гистограмма распределения остаточной водонасыщенности пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

Как видно из распределений, средневзвешенный коэффициент пористости по пласту $АС_{12}$ равен 20 %, коэффициент проницаемости 10 мД, коэффициент остаточной водонасыщенности равен 47 %.

Также построены следующие зависимости, необходимые для нахождения граничных значений (рис. 4–7).

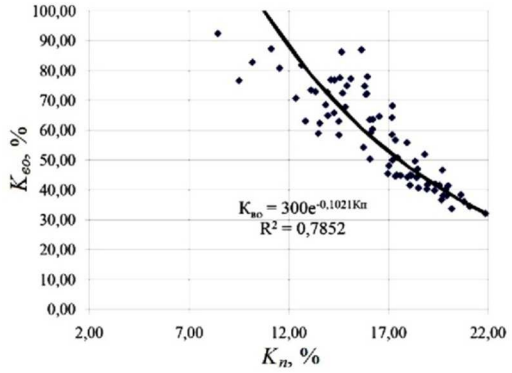

Рисунок 4 – Зависимость коэффициента остаточной воды от коэффициента пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

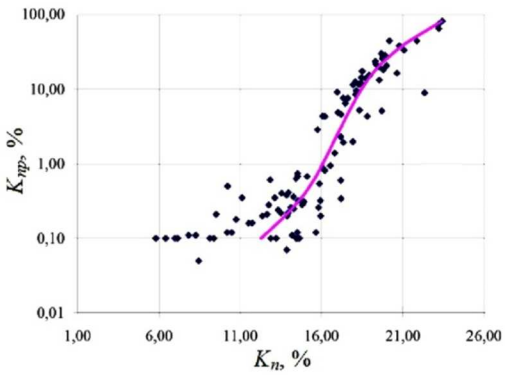

Рисунок 5 – Зависимость коэффициента абсолютной проницаемости от коэффициента пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

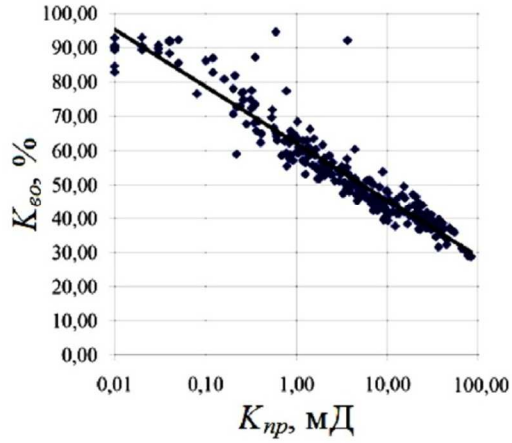

Рисунок 6 – Зависимость коэффициента абсолютной проницаемости от коэффициента остаточной водонасыщенности пласта $АС_{12}$

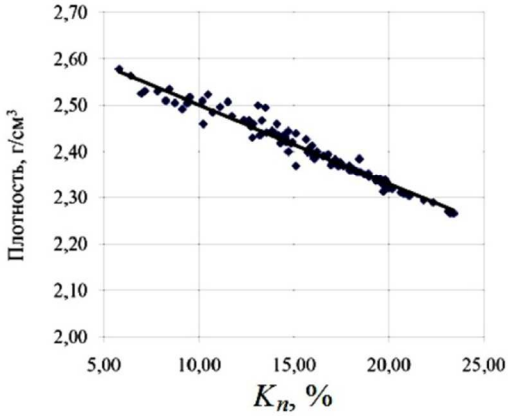

Рисунок 7 – Зависимость плотности от коэффициента пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

В работе рассмотрено два подхода для определения граничных значений:

1) статистический подход по скважинам, в которых есть прямые качественные признаки коллекторов;

2) статистический подход по керновым данным.

При определении граничных значений коэффициентов пористости и проницаемости однозначным и универсальным критерием коллектора является наличие динамической пористости $K_{пд} = K_{п} \cdot [1 - (K_{во} + K_{но})]$. Условие $K_{пд} > 0$ является петрофизическим фильтром отнесения породы к коллектору. Для расчёта коэффициента динамической пористости на керне необходимы экспериментальные определения величины остаточной нефтенасыщенности, т.к. таких данных нет, определим её как константа равной 0,2. Массовых измерений этой величины не производится в виду трудоёмкости и дороговизны опытов.

