

ISSN 0016-7886

ГЕОЛОГИЯ
и
ГЕОФИЗИКА

RUSSIAN
GEOLOGY
AND
GEOPHYSICS

12

Том 40, 1999

ИЗДАТЕЛЬСТВО СО РАН
НИЦ ОИГМ СО РАН
НОВОСИБИРСК

ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ БАЖЕНОВСКОЙ И АБАЛАКСКОЙ СВИТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КРАСНОЛЕНИНСКОГО СВОДА (Западная Сибирь)

М. Ю. Зубков

Сибирский научно-исследовательский институт нефтяной промышленности,
625016, Тюмень, ул. 50 лет Октября, 118, Россия

На основе комплексных литолого-петрофизических исследований образцов керна, отобранных из шести скважин, вскрывших верхнеюрские отложения в центральной части Красноленинского свода, построен сводный литолого-геофизический разрез базеновской и абалакской свит. Используя особенности вещественного состава пород, а также содержание и соотношение глинистых минералов в их составе, в базеновской свите выделено три, а в абалакской — пять зон, которые коррелируются в пределах выбранной территории. В верхнеюрских отложениях выделены потенциально продуктивные пласти (ППП), представленные кремнистыми и карбонатными литотипами, в которых образуются вторичные коллекторы, содержащие углеводородные залежи. Анализ радиоактивных свойств верхнеюрских отложений показал, что используя данные о распределении в них K, U, Th, а также суммарной радиоактивности, они могут быть однозначно разделены на все восемь выделенных в их составе зон, а в них, в свою очередь, надежно диагностируются ППП. Рассмотрены особенности акустических и электрических свойств верхнеюрских отложений, которые могут быть использованы при выделении в разрезе базеновской и абалакской свит основных литологических типов пород и в том числе ППП. Предложена методика определения пористости в них на основе нейтронных геофизических методов, для чего исследованы зависимости объемного водородсодержания твердой фазы различных типов пород от концентрации в них органического углерода и глинистых минералов.

Lithology; collector, radioactive, electric, acoustic, and neutron properties.

LITHOLOGICAL AND PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF DEPOSITS OF THE BAZHENOV AND ABALAK FORMATIONS IN THE CENTRAL PART OF THE KRASNOLENINSK ARCH (West Siberia)

M. Yu. Zubkov

A composite lithological and geophysical section of the Bazhenovo and Abalak Formations has been constructed on the basis of complex lithological and petrophysical investigations of the core specimens sampled from six boreholes that penetrated Upper Jurassic deposits in the central part of the Krasnoleninsk arch. According to rock composition and taking into account contents and ratios of clay minerals in the rocks, several zones are recognized which are correlated within the chosen territory. In the Bazhenovo Formation these zones amount to three and in the Abalak Formation, to five. The Upper Jurassic deposits contain potentially producing beds (PPB) represented by silica and carbonate lithotypes, which contain secondary hydrocarbon reservoirs. Analysis of radioactive properties of the Upper Jurassic deposits has shown that, according to distribution of K, U, Th, and total radioactivity, they can unambiguously be separated into all eight zones, with PPB safely recognized within them. Acoustic and electric properties of the Upper Jurassic deposits have been analyzed and can be used for recognizing basic lithological types of rocks, including PPB, in sections of the Bazhenovo and Abalak Formations. A technique was proposed, which permits their porosity to be determined by neutron geophysical methods. For this purpose, the volume hydrogen contents in the solid phase of diverse types of rocks were investigated as a function of the concentrations of organic carbon and clay minerals in them.

Lithology; collector, radioactive, electric, acoustic, and neutron properties

ВВЕДЕНИЕ

Нефтегазоносность верхнеюрских отложений в пределах Красноленинского района в настоящее время однозначно доказана. Более того, из этих отложений к началу 1998 г. добыто около 4 млн т нефти. Дебиты нефти, добываемой из этих отложений, колеблются в широких пределах: от 0,5—3 до 200—350 т/сут. Однако до сих пор отсутствует ясное представление о литологическом составе и петрофизических свойствах описываемых отложений, без чего невозможно корректно интерпретировать данные геофизических исследований скважин (ГИС) и осуществлять выделение коллекторов в разрезах, вскрытых скважинами [1—12].

Поэтому в настоящей работе рассматриваются особенности вещественного состава базеновской и абалакской свит, а также их петрофизические свойства с целью создания петрофизической базы для интерпретации данных ГИС и последующего подсчета запасов углеводородов в этих отложениях.

Основой для написания работы послужили результаты комплексных литолого-петрофизических исследований 170 образцов керна, отобранных из шести скважин, пробуренных в пределах Ем-Еговской и Пальяновской площадей Красноленинского месторождения, вскрывших отложения базеновской и абалакской свит (рис. 1).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Литолого-минералогический состав отобранных образцов исследовался с использованием комплекса физических и химических методов анализа.

Вещественный состав образцов пород изучался на основе оптической и электронной микроскопии, рентгеноструктурного, силикатного и спектрального методов анализа.

Рентгеноструктурный анализ использовался главным образом для определения состава и соотношения между собой глинистых минералов.

Прозрачные петрографические шлифы, спектральный и силикатный виды анализов применялись для определения содержания основных пордообразующих компонентов, входящих в состав пород. В среднем, определение содержания основных пордообразующих минералов осуществлялось с точностью 3—5 мас. %.

Содержание керогена получено расчетным способом по концентрациям органического углерода ($C_{\text{орг}}$). В свою очередь $C_{\text{орг}}$ определено на установке АН-7529 путем высокотемпературного нагрева в токе кислорода отобранных образцов, из которых предварительно были удалены карбонатные минералы. Точность определения $C_{\text{орг}}$ зависит от содержания органического материала в образцах и в среднем составляет 0,05—0,2 абс. %.

Коллекторские свойства пород исследовались на стандартном оборудовании по общепринятым методикам. Насыщение пор производилось чаще всего керосином, реже — водой. Пористость определялась по методу Преображенского, абсолютная проницаемость — по газу, водоудерживающая способность — с помощью центрифуги.

Распределение естественно-радиоактивных элементов анализировалось методом сцинтиляционной гамма-спектрометрии. Определялись содержания K, Th, U (по радио) и общая радиоактивность.

Электрические свойства пород исследовались на стандартной аппаратуре (электрический мост), причем нефтенасыщенность образцов моделировалась керосинонасыщением.

Акустические свойства определялись на установке АК-1 методом прозвучивания в условиях, моделирующих пластовые. Определялись скорости продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн. Перед исследованиями, так же как и при изучении электрических свойств, образцы насыщались керосином (под вакуумом).

Водородосодержание твердой фазы в различных литологических типах образцов определялось методом нейтронного просвечивания. Предварительно, для удаления содержащейся в образцах воды (за исключением конституционной и химически связанный), они высушивались в течение суток при температуре 105 °C.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ВЕРХНЕЮОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Верхнеюорские отложения в пределах рассматриваемого района залегают на глубинах 2450—2200 м (см. рис. 1). Их средняя суммарная мощность составляет около 60—80 м, причем толщина отложений абалакской свиты превышает мощность пород, слагающих баженовскую свиту, примерно в 1,2—1,5 раза, а в наиболее погруженных участках — в 1,6—1,8 раза.

Литолого-петрографические исследования образцов керна, отобранного из верхнеюорских отложений, показали, что они накапливались, а затем претерпевали диагенетические изменения в условиях двух геохимических фаций — пиритовой и хлорит-сидеритовой.

В условиях последней накапливались и подвергались диагенезу осадки подошвенной

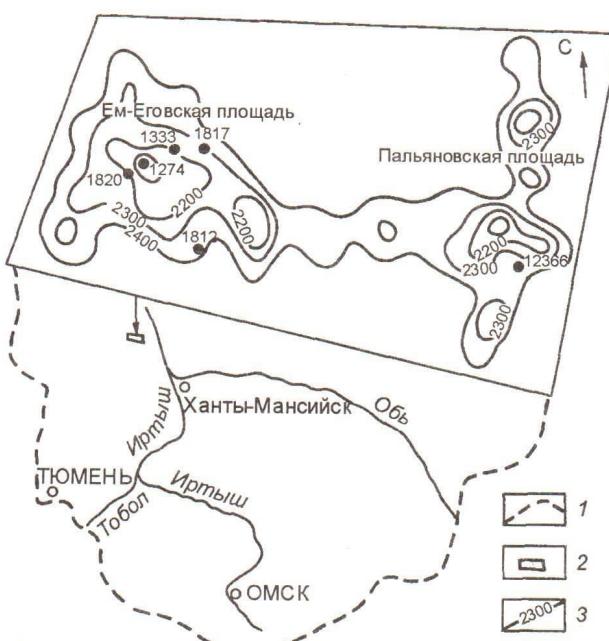


Рис. 1. Схема расположения района работ и скважин, из которых отбирался керн для комплексных литолого-петрофизических исследований.

1 — граница распространения верхнеюорских отложений в пределах центральной и южной частей Западно-Сибирской плиты; 2 — местоположение района работ; 3 — изогипсы кровли баженовской свиты.

