

Палеорельеф фундамента Сибирской платформы и его влияние на формирование нефтегазоконденсатных месторождений

Н.И.АКУЛОВ, Р.Р.ВАЛЕЕВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН); 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128)

Приведена структурная карта поверхности кристаллического фундамента Сибирской платформы, охватывающая район Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения. Установлено, что в период заложения Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области кристаллический фундамент платформы играл роль цоколя древнего эпиконтинентального бассейна седиментации, в пределах которого происходило захоронение мощных толщ биогенных (водорослевых) осадков. При этом слабо эродированный рельеф поверхности фундамента платформы способствовал возникновению нефтегазоносных продуктивных горизонтов в форме линзовидных залежей и структур притыкания. Характерной чертой Среднеботуобинского месторождения является наличие блоковой тектоники, способствовавшей возникновению покровно-надвиговых структур, а сохранившиеся на кристаллическом фундаменте продукты коры выветривания свидетельствуют о том, что опускание фундамента в районе Предпатомского прогиба было относительно быстрым.

Ключевые слова: нефть, газ, Среднеботуобинское месторождение, продуктивный горизонт, Непско-Ботуобинское поднятие, фундамент, Сибирская платформа.

Акулов Николай Иванович
Валеев Рушан Рушанович



akulov@crust.irk.ru
rushan-ap@rambler.ru

Old topography of the Siberian platform basement and its influence on the formation of oil-gas condensate fields

N.I.AKULOV, R.R.VALEEV (Federal State-Financed Scientific Institution Institute of the Earth's Crust of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (IEC SB RAS))

The paper presents the structural map of the Siberian platform crystalline basement surface that covers the Srednebotuobiya oil-and-gas field. This allowed to establish the fact that at the initial stage of the Nepa-Botuobiya petroleum province the platform crystalline basement served as a socle for the ancient epicontinental sedimentation basin where the thick strata of biogenic (algal) sediments were buried. The weakly eroded relief of the platform foundation surface promoted occurrence of the oil-and-gas productive horizons in the form of lens and stitching structures. The Srednebotuobiya deposit is characterized by block tectonics, which contributed to the origin of tectonically screened structures, and the crust of weathering products preserved in the crystalline basement suggest a relatively rapid subsidence of basement within the Predpatom trough.

Key words: oil, gas, Srednebotuobiya field, productive horizon, Nepa-Botuobiya uplift, basement, Siberian platform.

Среднеботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) открыто А.К.Бобровым и его коллегами в 1970 г. Оно расположено на северо-восточном склоне Непско-Ботуобинского поднятия в пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной провинции в 112 км юго-западнее г. Мирный (рис. 1).

Нефтегазоносным является преимущественно вендский терригенный комплекс осадочного чехла Сибирской платформы. Скопления нефти и газа приурочены к пластам разноразмерных песчаников и алевролитов. Основные нефтегазоконденсатные залежи вскрыты на глубине 1427–1950 м (осинский и ботуобинский гори-

зонты). Местами они приурочены к улаханскому и таллахскому горизонтам.

В период с 2008 по 2009 гг. на 12 скважинах было проведено бурение боковых горизонтальных стволов в пределах ботуобинского горизонта, которые значительно усилили приток нефти. К настоящему времени в центральной части месторождения пробурено 218 скважин, из которых 61 законсервирована. Большинство из законсервированных скважин готовы к эксплуатации.

В промышленную эксплуатацию НГКМ запущено в 2013 г. Транспортировка нефти осуществляется по собственному нефтепроводу протяженностью 169 км,

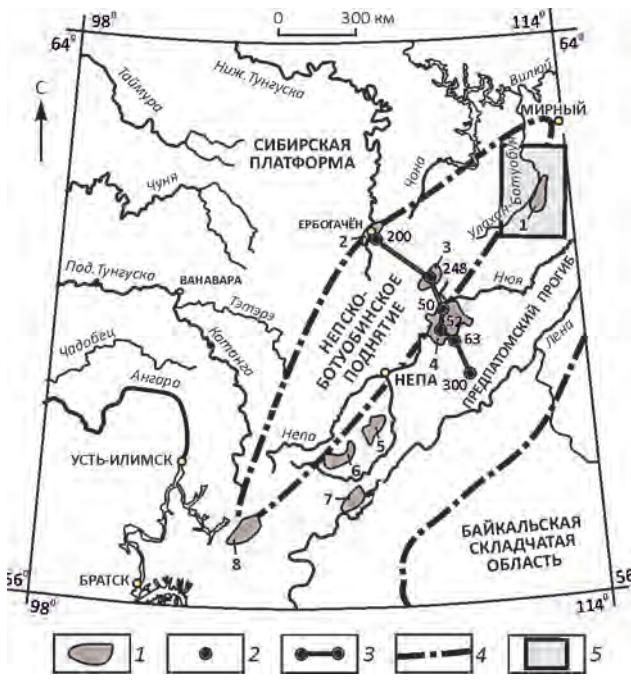


Рис. 1. Местоположение Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения на территории рассматриваемого региона:

1 – нефтегазоконденсатные месторождения (1 – Среднеботуобинское, 2 – Ербогаченское, 3 – Могдинское, 4 – Верхнечонское, 5 – Дулисьминское, 6 – Ярактинское, 7 – Марковское, 8 – Верхнечитортминское); 2 – скважина и ее номер; 3 – профиль буровых скважин; 4 – границы тектонических структур; 5 – площадь детальных исследований

затем нефть поступает в трубопроводную систему «Восточная Сибирь–Тихий океан».