На рисунках 8 и 9 приведены интегральные распределения коэффициентов открытой пористости и проницаемости для пород коллекторов и пород неколлекторов пластов $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения, построенные по керновым данным.

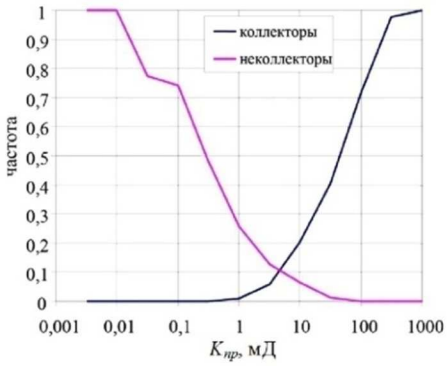

Рисунок 8 – Распределение коэффициентов проницаемости коллекторов и неколлекторов по керну для пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

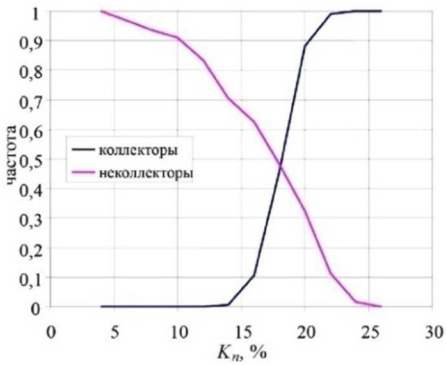

Рисунок 9 – Распределение коэффициентов пористости коллекторов и неколлекторов по керну для пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

Из графиков интегральных распределений (рис. 8, 9) следует, что граничные значения коэффициенты пористости и проницаемости принимают при переходе горной породы из класса коллекторов в класс неколлекторов граничные значения, равные для коэффициента пористости 18 % для коэффициента проницаемости 4,5 мД соответственно для пластов $АС_{12}$. При этом диапазон неоднозначности соответственно для пластов $АС_{12}$ по коэффициенту пористости изменяется от 15 до 23 %, а по коэффициенту проницаемости – от 0,8 мД до 20 мД. Такой широкий диапазон граничных значений коэффициентов пористости и проницаемости связан со сложным минеральным и структурно-текстурным строением горных пород рассматриваемых пластов.

На рисунке 10 представлены сопоставления $K_{п} – K_{пр}$ с разделением общей совокупности точек на совокупность, принадлежащую к классу горных пород коллекторов, и совокупность, принадлежащую к классу горных пород неколлекторов. Линией на графиках сопоставлений разделён класс горных пород коллекторов от класса горных пород неколлекторов. Она отражает обратную взаимосвязь нижних пределов коэффициентов пористости и проницаемости коллекторов. На сопоставлении пористости с проницаемостью для пласта $АС_{12}$ точки с высокой пористостью (более 20 %) и низкой проницаемостью (менее 1 мД) принадлежат алевролитам, для которых такое же распределение коэффициента пористости, что и для песчаников.

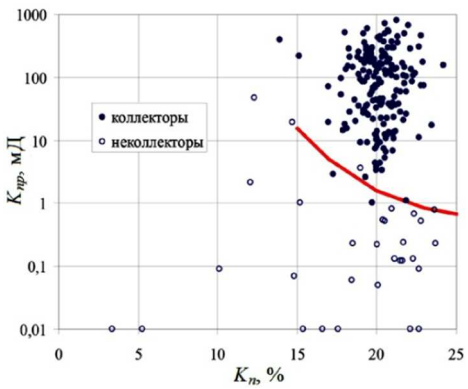

Рисунок 10 – Сопоставление коэффициентов пористости и проницаемости для коллекторов и неколлекторов по керну пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

Таким образом, для горных пород пластов $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения нижние пределы коэффициентов пористости и проницаемости коллекторов, а также их геофизические критерии характеризуются спектром взаимосвязанных значений, что обусловлено структурно-текстурными и минералогическими особенностями горных пород.

Далее рассмотрим методику нахождения граничных значений, используя керновые данные пласта $АС_{12}$ по 14 скважинам Ай-Пимского месторождения (рис. 11–16).

Различие между методиками, по всей видимости, заключается в том, что при нахождении граничных значений с использованием описаний керна точность очень мала, поэтому более точные результаты могут быть получены при построении зависимостей «керн – керн».