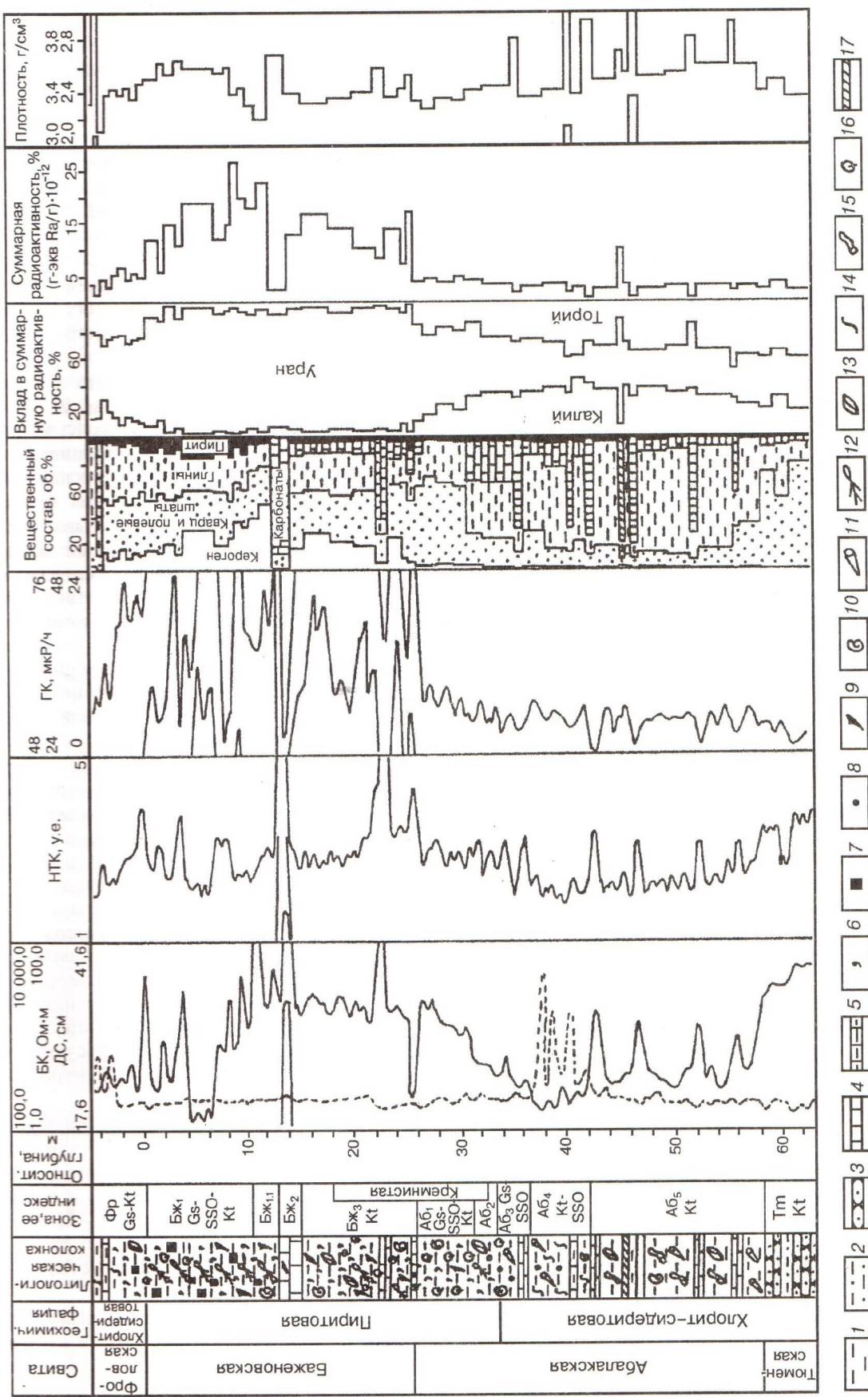


Рис. 2. Сводный литолого-геофизический разрез верхнеюрских отложений центральной части Красноленинского свода.

I — глины (аргиллиты); 2 — алевролиты; 3 — песчаники; 4 — известняки; 5 — мергели; 6 — битуминозность; 7 — глауконит (слюдяноцит?); 9 — онекхитес тейтид; 10 — раковины аммонитов; 11 — ростры белемнитов; 12 — ихтиодерит; 13 — раковины дулюстровок; 14 — трещиноватость, поверхности скольжения; 15 — хорды иллюзоров; 16 — кремнистость; 17 — фосфориты (апатит). Кварц и полевые шпаты объединены в одну колонку в силу близости их физических свойств и низкого содержания последних, особенно в составе зон Бж₁-А6₃.

части фроловской свиты (литостратиграфический аналог подачимовской пачки, распространенной в центральной части Западно-Сибирской плиты), большая часть отложений абалакской и подстилающие их осадки тюменской свиты (рис. 2). В условиях пиритовой геохимической фации накапливались и претерпевали диагенетические изменения осадки баженовской и верхи абалакской свит [7].

Существует соблазн совместить границу между баженовской и абалакской свитами с фациальной, однако, как будет показано ниже, этого делать нельзя, так как будет нарушен основной критерий, на основании которого производится выделение битуминозных отложений баженовской свиты, а именно, максимально высокое содержание органического вещества (C_{opr}), или керогена, что совпадает с другим фундаментальным свойством этих отложений — наибольшей естественной радиоактивностью. По этому признаку на основе результатов радиоактивного каротажа в осадочном разрезе выделяются отложения баженовской свиты.

Используя результаты детального литологического-минералогического анализа образцов, отобранных из верхнеюрских отложений, удалось в осадках баженовской и абалакской свит выделить восемь зон (см. рис. 2). Для этого в качестве главных критерии использовались особенности их вещественного состава и соотношения глинистых минералов [7]. Рассмотрим все выделенные зоны более детально.

Зона Фр (Gs-Kt) относится к подошвенной части фроловской свиты и рассматривается здесь с целью сравнения с подстилающими ее отложениями баженовской и абалакской свит (см. рис. 2). Она отлагалась в условиях хлорит-сидеритовой геохимической фации. Ей присвоен индекс Gs-Kt из-за преобладания в составе глинистых минералов гидрослюды (Gs), содержание которой изменяется в пределах 16–20 % от суммы глинистых минералов и каолинита (Kt) — 55–61 %. Смешанослойные образования (SSO) на основе иллита и монтмориллонита с долей набухающих пакетов около 10–15 % и хлорит (Hl) содержатся в незначительном количестве. Породы, слагающие описываемую зону, имеют темно-серый с буроватым оттенком цвет, тонкослоистую текстуру, ровный скол, параллельный слоистости. Следует обратить внимание на довольно высокое содержание в них керогена, составляющее в среднем 5–6 % (здесь и далее в тексте при описании вещественного состава различных литологических типов пород приводятся массовые проценты, в отличие от рисунка, на котором соотношение основных породообразующих компонентов приведено в объемных процентах, что при характеристике петрофизических и геофизических свойств пород более корректно). Суммарная концентрация кварца и полевых шпатов составляет около 25–30 %, а глинистых минералов — 50–55 %. Поэтому их можно отнести к классу алевритистых глин. Карбонатные разновидности представлены маломощными пропластками мергелей, карбонатная часть которых представлена исключительно бурым сидеритом.

Зона Бж₁ (Gs-SSO-Kt) входит в состав самой верхней части баженовской свиты и имеет толщину около 10 м. Она накапливала и претерпела диагенетические изменения в условиях пиритовой геохимической фации (см. рис. 2), сложена темно-серыми до черных сильнобитуминозными породами, довольно прочными, с занозистым или полураковистым сколом. Отмечается большое количество костных остатков рыб (ихтиодетрита). Индекс (Gs-SSO-Kt) рассматриваемая зона получила из-за того, что концентрация всех трех разновидностей глинистых минералов, содержащихся в ней, примерно одинакова. Породы, слагающие ее, характеризуются высоким содержанием керогена (до 19 %) и очень большой концентрацией пирита (до 25–42 %). Поэтому ее можно также называть керогеново-пиритовой или просто пиритовой. Следует отметить характернейшую особенность в распределении пирита, который присутствует в виде многочисленных очень тонких (толщиной десятые и сотые доли миллиметра) субпараллельных слойков. Содержание глинистых минералов в ней составляет 16–24 %. Кварц представлен аутигенным (биогенным) кремнеземом, присутствующим в виде линзовидных и округлых образований алевритовой размерности. Его концентрация изменяется в пределах 24–46 %, т. е. это довольно кремнистые породы.

Зона Бж_{1.1} (Gs-SSO-Kt) является переходной (см. рис. 2). Соотношение глинистых минералов в ней сохраняется, а ее мощность составляет всего около 3 м. Наряду с остатками ихтиодетрита в ней появляются отпечатки раковин аммонитов и чаще встречаются крючкообразные онехитесы теутид. Она отличается от перекрывающей ее зоны Бж₁ резким уменьшением концентрации в ней пирита (до 13–14 %) и, наоборот, значительным увеличением содержания керогена (до 30–35 %!). Поэтому признаку ей может быть присвоено название керогеновой. В породах, входящих в ее состав, отмечается небольшое увеличение доли глинистых минералов (до 25–29 %) и, соответственно, уменьшение содержания аутигенного (биогенного) кремнезема (в среднем до 35 %).

Зона Бж₂ (Gs-SSO-Kt) также имеет небольшую мощность (около 2–2,5 м). В ней по-прежнему сохраняется практически неизменным соотношение глинистых минералов, поэтому предлагается присвоить дополнительное название „карбонатная“, из-за высокого содержания в ней карбонатных минералов, представленных кальцитом и доломитом (см. рис. 2). Зона сложена серыми, прочными, с полураковистым сколом известняками и мергелями, в которых изредка отмечаются отпечатки раковин двустворок и онехитесов теутид. Серый цвет породам придают рассеянные в них тон-

кодисперсный пирит, содержание которого в среднем составляет около 6 %, и кероген, концентрация которого также близка в среднем к 5—6 %. В породах отмечается битумоид, приуроченный чаще всего к микротрецинам, а также входящий в виде микровключений в новообразованные кристаллы кальцита, заполняющие трещины. Среднее содержание глинистых минералов в породах описываемой зоны составляет около 9 %, а биогенного кремнезема — около 12 %.