Ранее построенные сейсмические модели строения терригенных отложений по центральным районам Непско-Ботуобинской антеклизы, в том числе и проходящие через Среднеботуобинское НГКМ, способствовали выявлению продуктивных пластов [1, 10, 12, 15 и др.]. Тем не менее, они не позволили выявить какие-либо закономерности в распространении нефтегазоносных горизонтов. Не было определено их реальное местоположение. Не были исследованы характерные особенности строения продуктивных горизонтов. До сих пор остается неизученным один из самых интересных и важных вопросов геологии данного региона – вопрос о связи продуктивных горизонтов с поверхностью кристаллического фундамента платформы.

Цель настоящей статьи – попытаться выявить какое влияние оказал палеорельеф фундамента южной части Сибирской платформы на формирование нефтегазоносных пластов исследуемого региона.

Материалы и методы исследований. В основу статьи положен фактический материал, полученный в

процессе проведения полевых работ на Среднеботуобинском НГКМ в период 2014–2017 гг. Благодаря научному сотрудничеству с геологами–недропользователями получен литологический материал по 26 скважинам глубокого бурения. Детальному минералого-петрографическому изучению была подвергнута опорная скважина RX 85, на которой выполнен отбор керна и шламового материала. На различные виды анализов было отобрано около тысячи проб. *Фильтрационно-ёмкостные свойства* получены путем анализа результатов геофизических исследований в скважинах, выполненных компанией ООО «ТНГ-Ижгеофизсервис», а также в результате изучения керна материала компанией ООО «Тюменский нефтяной научный центр». Бурение скважин проведено АО «Нижневартовскбурнефть» и ИФ ООО «РН-Бурение».

Результаты и обсуждение. Анализ материалов бурения глубоких поисковых скважин, а также данных, полученных в процессе изучения поверхности кристаллического фундамента с помощью вертикального сейсмического профилирования и гравиразведки, показал, что погребенный рельеф платформенного фундамента в районе Среднеботуобинского НГКМ расположен на глубине от 1,5 до 1,9 км. Его поверхность представляет собой пологоволнистый склон, направленный к востоку от Непско-Ботуобинского поднятия в сторону Байкальской горной области (рисунки 2 и 3). В зоне Предпатомского прогиба глубина погружения фундамента увеличивается от 2,1 до 3,1 км.

В 1986 г. на Четвертом Межведомственном стратиграфическом совещании была принята стратиграфическая схема исследуемых отложений для данного региона, а в 1988 г. она была утверждена Межведомственным стратиграфическим комитетом (МСК). Этой схемы придерживаются и авторы данной публикации [3]. Вендские отложения непской свиты и ее стратиграфических аналогов в пределах Предпатомского прогиба – курсовской и бюкской, вмещают основные запасы нефти и газа. Нефтегазоконденсатные скопления приурочены к поверхности фундамента и образуют ботуобинский продуктивный горизонт. Контур его развития и является границей Среднеботуобинского НГКМ, протяженность которого около 100 км, ширина до 32 км, а мощность до 38 м.

Как известно, в интервале между поздним кембрием и ранним силуром произошла коллизия Сибирского континента с Северо-Китайским, что привело к образованию основных складчатых деформаций в рифейских отложениях Байкало-Патомской зоны [15]. В эоцене они были активизированы за счет столкновения Евразийской плиты с Индостанским континентом. Катаклизмы сопровождалась надвигом Байкальских горных сооружений на осадочный чехол платформы и обусловили формирование Предбайкало-Патомского надвигового пояса [16]. Образование этого пояса сопровождалось деформацией осадочного чехла, активизацией соляной