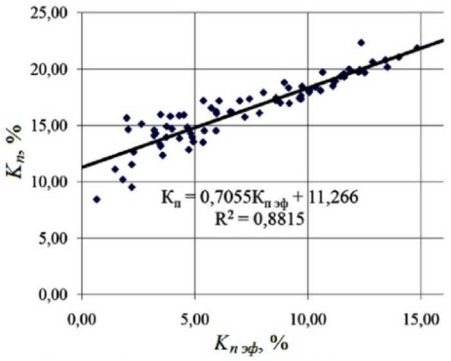

Рисунок 11 – Зависимость коэффициента пористости от коэффициента эффективной пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

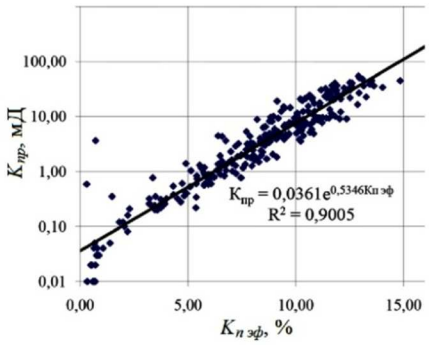

Рисунок 12 – Зависимость коэффициента абсолютной проницаемости от коэффициента эффективной пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

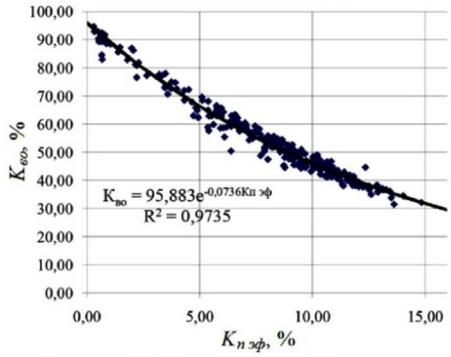

Рисунок 13 – Зависимость коэффициента остаточной водонасыщенности от коэффициента эффективной пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

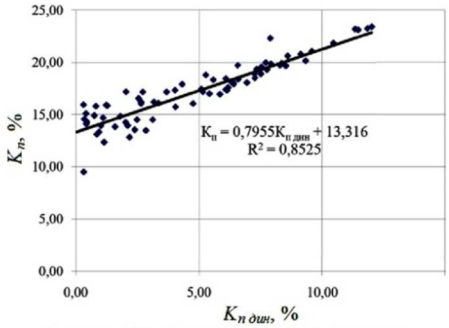

Рисунок 14 – Зависимость коэффициента пористости от коэффициента динамической пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

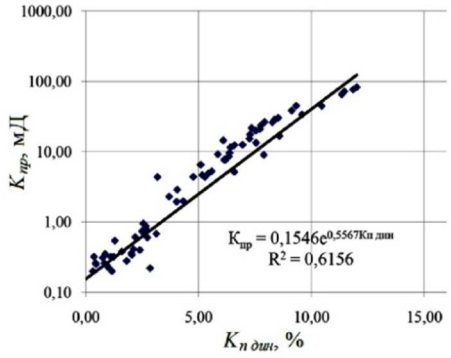

Рисунок 15 – Зависимость коэффициента абсолютной проницаемости от коэффициента динамической пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

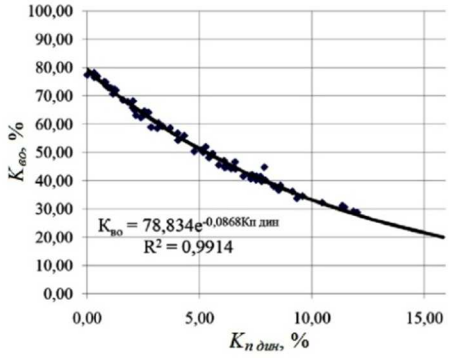

Рисунок 16 – Зависимость коэффициента остаточной водонасыщенности от коэффициента динамической пористости пласта $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения

Литература:

1. Ладенко А.А., Савенок О.В. Геофизические исследования скважин на нефтегазовых месторождениях: учебное пособие. – М. ; Вологда: Издательство «Инфра-Инженерия», 2021. – 260 с.

2. Савенок О.В., Арутюнов Т.В. Сланцевые углеводороды: анализ текущего состояния и перспективы разработки: монография. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2019. – 272 с.