Зона Бж₃ (Kt), залегающая в нижней части баженовской свиты, имеет максимальную мощность — около 12 м (см. рис. 2). Она получила название „каолинитовой“ из-за преобладающего относительного содержания в ее составе каолинита (в среднем около 55 % от суммы глинистых минералов). Кроме того, в связи с повышенной концентрацией в ее составе биогенного кремнезема она может быть названа кремнистой, как и подстилающие ее зоны, входящие в состав абалакской свиты. Описываемая зона сложена темно-серыми до черных битуминозными породами с довольно многочисленными отпечатками раковин двустворок, аммонитов, онехитесов таутид, реже ихтиодетрита. Основным поронообразующим компонентом является биогенный кремнезем (в среднем около 40 %), представленный микрожелваками, линзочками, реже в различной степени сохранившимися раковинками радиолярий. Содержание глинистых минералов составляет в среднем около 30 %, пирита — 11—12 %, а керогена — около 10 %. В подошвенной части рассматриваемой зоны встречаются маломощные прослои глинисто-кремнистых мергелей, сложенных главным образом кальцитом и доломитом (в сумме до 60 %). Они имеют темно-серый цвет из-за довольно высокого содержания в них рассеянного керогена (в среднем около 3—4 %) и пирита (4—5 %). В них отмечаются трещинки, заполненные белым и бурым (битумсодержащим) эпигенетическим кальцитом.

В самой подошве зоны Бж₃ встречен маломощный (около 1 м) пласт, имеющий своеобразный состав и петрофизические свойства (повышенную радиоактивность и низкое сопротивление). Наряду с биогенным кремнеземом (около 45—50 %) и глинистыми минералами (20—25 %) в нем отмечается повышенное содержание пирита (до 20—25 %). Карбонатов немного — около 10—15 % (см. рис. 2). Характерно также присутствие многочисленного ихтиодетрита, который часто фрагментарно или полностью замещен пиритом. По этим признакам он напоминает отложения из „пиритовой“ зоны (Бж₁), однако отличается невысоким содержанием керогена — не более 4—5 %.

Зона Аб₁ (Gs-SSO-Kt) характеризуется примерно одинаковым соотношением глинистых минералов в ее составе. Она имеет мощность около 4—5 м (см. рис. 2). В ее состав входят темно-серые слабобитуминозные кремнистые породы. На поверхности сколов часто отмечаются отпечатки раковин аммонитов, а также онехитесов таутид. Породы сложены главным образом аутогенным (биогенным) кремнеземом (в среднем 40—45 %), глинистыми минералами (25—30 %), карбонатами (не более 15—20 %) и пиритом (около 10 %). От перекрывающих битуминозных отложений баженовской свиты описываемые породы отличаются резким уменьшением содержания в них керогена, среднее содержание которого составляет всего 5—6 % (см. рис. 2). Карбонатные разновидности, входящие в состав описываемой зоны, чаще всего представлены глинисто-кремнистыми мергелями серого цвета, прочными с полураковистым сколом. Содержание в них кремнезема и глинистых минералов примерно одинаковое и составляет около 20 %. Концентрация керогена не превышает 3—3,5 %, а пирита — 5—6 %.

Следующая зона Аб₂, имеющая индекс Gs-SSO, также относится к пиритовой геохимической фации. Ее мощность достигает 4,5 м. Она сложена главным образом двумя литотипами: глинисто-кремнистым и известковистым с многочисленными переходными разностями.

Глинисто-кремнистый литотип представляет собой темно-серую до черной слабобитуминозную крепкую породу с полураковистым сколом, отпечатками раковин аммонитов, онехитесов таутид и здесь же впервые отмечаются обломки ростров белемнитов. Она отличается от предыдущей зоны главным образом составом и соотношением глинистых минералов. В ней по сравнению с ранее рассмотренной отмечается уменьшение относительного содержания каолинита (в среднем до 8—10 %) и соответственно увеличение доли Gs (до 40—45 %) и SSO (до 55—60 %). Доля кремнезема также довольно велика (в среднем 40—45 %), поэтому, как и две предыдущие зоны, она также может быть названа кремнистой.

К подошве описываемой зоны содержание биогенного кремнезема уменьшается, растет относительная концентрация глинистых минералов. В этом же направлении происходит довольно резкое уменьшение содержания керогена (в среднем почти в 2 раза), падает концентрация пирита (см. рис. 2).

Известковистые литотипы представлены серыми, иногда со слабым зеленоватым оттенком, мелкозернистыми известняками с рассеянными в них зернами глауконита и микроагрегатами пирита, развитыми главным образом по радиоляриям, а также мергелями. Мергели имеют серый до темно-серого со слабым зеленоватым оттенком цвет, обусловленный присутствием в них немногочисленных, но довольно крупных (до 0,5—1 мм в диаметре) зерен глауконита.

Зона Аб₃ также имеет индекс (Gs-SSO). Это связано с преобладанием в составе глинистых минералов, слагающих ее, гидрослюды и смешанослойных образований, однако в отличие от предыдущей относится к хлорит-сидеритовой геохимической фации и имеет мощность до 5 м.

Рассматриваемая зона сложена серыми с характерным зеленоватым оттенком, рыхлыми небитуминозными аргиллитами. Зеленоватый оттенок породам придают многочисленные мелкие зерна глауконита (селадонита?) и их агрегаты. Из-за высокого содержания в описываемой зоне глауконита ее можно также назвать глауконитовой. Встречаются редкие мелкие ростры белемнитов. Изредка отмечаются микролинзочки сидерита.

В описываемом интервале чаще всего встречаются два литотипа: карбонатный и глинистый (глауконитовый). Причем среди известковистых (карбонатных) пород выделяется несколько разновидностей.

Карбонатные литотипы, входящие в состав рассматриваемой зоны, представлены серыми с буроватым или зеленоватым оттенком глинисто-кремнистыми мергелями и известняками, в которых часто отмечаются трещины, заполненные бурым (с рассеянными в нем битумоидами) и белым кальцитом, а также жильным пиритом. В открытых трещинах и кавернах встречены микродрузы прозрачных кристаллов кварца, кальцита и барита. Наряду с кальцитом, доломитом и сидеритом (последний появляется именно в зоне Аб₃) для описываемых отложений характерно наличие манганокальцита, который из-за присутствия на его поверхности тонких пленок окислов марганца имеет серый цвет. Породы, слагающие зону Аб₃, в целом менее кремнистые (около 30 %), более глинистые (в среднем около 40—42 %), содержат довольно много пирита (8—10 %) и очень мало керогена (в среднем около 1 %).

Зона Аб₄ (Kt-SSO) характеризуется преобладанием в составе глинистых минералов каолинита и смешанослойных образований. Ее мощность в среднем близка к 5 м (см. рис. 2). Она сложена серыми, в верхней ее части с зеленоватым оттенком (из-за присутствия глауконита), небитуминозными слабокарбонатными очень рыхлыми (до дресвы) алевритистыми глинами. Следует отметить, что доля биогенного кремнезема в этих породах резко уменьшается и напротив увеличивается количество терригенных обломков кварца и полевых шпатов мелко- и крупноалевритовой размерности (в среднем около 16—18 %). Присутствуют раковины аммонитов, двустворок, ростры белемнитов, а в нижней части зоны появляются довольно многочисленные ходы илоедов, которые часто бывают замещены пиритом. Следы жизнедеятельности роющих организмов в осадках этой зоны свидетельствуют о нормальном (аэробном) газовом режиме в момент их накопления.

Карбонатные разновидности пород, входящих в состав рассматриваемой зоны, представлены алевритисто-глинистыми мергелями, известняками и сидеритолитами от темно-бурого до коричневого цвета, обусловленного присутствием тонких пленок оксидов и гидрооксидов железа, покрывающих микрозерна сидерита. Образцы известняков часто трещиноватые, причем трещины в них как открытые, так и полностью „запечатанные“ эпигенетическим кальцитом.

Зона Аб₅ (Kt), ее название связано с преобладанием в составе глинистых минералов каолинита (в среднем около 50—55 % от суммы глинистых минералов). Она имеет наибольшую среди слагающих абалаксскую свиту зон мощность, которая составляет 12—16 м (см. рис. 2). Рассматриваемая зона сложена серыми рыхлыми тонкослоистыми слабокарбонатными алевритистыми глинами, в которых отмечаются многочисленные ходы илоедов (часто замещенные пиритом), а также обломки раковин двустворок и ростров белемнитов. Остатки раковин аммонитов в этой зоне встречаются очень редко. Основным породообразующим компонентом являются глинистые минералы (в среднем 55—60 %). Кварц представлен терригенной разновидностью, аутигенный (биогенный) кремнезем полностью отсутствует, алевритовых зерен кварца и полевых шпатов в среднем около 20 %. Среднее содержание карбонатного материала, представленного главным образом обломками раковин двустворок и ростров белемнитов, а также микростяжениями сидерита, составляет около 15—17 %. Концентрация пирита, присутствующего часто в виде округлых стяжений различных размеров, изменяется в пределах 6—15 %.

Карбонатные разновидности пород рассматриваемой зоны представлены мергелями и глинистыми известняками, серыми с буроватым оттенком, сложенными главным образом сидеритом. В подошвенной части зоны встречен оолитовый глинисто-алевритовый известняк или мергель, состоящий из двух- и трехзональных оолитов, сцепментированных анкеритом и сидеритом. Двухзональные оолиты имеют глинистую сердцевину (обычно представленную каолинитом), покрытую тонкой пленкой сидерита, а трехзональные в самом центре имеют обломочное зерно алевритовой размерности обычно кварц-полевошпатового состава, окруженное каолинитовой оболочкой и также покрытое сидеритовой пленкой. Ввиду своеобразного литологического состава и текстурно-структурных особенностей оолитовый известняк может служить в качестве зонального репера.