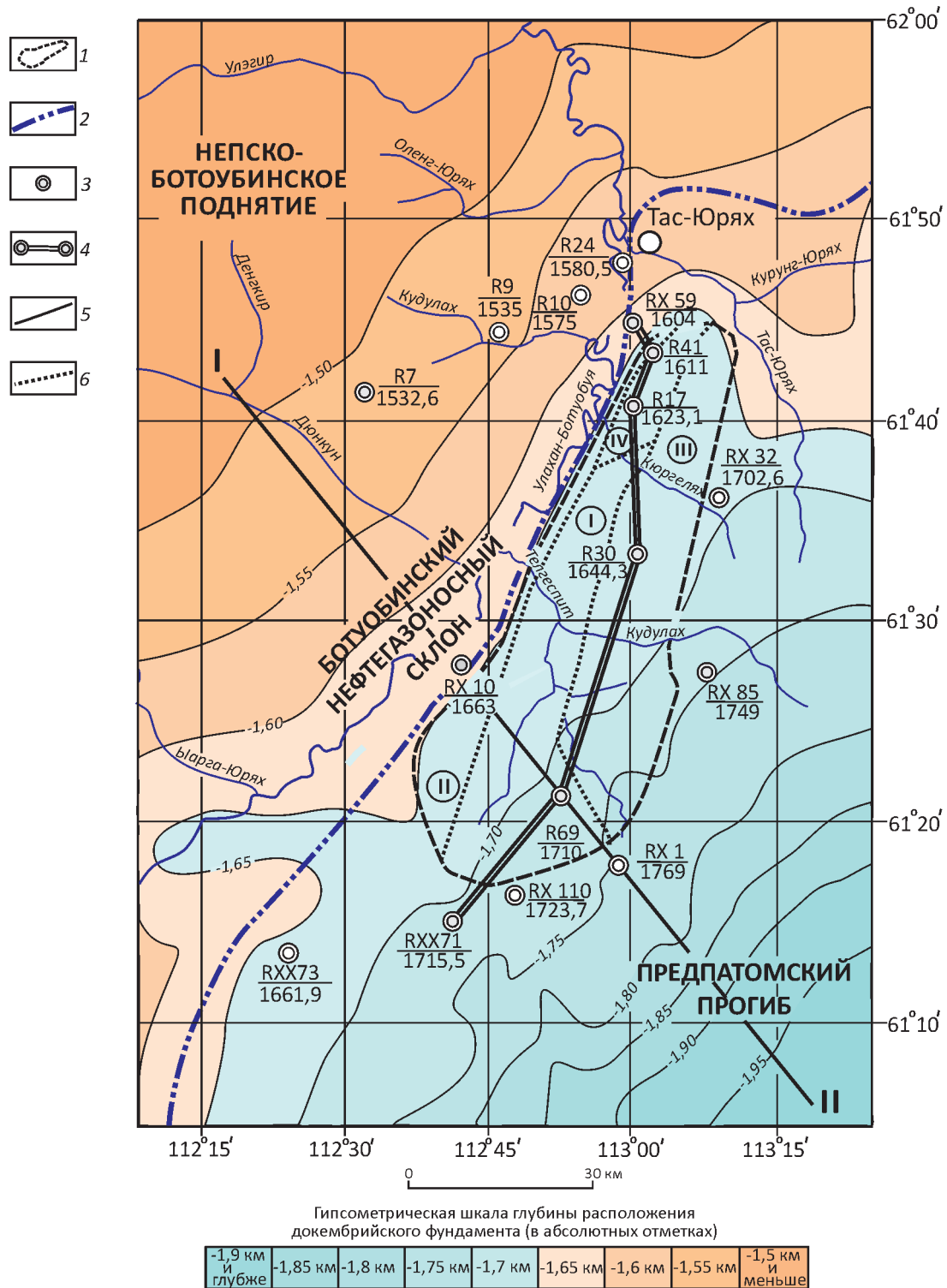


Рис. 2. Структурная карта по поверхности кристаллического фундамента Сибирской платформы в районе Среднеботуобинского НГКМ. Составители Н.И.Акулов и Р.Р.Валеев:

1 – контур Среднеботуобинского НГКМ; 2 – граница распространения Лено-Тунгусской нефтегазовой провинции; 3 – скважина и ее номер; 4 – профиль буровых скважин; 5 – изогипсы поверхности докембрийского кристаллического фундамента платформы (в километрах); 6 – границы тектонических блоков: I – Центральный, II – Западный, III – Восточный, IV – Северный; I-II – разрез по линии (см. рис. 3)