3. Алексеев А.Д., Жуков В.В., Стрижнев К.В. Изучение трудноизвлекаемых и нетрадиционных объектов согласно принципу «фабрика коллектора в пласте» // Записки Горного института. – 2017. – Т. 228. – С. 695–704.

4. Арутюнов Т.В., Поздняк А.Н., Савенок О.В. Перспективы разработки сланцевой нефти на примере пласта $ЮС_0$ Салымского месторождения // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2014. – № 1. – С. 203–206.

5. Арутюнов Т.В., Арутюнов А.А., Савенок О.В. Перспективы разработки месторождений сланцевых отложений // Фундаментальные проблемы науки: сборник статей Международной научно-практической конференции (03 февраля 2015 года, г. Уфа). – Уфа : Издательство «Омега сайнс», 2015. – С. 126–135.

6. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Особенности строения месторождений сланцевых отложений // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящённого 70-летнему юбилею Победы советского народа над фашистской Германией (06–10 апреля 2015 года, г. Томск). – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. – С. 385–387.

7. Арутюнов Т.В., Савенок О.В. Анализ характеристик геологического строения и коллекторских свойств сланцевых отложений // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 4. – С. 72–76.

8. Боровский М.Я., Богатов В.И., Борисов А.С. Инновационные геофизические исследования в проблемах освоения углеводородов сланцевых формаций // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 1. – С. 52–59.

9. Герасимова А.В., Шарафутдинов Р.Р., Валеев В.И. Анализ результатов эксплуатации баженовской свиты Ай-Пимского месторождения // Академический журнал Западной Сибири. – 2017. – Т. 13. – № 2 (69). – С. 5–6.

10. Голов Е.С., Шакиров А.Б. Есть ли на российском шельфе Арктики Баженовская свита? // Творчество юных – шаг в успешное будущее. Арктика и её освоение: материалы IX Всероссийской научной молодёжной конференции с международным участием с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина (10–14 октября 2016 года, г. Томск). – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. – С. 242–244.

11. Голов Е.С. Геофизика и нефтеносность баженовской свиты Ай-Пимского нефтяного месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвящённого 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина (03–07 апреля 2017 года, г. Томск). – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. – С. 358–360.

12. Голов Е.С. Геофизические особенности и нефтеносность баженовской свиты Ай-Пимского нефтяного месторождения (Сургутский район): дипломный проект // Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт природных ресурсов, Кафедра геофизики; науч. рук. Г.Г. Номоконова. – Томск, 2017.

13. Григулецкий В.Г. О теории и практике. О проблемах и перспективах добычи углеводородов (нефть, газ) из низкопроницаемых сланцеватых пород на месторождениях Российской Федерации // 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.

14. Касимов А.С. Системы разработки нефтяных пластов Ай-Пимского месторождения // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (18–22 мая 2015 года, г. Тюмень). – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2015. – С. 216.

15. Мансуров Т.Т. Оптимизация системы поддержания пластового давления объекта $АС_{11}$ + $АС_{12}$ Ай-Пимского месторождения // Сборник тезисов VI региональной молодёжной конференции им. В.И. Шпильмана «Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири» (28–29 марта 2018 года, г. Ханты-Мансийск). – Ханты-Мансийск : ООО «Югорский формат», 2018. – С. 17–19.

16. Пунанова С.А. Особенности сланцевых формаций: протяжённые ловушки и обогащённость рудными элементами // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 1. – С. 77–81.

17. Саранча А.В., Митрофанов Д.А., Саранча И.С. Разработка баженовской свиты на Ай-Пимском месторождении // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1. – С. 204–212.

18. Тарасова Е.В., Чебанов С.Н., Яхшибеков Ф.Р. Особенности распределения поровых давлений в битуминозных аргиллитах баженовской свиты (верхнеюрские отложения, пласт $ЮС_0$) Ай-Пимского месторождения // Каротажник. – 2012. – № 10 (220). – С. 41–53.

References:

1. Ladenko A.A., Savenok O.V. Geophysical surveys of wells in oil and gas fields: textbook. – M. ; Vologda: «Infra-Engineering» Publishing House, 2021. – 260 p.

2. Savenok O.V., Arutyunov T.V. Shale hydrocarbons: analysis of the current state and development prospects: monograph. – Krasnodar : LLC «Publishing House – South», 2019. – 272 p.