В верхней части рассматриваемой зоны встречен очень тонкий (около 10 см) слой слабоглинистого фосфорита, сложенный, по данным рентгеноструктурного анализа, примерно на 85 % фтор-апатитом. Фосфорит светло-серого цвета, плотный, крепкий, почти массивный. Если бы он

имел немного большую толщину, то мог бы также служить зональным репером из-за повышенной естественной радиоактивности.

ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРХНЕЮОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Изучение коллекторских свойств отложений баженовской и абалакской свит показало, что подавляющее большинство образцов имеет проницаемость ($K_{\text{пр}}$) меньше 0,1 мД, т. е. они не способны фильтровать углеводородные флюиды. Лишь образцы, в которых наблюдались открытые трещины, имели $K_{\text{пр}}$ более 1 мД. Следует отметить, что многие образцы при изготовлении из них цилиндров для исследования фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) разрушались из-за низкой механической прочности и напряженного состояния. Особенно это касается образцов, отобранных из зон Аб₃-Аб₅. Поэтому у них удалось определить лишь пористость ($K_{\text{п}}$). Трещины отмечаются только в двух типах пород — кремнистых (силициты по Теодоровичу [13]) и карбонатных (сидеритолиты, известняки и мергели). На поверхности трещин отмечаются пленки метаморфизованных битумоидов, а также новообразованные хорошо ограненные кристаллы карбонатов (различного состава), кварца, пирита, апатита, барита, серы и каолинита (диккита), образовавшихся, скорее всего, под действием среднетемпературных гидротерм [14]. Ширина (раскрытие) трещин в образцах изменяется от десятых долей до 3—5 мм. Полученные данные свидетельствуют о том, что коллекторами в верхнеюорских отложениях рассматриваемого района являются кремнистые и карбонатные литотипы, а тип коллектора трещинный и трещинно-кавернозный. Этот вывод подтверждается также результатами промысловых геофизических и гидродинамических исследований скважин. Таким образом, кремнистые и карбонатные литотипы (силициты, мергели и известняки), по которым возможно образование вторичных трещинно-кавернозных коллекторов, можно назвать потенциально-продуктивными пластами (сокращенно ППП).

При использовании результатов ГИС для количественной оценки ФЕС пород-коллекторов наряду с кривой α_{PC} , которая в рассматриваемых отложениях неинформативна, применяются „плотностные“ геофизические методы (гамма-гамма каротаж, акустические исследования, различные модификации нейтронного каротажа), основанные на фундаментальной зависимости пористость ($K_{\text{п}}$) — плотность (σ). Однако, как показали исследования отобранных образцов керна, в описываемых отложениях этой зависимости не наблюдается (рис. 3, а). Это объясняется двумя главными причинами. Во-первых, узким интервалом изменений значений $K_{\text{п}}$ (от 0,3—0,5 до 16—18 %) и, во-вторых, значительными вариациями плотности компонентов, слагающих рассматриваемые отложения. Так, плотность керогена составляет всего около 1,2 г/см³, сидерита — 3,96 г/см³, а пирита — около 5 г/см³.

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что наиболее пористыми образцами оказались самые глинистые из них (зоны Аб₃-Аб₅). Этот феномен объясняется тем, что при сушке образцов

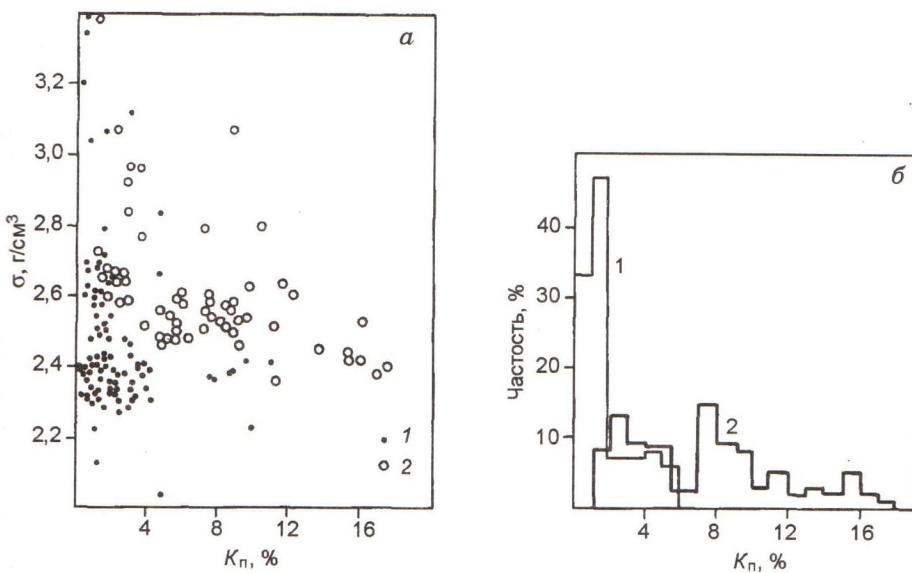


Рис. 3. Зависимость пористость—плотность (а) и распределение значений пористости (б) в образцах, отобранных из „сухих“ (кривая 1) и продуктивных (кривая 2) скважин, пробуренных в центральной части Красноленинского свода.

а — результаты исследований образцов, отобранных: 1 — из отложений баженовской и верхней части абалакской свит (зоны Бж₁-Аб₁), 2 — из средней и нижней частей абалакской свиты (зоны Аб₂-Аб₅).

(при 105 °C) из них удаляется как капиллярно связанные вода, отсутствующая в битуминозных разновидностях, так и межслоевая, содержащаяся в межслоевом пространстве SSO. Расчеты показывают, что получаемая величина открытой пористости в этих литотипах явно завышена на 5–7 %, что является результатом методических особенностей определения K_p .

Тем не менее, рассматривая характер распределения значений K_p образцов, отобранных из „сухой“ и продуктивных скважин (первая и вторая кривые соответственно на рис. 3, б), можно отметить, что первые имеют пористость от 0,3 до 6 %, а вторые — от 1 до 18 %. Максимальное количество образцов, отобранных из непродуктивной скважины, имеет пористость в пределах 1–2 %. Образцы из продуктивных скважин имеют два главных максимума в распределении пористости. Первый лежит в интервале 2–3 %, а второй (главный) — 7–8 %. Следовательно, граница между продуктивными и непродуктивными скважинами по параметру K_p лежит в пределах 7 % и выше. Действительно, как было показано на основе комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования [15], продуктивные скважины располагаются в зонах разуплотнения (вторичной трещиноватости тектонического происхождения), а „сухие“ — в зонах сжатия.

Исходя из предположения, что величина трещинной емкости может быть оценена на основе акустических методов ГИС, были изучены акустические свойства образцов, отобранных из различных зон, входящих в состав баженовской и абалакской свит (табл. 1). Однако анализ результатов показал, что скорости распространения акустических сигналов в образцах практически не зависят от их пористости, а определяются главным образом их вещественным составом или, вернее, плотностными характеристиками слагающих их компонентов, которые изменяются от 1,2 до 5 г/см³ (о чем говорилось выше). Поэтому минимальные значения скорости распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн отмечаются в „керогеновой“ зоне Бж₁ (см. табл. 1). Максимальные скоростные характеристики имеют известняки и мергели, состоящие преимущественно из самого плотного карбонатного минерала — сидерита (средняя и нижняя части абалакской свиты), а известняки и мергели кальцит-доломитового состава имеют промежуточные значения скоростей (баженовская и верхняя часть абалакской свиты). Повышение концентраций пирита в образцах также увеличивает их акустическую жесткость (см. табл. 1).

Таким образом, на основе результатов акустического каротажа вряд ли возможно выделение коллекторов в разрезе отдельной скважины. Однако сравнивая интервальные скоростные характеристики в пределах одних и тех же зон, имеющих близкий минеральный состав и текстурно-структурные особенности, в различных скважинах, можно на полуколичественном уровне отличить продуктивные скважины от „сухих“, так как в этом случае удастся искусственно „убрать“ влияние вещественного состава и текстурно-структурных особенностей на акустические свойства пород и различия в скорости распространения продольных и поперечных волн будут определяться лишь емкостными свойствами (величиной K_p). Следует также обратить внимание на значительную скоростную анизотропию верхнеюрских отложений. Скорости в продольном по отношению к слоистости направлении в 1,2–2,1 раза выше, чем в поперечном. Причем, как и следовало ожидать, максимальные различия отмечаются в керогеново-пиритовой (Бж₁) зоне (см. табл. 1).

Электрические свойства верхнеюрских отложений малоинформативны при выделении в них пород-коллекторов и оценке характера их насыщения. Однако электрические методы ГИС необходимы при выделении различных литотипов в баженовской и абалакской свитах и их корреляции между собой, так как они дополняют другие, в первую очередь, радиоактивные методы. Кроме того, они входят в обязательный комплекс ГИС, поэтому необходимо петрофизическое обеспечение этих методов. Следует сразу отметить, что из-за тонкослоистого строения верхнеюрского разреза наиболее предпочтительным для исследования его электрических свойств является боковой метод (БК), который позволяет выделять в разрезе пласты мощностью около 40 см и более (см. рис. 2).

Проведенные исследования электрических свойств образцов, отобранных из верхнеюрских отложений, показали, что сопротивления различных типов пород изменяются в очень широких пределах — от 0,02 до более чем 2500 Ом·м, что объясняется главным образом различиями в их вещественном составе и типе порозаполняющего флюида (см. табл. 1). К сожалению, низкая механическая прочность образцов некоторых литотипов (преимущественно глинистого состава) не позволила изготовить из них цилиндры и исследовать их электрические свойства. Поэтому лучше всего охарактеризованы электрические свойства наиболее прочных образцов, имеющих карбонатный и (или) кремнистый состав (см. табл. 1).