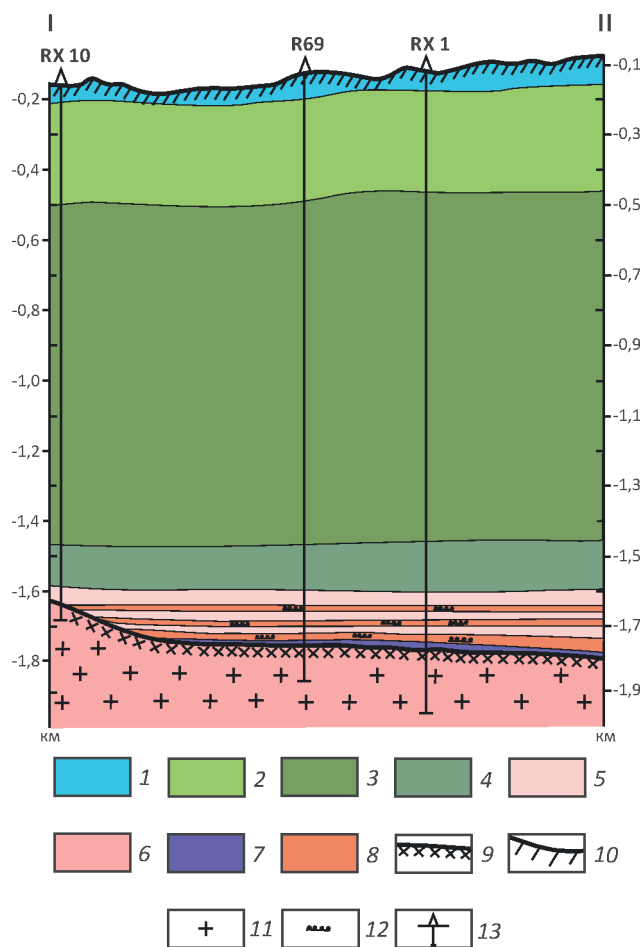


Рис. 3. Поперечный профиль нефтеносного склона кристаллического фундамента платформы:

1–6 – отложения: 1 – юрские, 2 – палеозойские (надсолевой комплекс), 3 – палеозойские (солевой комплекс), 4 – палеозойские (подсолевой комплекс), 5 – вендские, 6 – архейские; 7 – водоносный и 8 – нефтеносный горизонты; поверхность: 9 – фундамента, 10 – дневная; 11 – породы кристаллического фундамента; 12 – слоистые песчаники барового типа; 13 – скважина, ее номер и глубина фундамента

тектоники и внутрипластовой миграцией углеводородов, приведшей к формированию продуктивных нефтегазоносных горизонтов. Ярким примером проявления соляной тектоники на юге Сибирской платформы являются Жигаловский вал и Зона Непских складок [2, 14], а миграции углеводородных флюидов – возникновение Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области [8].

Анализ керна и шламового материала из скважин RX 85, RX 15, RX 61 и RX 21 показал, что накопление терригенных осадков, начавшееся в венде, синхронно образованию Предпатомского прогиба. Отмечено, что на продуктах коры химического выветривания, залегающих *in situ* на поверхности кристаллического

фундамента платформы, лежат дресвянистые и щебнисто-дресвянистые песчаники. Это серые массивные грубозернистые олигомиктовые породы, в составе которых господствует кварц. Выше по разрезу они переходят в разнозернистые серовато-коричневые и коричневые кварцевые песчаники. Вероятно, погружение фундамента древней платформы сопровождалось обширной ингрессией водных масс, которая привела к образованию пресноводного эпиконтинентального водоема.

Синхронно возникновению Предпатомского прогиба произошло образование Непско-Ботуобинского поднятия, которое ограничило ингрессию вод в западном направлении платформы. Вдоль береговой зоны древнего бассейна седиментации сформировались песчаные пласты притыкания к фундаменту платформы. Толщина пластов увеличивается при продвижении от поднятия к восточной стороне прогиба, а песчаники постепенно замещаются алевролитами и аргиллитами. По мере расширения и углубления бассейна седиментации изменяется и гранулометрический состав терригенных осадков, перекрывающих продуктивные горизонты. Он становится тонкодисперсным и пелитоморфным, а затем хемогенным, состоящим из доломитов, известняков, солей, ангидритов и других пород. В связи с этим кровля у продуктивных пластов обладает плохими коллекторскими свойствами и выступает в роли флюидоупора, экранирующего продвижение углеводородных флюидов, и способствует их концентрации в виде нефтегазовых залежей.

Надвиговый пояс оказал огромное влияние на породы, слагающие Предпатомский прогиб. Его тангенциальное давление на весь осадочный комплекс способствовало латеральной миграции углеводородных флюидов и их аккумуляции в стратифицированных ловушках (песчаные пласты притыкания к фундаменту). В настоящее время внутрипластовое давление в продуктивных пластах на Среднеботуобинском НГКМ составляет 133 атм. Начальное внутрипластовое давление составляло 140,1 атм, что является аномально низким для залежей, находящихся на данных глубинах. На пути внутрипластовой миграции углеводородов оказался восточный склон Непско-Ботуобинского сводового поднятия. Поднятие приурочено к южной окраине крупного Маганского террейна [11]. Оно входит в состав кристаллического фундамента Сибирской платформы и простирается в северо-восточном направлении на расстоянии около 2 тыс. км (см. рис. 1). Медленное опускание Предпатомского блока Маганского террейна в обстановке стабильного растяжения пассивной окраины Сибирской платформы привело к возникновению Предпатомского прогиба (бассейна седиментации). Произошла перестройка речных русел и их ориентации в сторону нового бассейна седиментации. Атмосферные осадки и речные воды обусловили создание внутриплитного пресноводного водоема, вдоль западного побережья которого простирался обширный

песчаный пляж (см. рис. 2) [3]. На это указывает вещественный состав терригенного комплекса пород, залегающих на кристаллическом фундаменте, полное отсутствие хемогенных отложений и наличие многочисленных отпечатков пресноводных водорослей.