3. Alekseev A.D., Zhukov V.V., Strizhnev K.V. The study of hard-to-recover and non-traditional objects according to the principle of «reservoir factory in the reservoir» // Journal of Mining Institute. – 2017. – Vol. 228. – P. 695–704.

4. Arutyunov T.V., Pozdnyak A.N., Savenok O.V. Prospects for the development of shale oil on the example of the YuS_0 reservoir of the Salymskoye field // Problems of development of deposits of hydrocarbon and ore minerals. – 2014. – № 1. – P. 203–206.

5. Arutyunov T.V., Arutyunov A.A., Savenok O.V. Prospects for the development of shale deposits // Fundamental problems of science: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference (03 February 2015,

Ufa). – Ufa : «Omega Science» Publishing House, 2015. – P. 126–135.

6. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Features of the structure of shale deposits // Problems of geology and subsoil development: Proceedings of the XIX International Symposium named after Academician M.A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 70th anniversary of the Victory of the Soviet people over Nazi Germany (06–10 April 2015, Tomsk). – Tomsk : National Research Tomsk Polytechnic University, 2015. – P. 385–387.

7. Arutyunov T.V., Savenok O.V. Analysis of the characteristics of the geological structure and reservoir properties of shale deposits // Oil. Gas. Innovations. – 2015. – № 4. – P. 72–76.

8. Borovskiy M.Ya., Bogatov V.I., Borisov A.S. Innovative geophysical research in the problems of hydrocarbon development of shale formations // Readings of A.I. Bulatov. – 2019. – Vol. 1. – P. 52–59.

9. Gerasimova A.V., Sharafutdinov R.R., Valeev V.I. Analysis of the results of exploitation of the Bazhenov formation of the Ai-Pimskoye field // Academic journal of Western Siberia. – 2017. – Vol. 13. – № 2 (69). – P. 5–6.

10. Golov E.S., Shakirov A.B. Is there a Bazhenov formation on the Russian Arctic shelf? // Creativity of the young is a step into a successful future. The Arctic and its development: materials of the IX All-Russian scientific youth conference with international participation with elements of the scientific school named after Professor M.K. Korovin (October 10–14, 2016, Tomsk). – Tomsk : National Research Tomsk Polytechnic University, 2016. – P. 242–244.

11. Golov E.S. Geophysics and oil content of the Bazhenov formation of the Ai-Pimskoye oil field // Problems of geology and subsoil development: Proceedings of the XXI International Symposium named after Academician M.A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 130th anniversary of the birth of Professor M.I. Kuchin (03–07 April 2017, Tomsk). – Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2017. – P. 358–360.

12. Golov E.S. Geophysical features and oil content of the Bazhenov formation of the Ai-Pimskoye oil field (Surgut region): graduation project // National Research Tomsk Polytechnic University, Institute of Natural Resources, Department of Geophysics; scientific director G.G. Nomokonova. – Tomsk, 2017.

13. 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.

14. Kasimov A.S. Systems for the development of oil reservoirs of the Ai-Pimskoye field // New technologies for the oil and gas region: materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation of students, graduate students and young scientists (May 18–22, 2015, Tyumen). – Tyumen : Tyumen Industrial University, 2015. – P. 216.

15. Mansurov T.T. Optimization of the reservoir pressure maintenance system of the AS_{11} + AS_{12} facility of the Ai-Pimskoye field // Collection of abstracts of the VI regional youth conference named after V.I. Shpilman «Problems of rational nature management and the history of geological prospecting in Western Siberia» (March 28–29, 2018, Khanty-Mansiysk). – Khanty-Mansiysk : «Yugorsky Format» LLC, 2018. – P. 17–19.

16. Punanova S.A. Features of shale formations: extended traps and enrichment of ore elements // Readings of A.I. Bulatov. – 2021. – Vol. 1. – P. 77–81.

17. Sarancha A.V., Mitrofanov D.A., Sarancha I.S. Development of the Bazhenov formation at the Ai-Pimskoye field // Modern problems of science and education. – 2015. – № 1–1. – P. 204–212.

18. Tarasova E.V., Chebanov S.N., Yakhshibekov F.R. Peculiarities of the distribution of pore pressures in bituminous mudstones of the Bazhenov Formation (Upper Jurassic deposits, formation YuS_0) of the Ai-Pimskoye field // Karotazhnik. – 2012. – № 10 (220). – P. 41–53.