Самые низкие значения удельного сопротивления (около 0,02 Ом·м) имеют образцы из зоны Бж₁, в которых отмечается очень высокое содержание тонкопараллельнослоистого пирита. Именно из-за своеобразного (тонкослоистого) распределения пирита этот тип пород, несмотря на высокую битуминозность, имеет самые низкие в разрезе верхнеюрских отложений сопротивления (см. рис. 2). Действительно, удельное сопротивление образца, отобранного из той же зоны, но замеренное в перпендикулярном, а не параллельном по отношению к слоистости направлении оказалось равным 35 Ом·м. Глинисто-кремнистые литотипы имеют удельные сопротивления в пределах 17–30 Ом·м.

Таблица 1. Акустические и электрические свойства образцов из баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода (в условиях, моделирующих пластовые, при 100-процентном насыщении керосином)

Зона	Литотип	Параллельно слоистости		Перпендикулярно слоистости		Параллельно слоистости <i>R</i> , Ом·м
		<i>V_P</i> , м/с	<i>V_S</i> , м/с	<i>V_P</i> , м/с	<i>V_S</i> , м/с	
Фр	Слабоалевритистая глина	<u>4272 – 4342</u> 4307(2) 5192(1)	<u>2561</u> 2561(2) 3007(1)	—	—	<u>24,35 – 29,72</u> 27,04(2) 47,70(1)
	Мергель			—	—	
Бж ₁	Глинисто-кремнистый (с высоким содержанием пирита и керогена)	<u>3959 – 3980</u> 3972(3)	<u>2384 – 2438</u> 2403(3)	2699(1)	1154(1)	<u>0,02 – 5,61</u> 2,09(4) 35,16(1)*
Бж ₂	Известняк	5428(1)	2944(1)	—	—	>2500,00(1)
Бж ₃	Глинисто-кремнистый	<u>4012 – 4281</u> 4132(8)	<u>2447 – 2670</u> 2548(8)	3016(1)	1875(1)	29,74(1)
	Слабокарбонатный глинисто-кремнистый	4242(1)	2482(1)	<u>3261 – 3756</u> 3556(3)	<u>2181 – 2687</u> 2448(3)	—
	Глинистый известняк	5747(1)	3534(1)	—	—	2307,90(1)
	Слабокарбонатный глинисто-кремнистый с высоким содержанием пирита и ихтиодетрита	4542(1)	2966(1)	—	—	—
Аб ₁	Глинисто-кремнистый с повышенным содержанием пирита	<u>4450 – 4518</u> 4484(2)	<u>2771 – 2801</u> 2786(2)	—	—	17,19(1)
	Слабокарбонатный глинисто-кремнистый	<u>4251 – 4450</u> 4387(4)	<u>2652 – 2877</u> 2760(4)	<u>3673 – 3935</u> 3804(2)	<u>2399 – 2426</u> 2413(2)	—
	Мергель	<u>5160 – 5203</u> 5182(2)	<u>3007 – 3010</u> 3009(2)	3466(1)	2987(1)	<u>56,76 – 65,14</u> 60,95(3)
Аб ₂	Глинисто-кремнистый	<u>4427 – 4446</u> 4437(2)	<u>2755 – 2987</u> 2871(2)	<u>3686 – 3700</u> 3695(2)	<u>2212 – 2316</u> 2264(2)	—
	Слабокарбонатный глинисто-кремнистый	—	—	3929(1)	2782(1)	—
	Мергель	4637(1)	2961(1)	—	—	—
	Известняк	5579(1)	3111(1)	—	—	37,26(1)**
Аб ₃	Мергель	—	—	<u>4163 – 4296</u> 4230(3)	<u>2505 – 2506</u> 2506(2)	—
	Известняк	5875(1)	3232(1)	—	—	102,25(1)
Аб ₄	Слабокарбонатная алевритистая глина	5062(1)	2992(1)	—	—	—
	Мергель	5447(1)	3150(1)	—	—	—
	Известняк	<u>5550 – 5923</u> 5772(3)	<u>3021 – 3228</u> 3140(3)	—	—	<u>96,34 – 113,04</u> 104,69(2)
Аб ₅	Глина алевритистая, пиритизированная	—	—	3817(1)	2241(1)	—
	Слабокарбонатная алевритистая глина	<u>4954 – 4368</u> 4961(2)	<u>3093 – 3095</u> 3094(2)	<u>3912 – 3929</u> 3921(2)	<u>2234 – 2272</u> 2253(2)	—
	Мергель	<u>4732 – 4860</u> 4796(2)	<u>2779 – 2823</u> 2801(2)	—	—	268,47(1)

Примечание. Над чертой — минимальные и максимальные значения параметра, под чертой — среднее, в скобках — число анализов.

* Сопротивление измерено в направлении перпендикулярно слоистости.

** В образце отмечается повышенное содержание марганца.

Максимальное удельное сопротивление (2300—>2500 Ом·м) имеют известняки кальцит-доломитового состава, входящие в состав баженовской свиты (зоны Бж₂-Бж₃), что объясняется высоким сопротивлением кальцита и доломита, а также их низкой пористостью и заполнением имеющегося пустотного пространства битумами.

Сидеритолиты имеют заметно более низкие значения удельного сопротивления (96—113 Ом·м), что объясняется наличием на поверхности слагающих их микрозерен сидерита оксидов и гидрооксидов железа, обладающих повышенной электропроводностью. Мергели занимают промежуточное по величинам удельных сопротивлений положение между глинами и известняками (см. табл. 1). Следует обратить внимание на известняк, встреченный в зоне Аб₂, выделяющийся сравнительно низкими значениями удельного сопротивления (всего около 37 Ом·м). Низкие сопротивления

рассматриваемого известняка объясняются тем, что он сложен манганокальцитом, состоящим из микрозерен, поверхность которых покрыта тонкими пленками оксидов марганца, имеющих довольно высокую электропроводность. Из-за наличия этих пленок известняк приобретает темно-серый цвет, кроме того, значительное содержание марганца повышает его плотность (около 3 г/см³).

Низкие сопротивления маломощного слоя в самой подошве зоны Бж₃, объясняются высоким содержанием в нем тонких слойков пирита (толщиной 0,2—0,5 мм), ориентированных параллельно слоистости. По этому признаку, а также по повышенной радиоактивности (о чем подробнее будет сказано ниже) он может быть использован в качестве надежного зонального репера (см. рис. 2).

Повышенные удельные сопротивления пород, слагающих подошвенную часть зоны Бж₁ и зону Бж_{1.1}, объясняются резким уменьшением содержания в них тонкослоистого пирита и увеличением битуминозности, связанной с ростом концентрации в них керогена (до 30—35 %).

Краткий анализ электрических свойств различных литологических типов пород, слагающих верхнеюрские отложения, позволяет более обоснованно использовать электрический каротаж в комплексе с другими методами ГИС для выделения основных типов пород в рассматриваемом разрезе (см. рис. 2 и табл. 1).

Радиоактивные свойства верхнеюрских отложений являются одними из наиболее важных при выделении в них различных типов пород. Суммарная естественная радиоактивность рассматриваемых отложений изменяется в очень широких пределах — от 0,3—0,5 (г-экВRa/г)·10⁻¹² (в известняках, входящих в состав абалакской свиты) до 25—27,5 (г-экВRa/г)·10⁻¹² (в наиболее богатых керогеном и ихиодетритом глинисто-кремнистых породах из зон Бж₁ и Бж_{1.1}).

Основной вклад в радиоактивность отложений баженовской свиты вносит уран (75—96 %). В кровельной части абалакской свиты (зона Аб₁) его доля в суммарной радиоактивности составляет в среднем около 60 %, в средней (зоны Аб₂-Аб₃) — близка к 40 %, ниже (зона Аб₄) основной вклад в суммарную радиоактивность вносит калий — около 38 %, а в ее подошвенной части (зона Аб₅) — торий (в среднем 35—37 %), см. рис. 2, табл. 2.

Фундаментальной зависимостью для урана является его связь с органическим веществом ($C_{орг}$) или керогеном, объясняющаяся переходом растворимого шестивалентного урана в нерастворимую четырехвалентную форму при его восстановлении за счет органического вещества (рис. 4, а, б). Для удобства анализа зависимости $U - C_{орг}$ она изображена в двух масштабах. На рис. 4, а нанесены результаты исследований образцов, отобранных из отложений баженовской и кровельной части

Таблица 2. Распределение содержаний радиоактивных элементов в отложениях баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода

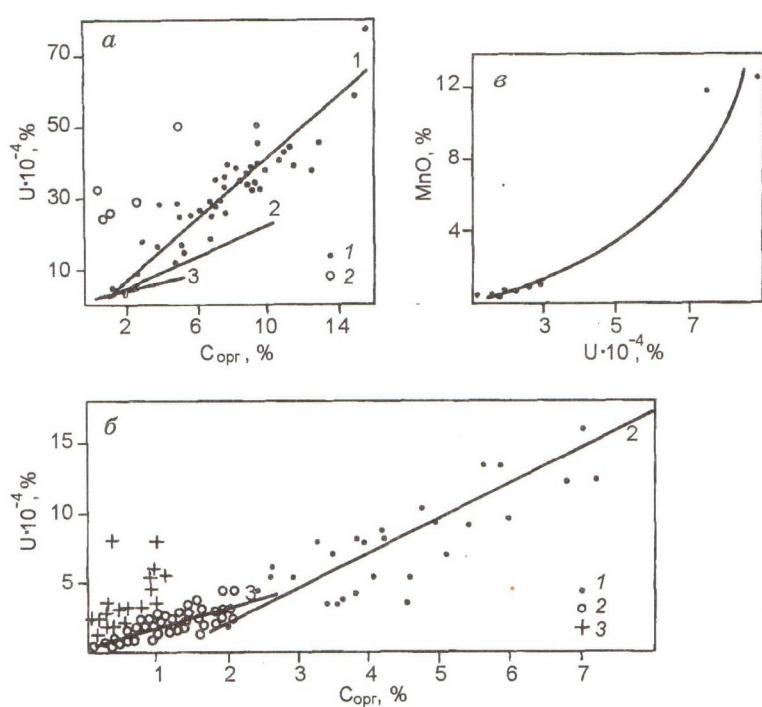
Зона (кол-во обр.)	Суммарная радиоактивность, (г-экВRa/г) · 10 ⁻¹²	Содержание радиоактивных элементов, %			Вклад в суммарную радиоактивность, %			Th/U
		K	$U \cdot 10^{-4}$	$Th \cdot 10^{-4}$	K	U	Th	
Фр (5)	1,94 — 7,57 5,00	0,58 — 1,86 1,39	3,58 — 15,25 9,33	1,03 — 13,46 6,82	8,7 — 29,3 16,4	42,4 — 66,5 59,0	21,0 — 28,3 24,6	0,08 — 1,57 0,89
Бж ₁ (9)	5,66 — 27,37 15,07	1,02 — 1,37 1,14	13,27 — 78,27 41,58	2,21 — 7,83 5,39	2,2 — 10,7 4,9	77,4 — 94,3 89,0	2,0 — 11,9 6,1	0,05 — 0,36 0,16
Бж _{1.1} (2)	10,14 — 25,00 17,57	1,30 — 1,85 1,58	23,14 — 70,78 46,96	6,95 — 10,99 8,97	2,8 — 9,5 6,1	75,3 — 93,4 84,4	3,8 — 15,2 9,5	0,10 — 0,47 0,29
Бж ₂ (6)	0,92 — 13,43 5,24	0,15 — 1,11 0,46	2,41 — 36,30 13,77	0,05 — 4,93 1,75	3,2 — 10,9 6,6	80,5 — 92,3 87,5	2,1 — 10,0 5,9	0,01 — 0,24 0,10
Бж ₃ (34)	3,98 — 17,32 11,37	0,21 — 1,55 0,97	10,01 — 50,45 31,32	0,50 — 9,55 3,68	1,2 — 9,9 4,2	79,3 — 96,7 90,0	0,6 — 14,2 5,8	0,01 — 0,43 0,13
Аб ₁ (17)	1,18 — 5,56 3,63	0,67 — 2,33 1,45	1,38 — 12,57 7,07	0,32 — 7,49 4,54	13,9 — 48,0 22,5	18,1 — 79,4 60,2	4,0 — 33,9 17,3	0,16 — 4,43 0,83
Аб ₂ (14)	0,78 — 4,29 2,76	0,66 — 2,90 1,66	0,27 — 5,49 3,33	2,38 — 9,04 5,64	20,5 — 44,0 32,6	11,4 — 56,5 38,2	21,1 — 44,6 29,2	0,85 — 9,15 3,45
Аб ₃ (32)	0,67 — 5,74 3,32	0,35 — 3,32 1,92	1,10 — 8,90 4,02	0,33 — 11,86 5,79	8,2 — 54,5 34,7	18,2 — 55,9 40,4	7,0 — 42,0 24,9	0,30 — 4,70 1,69
Аб ₄ (24)	0,39 — 4,80 2,48	0,28 — 3,01 1,75	0,42 — 5,97 2,38	0,02 — 9,06 5,16	26,6 — 51,3 38,3	16,8 — 61,2 32,8	0,8 — 44,0 28,9	0,30 — 5,80 2,47
Аб ₅ (30)	0,74 — 6,60 2,78	0,42 — 2,59 1,67	0,51 — 8,00 2,51	0,88 — 18,67 7,58	17,0 — 45,8 33,4	6,8 — 44,8 29,7	16,5 — 55,2 36,9	0,86 — 16,67 3,48

Рис. 4. Зависимость содержаний урана от концентрации органического углерода в различных зонах верхнеюрских отложений центральной части Красноленинского свода (*а*, *б*) и связь содержания оксида марганца с концентрацией урана в карбонатных литотипах, отобранных из верхней и средней частей абалакской свиты (*в*).

Прямые 1, 2 и 3 описывают зависимости $U - C_{\text{орг}}$ соответственно: для отложений баженовской и верхней части абалакской свит (зоны Бж₁-Аб₁), средней части абалакской свиты (зоны Аб₂-Аб₃) и нижней ее части (зоны Аб₄-Аб₅).

а: 1 — результаты анализов образцов, отобранных из зон Бж₁-Аб₁, 2 — результаты исследований образцов из тех же зон, обогащенных ихтиодетритом;

б: результаты исследований образцов, отобранных: 1 — из зон Аб₂-Аб₃, 2 — из зон Аб₄-Аб₅, 3 — образцы из тех же зон, но обогащенные акцессорными минералами, манганокальцитом и включениями фосфоритов.

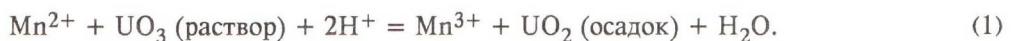


абалакской свиты (зоны Бж₁-Бж₃, Аб₁, прямая 1), на рис. 4, *б* из средней (зоны Аб₂-Аб₃, прямая 2) и нижней частей (зоны Аб₄-Аб₅, прямая 3) абалакской свиты. Для сравнения зависимости с рис. 4, *а*, описываемые прямыми 2 и 3, нанесены на рис. 4, *а*. Полученные связи $U - C_{\text{орг}}$ свидетельствуют о том, что в различных зонах существуют свои зависимости между содержанием урана и керогена, причем по мере обеднения осадков $C_{\text{орг}}$ описываемая зависимость выполняется (см. рис. 4, *а*, *б*). Иными словами, эта зависимость не является универсальной, а зависит от окислительно-восстановительных условий, существовавших в осадках в момент их накопления. Поэтому для каждой из групп выделенных зон она будет своей.

Часть точек, соответствующих образцам, отобранным из верхнеюрских отложений, оказалась значительно выше полученной зависимости см. рис. 4, *а*, прямая 1. Изучение их вещественного состава показало, что в них отмечаются повышенные содержания фосфатов, как в виде ихтиодетрита (зоны Бж₁-Бж₃), так и скрытозернистых фосфоритов (зоны Аб₂-Аб₅).

В породах с низким содержанием керогена (зоны Аб₃-Аб₅) отмечаются образцы с повышенной концентрацией урана (см. рис. 4, *б*). Исследование их вещественного состава показало, что в глинистых разновидностях повышенное содержание урана связано с присутствием в них акцессорных минералов (апатит, циркон, ксенонит и т. п.).

Иногда повышенные концентрации урана встречаются и в карбонатных литотипах. Исследования показали, что это связано, во-первых, как и в глинистых литотипах, с повышенным содержанием акцессорных минералов, во-вторых, с присутствием мелких зерен фосфатов и, в-третьих, с манганокальцитом. Действительно, анализ зависимости $U - \text{MnO}$ показал, что существует положительная связь между этими элементами (см. рис. 4, *в*). Отмеченной зависимости можно дать следующее геохимическое объяснение. Известно, что даже в слабокислой среде, обусловленной наличием, например, угольной кислоты, двухвалентный ион марганца легко окисляется. Поэтому можно предположить наличие в наддонном слое воды такой реакции на поверхности манганокальцита:



Не исключено, что обогащение ураном известняков, имеющих в своем составе манганокальцит, может происходить не только в седиментогенезе, но и в эпигенезе под действием кислых гидротерм, активно переносящих комплексные соединения шестивалентного урана. Можно предположить также, что уран осаждается не только и не столько за счет ионов марганца, входящих в состав манганокальцита, а в результате окисления ионов марганца, слагающих описанные выше тонкие пленки пиролюзита (MnO), покрывающие поверхность микрозерен, из которых состоит манганокальцит. Таким образом, наряду с пониженными удельными сопротивлениями, известняки, в состав которых входит манганокальцит, характеризуются повышенной радиоактивностью. Своебразные

Таблица 3. Характеристика радиоактивных свойств потенциально-продуктивных пластов в отложениях баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского района