Следует отметить, что по данным В.В.Хоментовского и его коллег [5], а также В.В.Судаковой с соавторами [17] к востоку от Предпатомского прогиба располагался Байкало-Патомский мегабассейн, охватывавший всё Патомское нагорье и Байкальскую горную область, который существовал в обстановке пассивной континентальной окраины в системе стабильного растяжения, начиная с рифея и вплоть до раннего кембрия. По мнению авторов работ [5,17], это способствовало реализации потенциала нефтематеринских толщ всего рифея, венда и нижнего раннего кембрия. В результате чего к началу кембрийского периода здесь сформировались богатейшие нефтематеринские толщи.

Авторам импонируют и данные, полученные А.И.Ивановым [9], о том, что формирование Байкало-Патомской области началось в рифее–позднем палеозое в условиях последовательной смены палеотектонических режимов от окраинно-континентального осадконакопления (ранний рифей–венд) до коллизионных процессов (поздний кембрий–ранний силур), что предопределило возникновение золотоносной металлогенической провинции.

Коллизионные процессы, начавшиеся в позднем кембрии, привели к слиянию Предпатомского пресноводного бассейна с соленосным Байкало-Патомским морем, что обусловило широкое развитие и в акватории Предпатомского бассейна хемогенных отложений, бронирующих нефтегазоносные продуктивные горизонты.

Широкое развитие в Предпатомском пресноводном бассейне различных видов вендских водорослей свидетельствует о том, что средняя глубина эпиконтинентального водоема не превышала 30 м. По сведениям К.Х.Манна [18], самая высокая плотность произрастания сине-зеленых водорослей обычно расположена на глубинах от 10 до 25 м. Это определяется наличием света, проходящего через толщу воды, необходимого для нормального фотосинтеза.

На схематическом геологическом разрезе (см. рис. 3) показано, что кристаллический фундамент Сибирской платформы на Среднеботуобинском НГКМ представлял цоколь древнего Предпатомского бассейна седиментации, который контролировал его развитие до тех пор, пока верхнекембрийские осадки древнего бассейна седиментации не перекрыли Непско-Ботуобинское сводовое поднятие, после чего осадконакопление охватило почти всю Сибирскую платформу.

Пологонаклонный рельеф дна мелководного Предпатомского палеобассейна способствовал накоплению песчаных отложений, на которых произрастали вендские и раннекембрийские водоросли. Это обусловило аккумуляцию огромной массы терригенно-органоген-

ных отложений, которые впоследствии были перекрыты пелитоморфными и хемогенными породами. В процессе коллизионного тектогенеза Предпатомский палеобассейн подвергся многочисленным дизъюнктивным нарушениям, сопровождавшимся образованием гигантских чешуйчато-надвиговых структур.

Возникновение Непско-Ботуобинского поднятия произошло вдоль протяженных долгоживущих разломов, которые также осложнены второстепенными разломами. Тектонические нарушения оконтуривают Среднеботуобинское НГКМ, на котором субмеридиональными глубинными разломами обособлено четыре крупных тектонических блока – Западный, Северный, Центральный и Восточный (см. рис. 2).

В период 1976–1987 гг. для усиления нефтепритока на территории месторождения проведено 6 ядерных взрывов мощностью до 15 кт и 1 взрыв мощностью 3,2 кт для создания подземного нефтехранилища [7, 13]. Эти взрывы вызвали повышенную трещиноватость продуктивных горизонтов и усилили нефтеприток. Наибольшее разрушение вмещающих пород произвели два самых мощных и глубоких (до 576 м) взрыва «Кратон-3» и «Кратон-4» [4].

В процессе проведения буровых работ было выявлено, что почти всюду на поверхности кристаллического фундамента залегают каолиновая кора выветривания, толщина которой достигает 4 м. Она не входит в состав ботуобинского нефтегазоносного горизонта. В скважинах RXX71, R69 и R99 на коре выветривания залегают гравелисто-дресвяные песчаники с включением редких галек кварцитов, а в скважине 300 на размытой поверхности фундамента залегают мелкогалечные конгломераты (рисунки 4–5). Каолиновый состав глин из аргиллитовой пачки, залегающей в основании ботуобинского горизонта, свидетельствует о том, что они сформировались в процессе частичного размыва и переотложения коры выветривания. В кровле ботуобинского горизонта залегают пачка (17–20 м) доломитов с прослоями ангидритов, ангидрито-доломитов и доломитизированных аргиллитов, бронирующих НГКМ.

Подводя итог вышесказанному, следует констатировать, что в ордовикский период вся южная окраина Сибирской платформы была охвачена каледонским тектогенезом. Интенсивное сжатие активно проявилось и в Предпатомском прогибе. Складчато-надвиговые процессы сопровождались широким развитием сдвиговых деформаций, что привело к преобразованию органических веществ, накопившихся в составе отложений венда и кембрия, в углеводородные флюиды. Пачки верхнекембрийских аргиллитов, доломитов и солей, перекрывших нефтегазоносные коллекторы, способствовали экранированию восходящих потоков флюидов и содействовали их латеральной миграции.