Зона, литотип (кол-во обр.)	Суммарная радиоактивность, (г-эквRa/г) · 10 ⁻¹²	Содержание радиоактивных элементов, %			Вклад в суммарную радиоактивность, %			Th/U
		K	U · 10 ⁻⁴	Th · 10 ⁻⁴	K	U	Th	
Бж ₁ , известняк (4)	0,92 – 6,94 3,24	0,15 – 0,42 0,24	2,41 – 19,42 8,33	0,05 – 2,25 0,62	3,2 – 10,9 7,0	80,5 – 92,3 87,6	2,1 – 10,0 5,4	0,01 – 0,12 0,05
Гл.-кремн. мергель (1)	5,07	0,70	12,98	3,06	7,2	84,3	8,5	0,24
Бж ₃ , гл. силицит (4)	3,98 – 14,10 8,28	0,72 – 1,30 1,00	10,01 – 39,60 22,33	2,16 – 3,29 2,74	4,8 – 9,9 7,4	82,5 – 93,0 87	2,2 – 7,6 5,6	0,06 – 0,22 0,16
Карб.-гл. силицит (7)	9,24 – 17,32 11,52	0,34 – 1,13 0,77	24,31 – 50,45 32,18	0,50 – 6,00 2,59	1,9 – 6,4 3,6	89,4 – 96,7 92,0	1,4 – 8,5 4,4	0,03 – 0,23 0,12
Гл.-кремн. мергель (2)	9,61 – 9,98 9,80	0,21 – 0,64 0,43	27,60 – 28,95 28,28	0,70 – 2,84 1,77	1,2 – 3,4 2,3	94,7 – 95,6 95,2	1,0 – 4,1 2,5	0,02 – 0,10 0,06
Аб ₁ , гл. силицит (4)	1,18 – 4,42 2,75	0,89 – 1,55 1,34	2,02 – 7,96 4,54	0,32 – 7,49 3,95	16,9 – 39,0 28,6	45,1 – 59,4 54,1	4,0 – 26,5 17,3	0,16 – 1,38 0,77
Карб.-гл. силицит (4)	3,27 – 5,62 4,68	0,74 – 1,64 1,26	6,98 – 12,57 10,18	4,15 – 5,26 4,72	11,8 – 15,2 13,8	68,8 – 73,8 71,5	11,0 – 17,8 14,7	0,35 – 0,59 0,49
Гл.-кремн. мергель (2)	2,40 – 4,65 3,52	0,67 – 1,66 1,17	5,78 – 9,12 7,45	1,02 – 5,52 3,27	14,6 – 18,6 16,6	64,7 – 79,4 72,1	6,0 – 16,7 11,3	0,18 – 0,61 0,40
Аб ₂ , гл. силицит (2)	2,76 – 3,20 2,98	1,41 – 1,76 1,59	3,30 – 5,49 4,40	4,64 – 5,38 5,01	23,1 – 33,3 28,2	39,4 – 56,5 48,8	20,4 – 27,3 23,8	0,85 – 1,63 1,24
Карб.-гл. силицит (1)	1,58	0,99	2,21	2,38	32,6	46,2	21,2	1,08
Кремн.-гл. мергель (2)	1,61 – 1,88 1,75	1,08 – 1,53 1,31	1,50 – 1,81 1,66	3,24 – 4,20 3,72	34,9 – 42,5 38,7	26,5 – 36,9 31,7	28,2 – 31,0 29,6	1,79 – 2,77 2,28
Аб ₃ , кремн.-гл. мергель (3)	1,37 – 2,29 1,98	0,35 – 1,35 1,00	2,22 – 2,88 2,57	2,33 – 5,40 4,10	19,7 – 30,6 26,5	37,6 – 54,1 44,4	26,2 – 33,1 29,1	1,05 – 2,07 1,57
Известняк* (2)	0,67 – 3,60 2,14	0,50 – 0,56 0,53	1,10 – 8,90 5,0	0,33 – 2,67 1,5	8,2 – 38,8 23,5	54,2 – 81,4 67,8	7,0 – 10,4 8,7	0,30
Гл. силицит (1)	2,37	0,97	3,03	3,97	31,5	42,7	25,8	1,31
Аб ₄ , алевр.-гл. мергель (2)	1,15 – 1,59 1,37	0,74 – 0,81 0,78	1,54 – 2,78 2,16	1,80 – 1,81 1,81	26,6 – 33,6 30,1	44,3 – 57,5 50,9	15,9 – 22,9 19,4	0,65 – 1,18 0,92
Гл. известняк (5)	0,39 – 1,17 0,74	0,28 – 0,70 0,53	0,42 – 0,87 0,70	0,02 – 3,67 1,67	31,3 – 44,1 38,0	19,2 – 61,2 35,1	0,8 – 44,0 26,9	0,30 – 4,60 2,11
Аб ₅ , алевр.-гл. мергель (4)	0,52 – 1,87 0,97	0,35 – 0,93 0,59	0,40 – 1,57 1,02	0,88 – 6,25 2,41	25,7 – 39,1 31,0	27,7 – 48,2 38,1	16,5 – 46,6 30,9	0,86 – 3,98 2,54
Гл. известняк (1)	0,82	0,42	0,90	2,21	26,8	35,8	37,4	2,50

Примечание. Алевр. — алевритистый; гл. — глинистый; кремн. — кремнистый; карб. — карбонатный.

* Один образец известняка обогащен акцессорными минералами, содержащими U и Th.

петрофизические свойства этих известняков позволяют использовать их в качестве реперных пластов при корреляции верхнеюрских отложений, вскрытых разными скважинами.

Так как в ближайшее время большинством нефтегазодобывающих компаний планируется использование наряда с обычным гамма-каротажем скважинной гамма-спектрометрии, представляется особый интерес характеристика радиоактивных свойств выделенных выше ППП, представленных силицитами, мергелями, известняками и сидеритолитами (табл. 3). Сравнивая радиоактивные свойства верхнеюрских отложений в целом с таковыми у ППП (см. рис. 2, табл. 2 и 3), можно отметить следующее. Во-первых, суммарная радиоактивность перечисленных литотипов ниже, чем средняя по зоне, в состав которой они входят (особенно это относится к известнякам и сидеритолитам). Это объясняется снижением концентрации в них глинистых минералов и керогена. Во-вторых, для них характерно увеличение относительного вклада урана в общую радиоактивность, что объясняется главным образом уменьшением содержания в них глинистых минералов, содер-

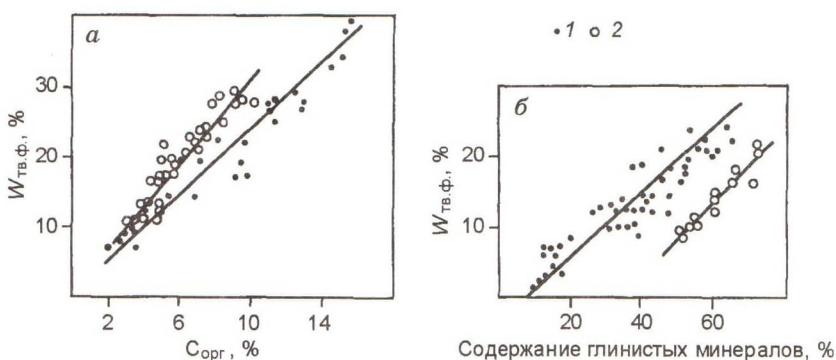


Рис. 5. Зависимости объемного водородосодержания твердой фазы образцов, отобранных из верхнеюрских отложений центральной части Красноленинского свода, от концентрации органического углерода (а) и содержания глинистых минералов (б).

Результаты исследований образцов, отобранных: а — из баженовской и верхней части абалакской свит (зоны Бж₁-Аб₁) из „сухой“ — 1 и продуктивных — 2 скважин; б — из зон: 1 — Аб₄-Аб₅ и 2 — Аб₂-Аб₃.

жащих основную долю тория и всего калия. Этой же причиной объясняется уменьшение в них Th/U отношения по сравнению с другими литотипами (см. табл. 2 и 3). Установленные закономерности нарушаются лишь в образцах ППП, обогащенных урансодержащими фосфатами и (или) метаморфизованными битумоидами, а также акцессорными минералами с высокой концентрацией тория и урана.

Таким образом, используя результаты гамма-спектрометрических исследований, можно с высокой степенью надежности выделять все восемь зон в верхнеюрских отложениях, а также основные литологические типы пород, входящие в их состав, включая ППП.

Из-за низкой эффективности используемого стандартного комплекса ГИС при выделении пород-коллекторов или ППП в разрезах верхнеюрских отложений, представляется необходимым использовать для этих целей различные разновидности нейтронного каротажа, показания которого главным образом обусловлены содержанием водорода в исследуемых породах. Выделение пород-коллекторов в баженовской свите и определение их пористости по данным нейтронных методов возможно на основании трехкомпонентной модели, имеющей следующий вид:

$$W_{\text{п}} = K_{\text{орг}}(W_{\text{орг}}) + K_{\text{гл}}(W_{\text{гл}}) + K_{\text{п}}(W_{\text{фл}}), \quad (2)$$

где $W_{\text{п}}$ — суммарное объемное водородосодержание породы; $K_{\text{орг}}$ — объемное содержание твердого органического вещества (керогена); $W_{\text{орг}}$ — его водородный индекс; $K_{\text{гл}}$ — объемное содержание глинистого материала; $W_{\text{гл}}$ — его водородный индекс; $K_{\text{п}}$ — пористость и $W_{\text{фл}}$ — водородный индекс порового флюида.

Сумма $K_{\text{орг}}(W_{\text{орг}}) + K_{\text{гл}}(W_{\text{гл}})$ представляет собой **объемное водородосодержание твердой фазы ($W_{\text{тв.ф.}}$)**. Именно эта величина определялась методом нейтронного просвечивания на образцах, отобранных из верхнеюрских отложений. Очевидно, что обсуждаемый параметр зависит от концентрации керогена и содержания глинистых минералов в верхнеюрских отложениях (рис. 5, а, б), так как остальные минеральные компоненты, входящие в состав верхнеюрских отложений, не содержат в своем составе водорода. Следует отметить, что зависимость $W_{\text{тв.ф.}} — C_{\text{орг}}$ (см. рис. 5, а) построена на основе результатов исследований образцов, отобранных из баженовской и верхней части абалакской свит (зоны Бж₁-Аб₁), так как в образцах с низким содержанием керогена и высокой концентрацией глинистых минералов (средняя и нижняя части абалакской свиты) основной вклад в обсуждаемый параметр вносит водород, связанный с глинами, а не с керогеном. По этой причине вторая зависимость $W_{\text{тв.ф.}} —$ содержание глинистых минералов построена на основании результатов исследования образцов, отобранных из зон Аб₂-Аб₅, для которых влияние объемного водородосодержания керогена минимально (см. рис. 5, б).

Следует обратить внимание на тот факт, что точки на графике $W_{\text{тв.ф.}} — C_{\text{орг}}$, отвечающие результатам исследований образцов из продуктивных скважин, расположены выше, чем таковые, полученные на основании изучения образцов из непродуктивной скважины (см. рис. 5, а). Это объясняется более высоким содержанием в образцах из продуктивных скважин битумоидов, у которых водородный индекс выше, чем у керогена примерно в 1,2 раза, а концентрация $C_{\text{орг}}$, напротив, ниже.