С ботуобинским нефтегазоносным горизонтом связано около 90% разведанных запасов нефти и газа. Он состоит из серии линзовидных залежей с элементами

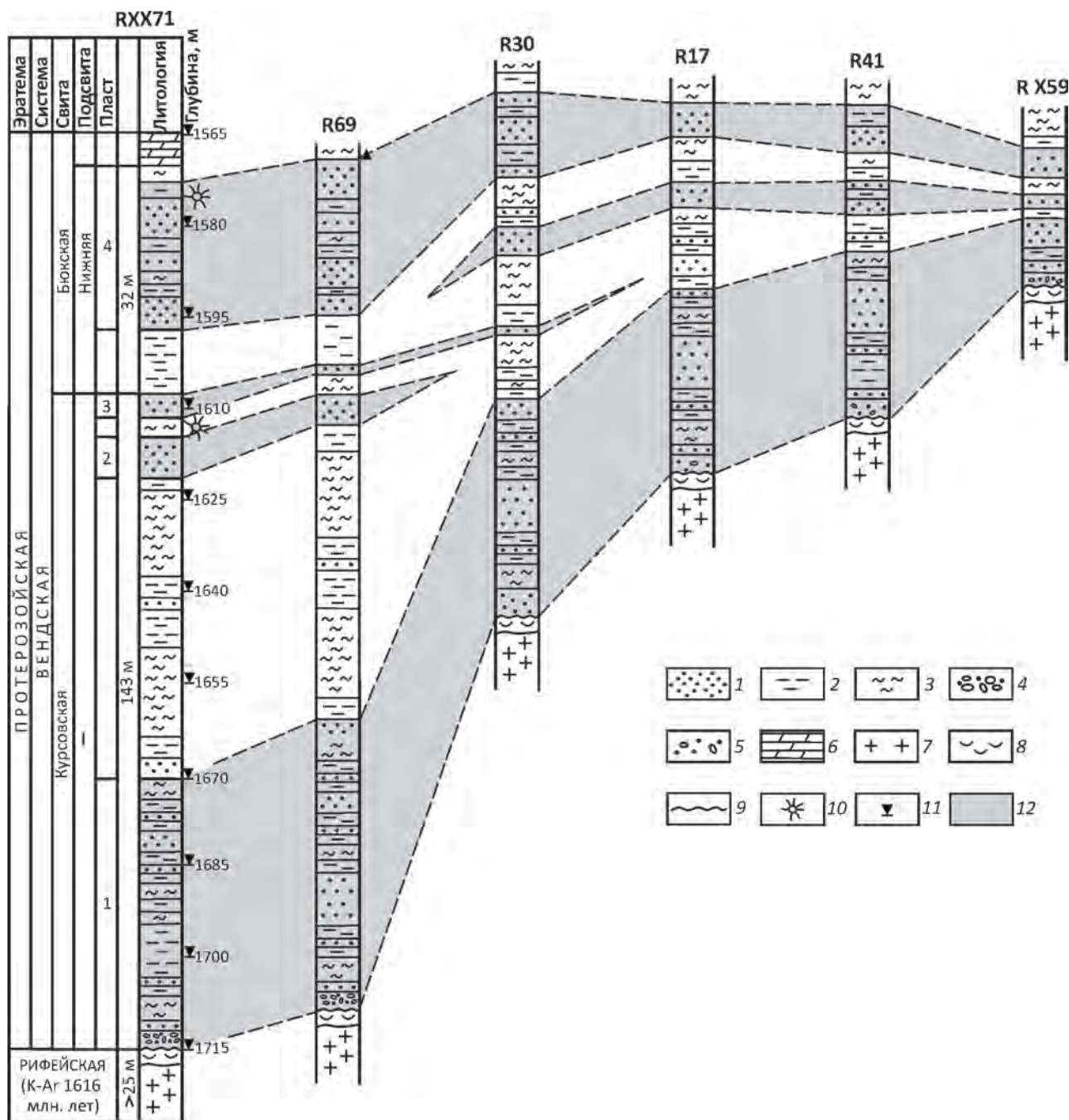


Рис. 4. Геологический разрез по опорным скважинам вдоль простирания Среднеботубинского НГКМ (см. рис. 2):

1 – песчаники; 2 – алевролиты; 3 – аргиллиты; 4 – мелкогалечные конгломераты и гравелиты; 5 – песчаники с «плавающей» галькой; 6 – доломиты; 7 – гранитоиды фундамента Сибирской платформы; 8 – продукты коры выветривания гранитоидов; 9 – граница стратиграфически несогласного залегания пород; 10 – микрофоссилии; 11 – глубина скважины (в м); 12 – нефтегазоносные горизонты; R – опорные скважины глубокого бурения и их номера

тектонического экранирования с проницаемостью до 0,6 мкм². Начальное пластовое давление составляет 14,1 МПа. Глубина залегания кровли основных раз-

веданных залежей изменяется в диапазоне от 1535 до 1578 м, а площадь самой большой продуктивной залежи с коэффициентом песчаности 0,84 равна

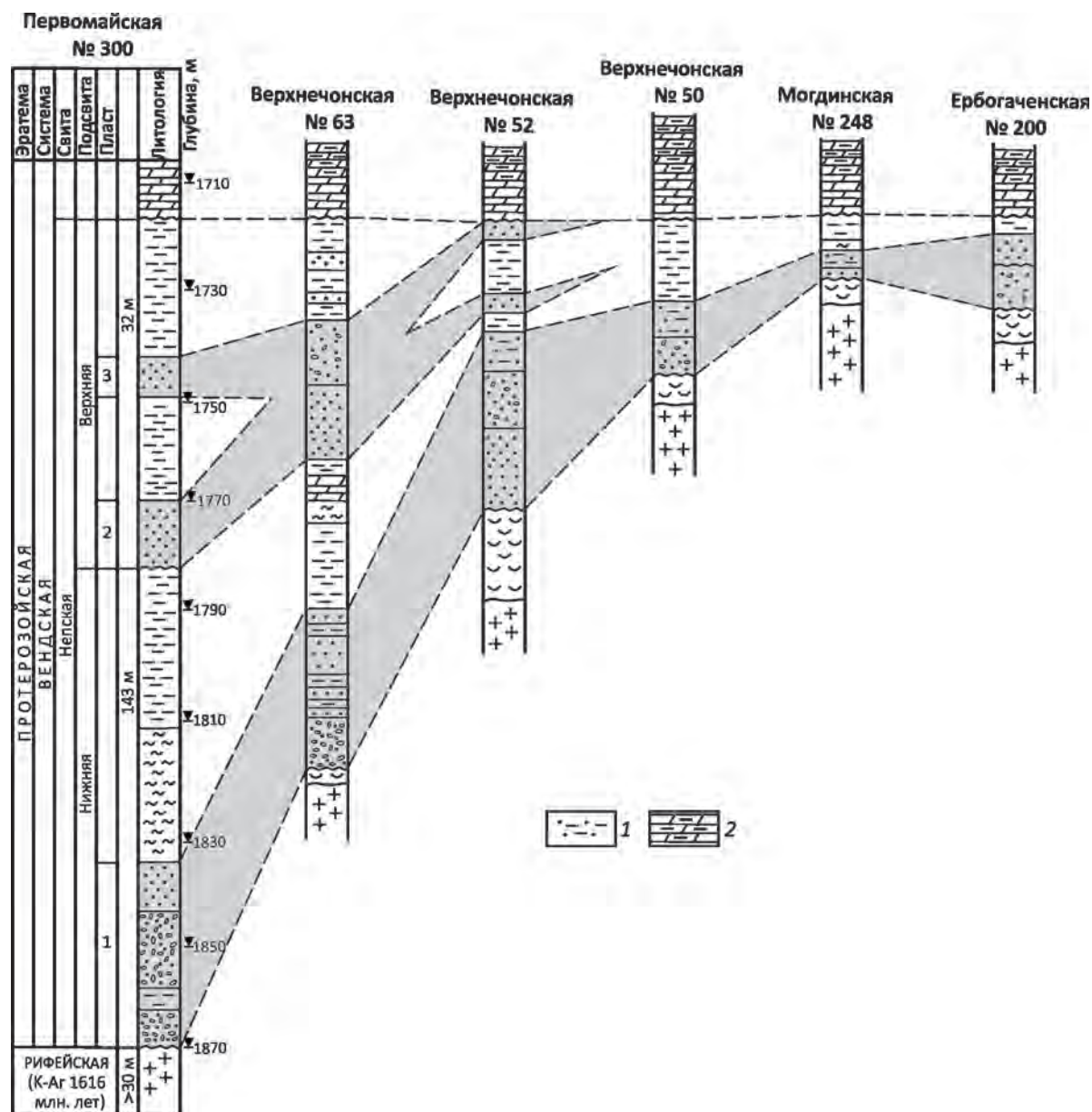


Рис. 5. Геологический разрез по опорным скважинам поперек простираения Непско-Ботубинского поднятия (см. рис. 1):

1 – песчанистые алевролиты; 2 – мергели; остальные условн. обозн. см. на рис. 4

300 км². Средняя мощность нефтенасыщенной пачки 7,8 м, а газонасыщенной – 7,0 м, при этом ее средняя пористость составляет 0,15%.