Нанесенные на втором графике ($W_{\text{тв.ф.}}$ — содержание глинистых минералов) точки также сгруппировались в две прямолинейные зависимости. Верхняя (с более высокими значениями объемного водородосодержания) отвечает образцам, отобранным главным образом из зон Аб₄ и Аб₅ (см. рис. 5, б). Нижняя группа точек — результаты исследования образцов, отобранных из подошвенной части зоны Аб₂ и всей зоны Аб₃. Полученные результаты объясняются различиями водородных индексов глинистых минералов, входящих в эти зоны. Так, в зонах Аб₄-Аб₅ значительную долю в составе глинистых минералов составляет каолинит, а в составе пород, слагающих зоны Аб₂-Аб₃, преобладающими глинистыми минералами являются смешанослойные образования, в том числе глауконит или селадонит? и гидрослюдя, у которых водородный индекс меньше, чем у каолинита примерно в 1,8 раза.

Таким образом, при определении объемного водородосодержания пород, а затем и оценке их пористости на основании нейтронных геофизических методов необходимо учитывать как минеральный состав глин, слагающих ту или иную зону, так и соотношение керогена и битумоидов в породах, вскрытых различными скважинами.

Выделение пород-коллекторов в отложениях абалакской свиты и определение их пористости на основании данных нейтронного каротажа возможно на основании более простой (двухкомпонентной) модели, имеющей следующий вид:

$$W_{\text{п}} = (1 - K_{\text{п}})W_{\text{тв.ф.}} + K_{\text{п}}W_{\text{фл}}, \quad (3)$$

где $W_{\text{тв.ф.}}$ определяется содержанием в породе глинистых минералов и их водородным индексом, так как концентрацией керогена в данном случае можно пренебречь из-за его невысокого содержания (в среднем около 1—2 %).

Выражение для определения пористости в верхнеюрских отложениях представляется следующим образом:

$$K_{\text{п}} = (W_{\text{п}} - W_{\text{тв.ф.}}) / (W_{\text{фл}} - W_{\text{тв.ф.}}). \quad (4)$$

Все необходимые для решения этого уравнения параметры петрофизически обоснованы для каждой из восьми выделенных зон, входящих в состав верхнеюрских отложений. Используя результаты скважинной гамма-спектрометрии, определяют объемное содержание керогена (на основе полученной зависимости U—C_{орг}) и глинистых минералов (по зависимости между содержаниями калия и тория, с одной стороны, и концентрацией глинистых минералов — с другой). Водородный индекс порозаполняющего флюида вычисляется по результатам геохимических анализов битумоидов, содержащихся в порах верхнеюрских пород, а также пластовой нефти, полученной из этих отложений.

В заключение следует отметить, что из-за тонкослоистого строения верхнеюрских отложений необходимо скважинные геофизические исследования проводить в масштабе не менее чем 1 : 100.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В составе верхнеюрского разреза выделяются две геохимические фации: пиритовая, включающая в себя баженовскую и верхнюю часть абалакской свиты, и хлорит-сiderитовая, к которой относится остальная часть абалакской свиты; в составе баженовской свиты выделено три, а в абалакской — пять зон, причем отложения баженовской свиты и верхняя часть абалакской обогащены керогеном, пиритом и аутигенным (биогенным) кремнеземом, максимальные концентрации которого отмечаются в зонах Бж₃-Аб₂, поэтому они могут быть названы кремнистыми; напротив, средняя и нижняя части абалакской свиты (Аб₃-Аб₅) сложены преимущественно глинистыми литотипами, в которых отмечаются маломощные карбонатные пласти.

2. В подавляющем большинстве образцов, отобранных из верхнеюрских отложений, отмечены низкие фильтрационно-емкостные свойства, лишь кремнистые и карбонатные литотипы, в которых присутствуют трещины, имеют проницаемость более 1 мД; так как в этих породах под действием неотектонических движений, сопровождающихся гидротермальным воздействием, могут формироваться вторичные коллекторы, они получили название потенциально-продуктивных пластов (ППП), а образующиеся в них вторичные коллекторы относятся к трещинно-кавернозному типу.

3. Образцы керна, отобранные из продуктивных скважин, имеют среднюю пористость около 7—8 % (зона разуплотнения), а из непродуктивных — около 1,5—2 % (зона сжатия).

4. Электрические свойства различных типов пород, слагающих верхнеюрские отложения, определяются их вещественным составом и характером насыщения порового пространства, поэтому на их основе возможно выделение основных литологических типов пород в составе каждой из выделенных зон; благодаря своеобразному составу, текстурно-структурным особенностям и электрическим свойствам пород, входящих в состав зоны Бж₁, возможно использование истратационных электротепловых методов для добычи битумоидов из этой зоны.

5. На основе данных гамма-спектрометрических исследований возможно корректное выделение всех восьми зон, на которые разбиты верхнеюрские отложения, а также выделение основных литотипов в их составе, включая ППП; для определения содержания в верхнеюрских отложениях керогена необходимо использовать зависимости $U-C_{опт}$, а глинистых минералов — $Th-K_{гл}^*$ и (или) $K-K_{гл}$.

6. Определение пористости в верхнеюрских отложениях возможно на основе нейтронных геофизических методов с использованием трехкомпонентной (для баженовской свиты) и двухкомпонентной (для абалакской свиты) моделей; при этом следует учитывать особенности вариаций водородных индексов как органических компонентов (ксерогна и битумоидов), так и различных типов глинистых минералов.

7. Акустические и нейтронные геофизические методы могут быть использованы для оперативного выделения (на качественном уровне) зон разуплотнения, так как в пределах одних и тех же зон содержание поровых флюидов в разуплотненных участках выше, чем в зонах сжатия.

8. Из-за тонкослоистого строения верхнеюрских отложений следует уменьшить скорость записи различных геофизических методов и результаты ГИС выдавать в масштабе не менее чем 1 : 100.

9. С целью успешного отбора керна пород-коллекторов из верхнеюрских отложений и усиления полученных петрофизических зависимостей необходимо бурение скважин большого диаметра с использованием керноотборников типа „Кембрий“, так как при использовании керноотборников малого диаметра породы-коллекторы практически не выносятся из-за повышенной трещиноватости.

10. Для более надежного выделения продуктивных пластов в рассматриваемых отложениях необходимо привлечение специметодов ГИС — метод меченой жидкости, проведение исследований по методике „каротаж—испытание—каротаж“ и методом „двух растворов“, а также высокоточной термометрии.

11. Из-за низких емкостных свойств трещинно-кавернозных коллекторов особое значение приобретает качество проведения каротажа и его метрологическое обеспечение, что касается, в первую очередь, нейтронных методов, на основе которых предлагаются определять пористость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин В. И., Медведский Р. И., Аббасов И. А. Жильный тип ловушек углеводородов. М., ВНИИОЭНГ, 1988, 50 с.
2. Гуарди Ф. Г. Об условиях накопления и нефтеносности баженовской свиты Западной Сибири // Тр. СНИИГГиМСа, Вып. 271. Новосибирск, 1979, с. 153—160.
3. Гуарди Ф. Г. Петрофизические особенности баженовской свиты // Доманикиты Сибири и их роль в нефтегазоносности. Новосибирск, 1981, с. 43—59.
4. Дорофеева Т. В., Лебедев Б. А., Петрова Т. В. Особенности формирования коллекторских свойств баженовской свиты Салымского месторождения // Геология нефти и газа, 1979, № 9, с. 20—23.
5. Зарипов О. Г., Ушатинский И. Н. Особенности формирования и состава битуминозных отложений баженовской свиты в связи с их нефтеносностью // Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 113. Тюмень, 1976, с. 53—71.
6. Зубков М. Ю., Мормышев В. В. Вещественный состав и условия образования пород баженовской свиты Салымского месторождения // Литология и полезные ископаемые, 1987, № 2, с. 73—80.
7. Зубков М. Ю., Мулявин К. М., Чуйко И. И. Литолого-стратиграфическая характеристика отложений баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода // Основные направления научно-исследовательских работ в нефтяной промышленности Западной Сибири. Тюмень, СибНИИНП, 1998, с. 138—158.
8. Нестеров И. И. Новый тип коллектора нефти и газа // Геология нефти и газа, 1979, № 10, с. 26—29.
9. Плуман И. И. Ураноносность черных битуминозных аргиллитов верхней юры Западно-Сибирской плиты // Геохимия, 1971, № 11, с. 1362—1367.
10. Родионов В. А., Запивалов Н. П., Базылев А. П. Закономерности изменения электрического сопротивления и естественной радиоактивности пород баженовской свиты в пределах Западно-Сибирской плиты // Тр. ЗапСибНИГНИ. Вып. 116. Тюмень, 1976, с. 96—103.

* $K_{гл}$ — коэффициент глинистости.

11. Трофимук А. А., Карагодин Ю. Н. Баженовская свита — уникальный природный резервуар нефти // Геология нефти и газа, 1981, № 4, с. 29—33.
12. Хабаров В. В., Нелепченко О. М., Волков Е. Н. и др. Уран, калий и торий в битуминозных породах баженовской свиты Западной Сибири // Сов. геология, 1980, № 10, с. 94—105.
13. Геологический словарь. Т. 2. М., Недра, 1973, с. 214—215.
14. Зубков М. Ю., Федорова Т. А. Гидротермальные вторичные коллекторы в черных сланцах // Геология нефти и газа, 1989, № 6, с. 26—30.
15. Зубков М. Ю., Бондаренко П. М. Прогноз зон повышенной продуктивности на основе комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования // Основные направления научно-исследовательских работ в нефтяной промышленности Западной Сибири. Тюмень, СибНИИНП, 1997, с. 15—34.

Рекомендована к печати 19 мая 1999 г.
А. Э. Конторовичем

Поступила в редакцию 29 сентября 1998 г.,
после доработки — 20 апреля 1999 г.