Залежь осинского горизонта нефтегазовая, пластовая, литологически экранированная. При глубине кровли продуктивного пласта 1427 м, его мощность достигает 4 м. Нефтегазоносный коллектор карбонатный, поэтому пористость у него меньше и составляет 0,13%, с проницаемостью 0,015 мкм², пластовым давлением около 15,6 МПа и температурой около 8°С.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Палеорельеф фундамента южной части Сибирской платформы предопределил условия осадконакопления нефтегазоносных коллекторов. Непско-Ботубинского НГКМ как на стадии их накопления, так и в процессе образования продуктивных пластов.

2. Формирование нефтегазоносных коллекторов происходило в пресноводном эпиконтинентальном бассейне седиментации в пределах Предпатомского

прогиба, цоколем которого служил кристаллический фундамент платформы.

3. Основные нефтегазоносные отложения приурочены к нижней ингрессивной части пласта, сложенной грубозернистым песчаным материалом, способствовавшим аккумуляции органогенного материала, а впоследствии – миграции углеводородных флюидов и возникновению продуктивных горизонтов.

4. Характерная черта Среднеботуобинского месторождения – наличие блоковой тектоники, способствовавшей образованию тектонически экранированных нефтегазоносных структур.

5. Погребенные продукты коры выветривания, залегающей на кристаллическом фундаменте НГКМ, свидетельствуют о быстром опускании фундамента платформы в районе Предпатомского прогиба и об активной ингрессии пресных вод.

Выражаем благодарность Публичному акционерному обществу «Роснефть», а также компаниям ООО «Тюменский нефтяной научный центр», ООО «Ижгеофизсервис» (отделению «ТНГ-Групп»), АО «Нижневартовскбурнефть» и ИФ ООО «РН-Бурение» за добровольное сотрудничество и хорошие партнерские отношения. Большое спасибо докторам геолого-минералогических наук А.И.Мельникову, А.М.Мазукабзову (ИЗК СО РАН) и рецензенту, ознакомившимся с рукописным текстом, и сделавшим ряд конструктивных замечаний, которые были учтены в окончательном варианте статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абросимова О.О., Кулагин С.И., Кос И.М.* Применение сейсмической инверсии при изучении продуктивных отложений терригенного венда в пределах восточной части Мирнинского выступа (Непско-Ботуобинская антеклиз) // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317. № 1. С. 73–77.
2. *Акулов Н.И.* Осадочные бассейны Ангариды. – Новосибирск: ГЕО, 2010.
3. *Акулов Н.И., Валеев Р.Р.* Особенности геологического строения Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения // Известия Иркутского государственного университета. 2016. Т. 18. С. 3–13.
4. *Артамонова С.Ю.* Техногенные радионуклиды в природных водах районов мирных подземных ядерных взрывов «Кратон-3» и «Кратон-4» // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2013. № 5. С. 417–428.
5. *Венд Байкало-Патомского нагорья (Сибирь) / В.В.Хоментовский, А.А.Постников, Г.А.Карлова и др.* // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 4. С. 465–484.
6. *Вдовыкин Г.П.* Итоги применения подземных ядерных взрывов при разработке нефтяных месторождений // Техника и технология. 2010. № 2. С. 63–66.
7. *Геология и нефтегазоносность осадочных бассейнов Восточной Сибири.* – Л.: Недра, 1980.
8. *Дубровин М.А.* Соляная тектоника Верхне-Ленской впадины Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 1979.
9. *Иванов А.И.* Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014.
10. *Каламкаргов Л.В.* Нефтегазоносные провинции и области России и сопредельных стран. – М.: Изд-во «Нефть и газ», 2005.
11. *Миклуленко К.И., Чомчоев А.И., Готовцев С.П.* Геолого-географические условия проведения и последствия подземных ядерных взрывов на территории Республика Саха (Якутия). – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006.
12. *Розен О.М.* Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции // Геотектоника. 2003. № 3. С. 3–21.
13. *Сейсмическая модель строения терригенных отложений венда центральных районов Непско-Ботуобинской антеклизы / В.А.Конторович, С.А.Моисеев, М.Ю.Скузватова, А.С.Следина* // Геология нефти и газа. 2009. № 1. С. 20–25.
14. *Силурийский возраст главных складчатых деформаций рифейских отложений Байкало-Патомской зоны / Ю.А.Зорин, А.М.Мазукабзов, Д.П.Гладкочуб и др.* // Доклады РАН. 2008. Т. 423. № 2. С. 228–233.
15. *Сметанин А.В.* Предбайкало-Патомский надвиговый пояс // Геология нефти и газа. 2000. № 1. С. 14–20.
16. *Смирнова Т.Г.* Глубинное строение Непского свода (по материалам региональных сейсмических зондирований) / Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Иркутск, 1983.
17. *Судакова В.В., Иванчик А.В., Куницына И.В.* Геологическое строение Предпатомского прогиба // Нефтяное хозяйство. 2011. № 4. С. 46–47.
18. *Mann K.H.* Seaweeds: their productivity and strategy for growth // Science. 1973. Vol. 182. Pp. 975–981.