



СИЛУРИЙСКИЙ РИФ ЛЕДЯНСКОГО ПОДНЯТИЯ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РЕЗЕРВУАР УГЛЕВОДОРОДОВ НА СЕВЕРЕ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

И. В. Вараксина

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

Приведены результаты литологического изучения силурийских отложений, вскрытых скважинами в пределах Ледянского поднятия на севере Сибирской платформы. Установлено, что в раннесилурийское время на рассматриваемой территории сформировалась крупная органогенная постройка, соответствующая типичным силурийским рифам стабильного шельфа, стадия образования каркаса которой приурочена к венлоку. В позднем силуре на фоне развития регрессии рифовые образования были перекрыты лагунно-себховыми глинисто-эвапоритовыми отложениями. Показано, что неоднородность строения разреза отразилась на распределении коллекторских свойств. Высокая первичная пористость рифового каркаса способствовала развитию процессов растворения, стилолитизации, трещиноватости и формированию высокочемкого резервуара. Сочетание различных видов пустот обусловило развитие коллектора сложного типа. В качестве флюидоупора выступают соленосно-сульфатные породы верхнего силура – нижнего девона. Вопрос перспектив нефтегазоносности силурийских рифогенных отложений особо актуален ввиду массового развития органогенных построек в венлокское время на Сибирской платформе.

Ключевые слова: Сибирская платформа, силур, риф, карбонатные породы, обстановки осадко-накопления, коллектор.

SILURIAN REEF OF THE LEDYANSK UPLIFT AS A POTENTIAL RESERVOIR OF HYDROCARBONS IN THE NORTH OF THE SIBERIAN PLATFORM

I. V. Varaksina

A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

The results of the lithological study of the Silurian sediments drilled in by wells within the Ledyansk uplift in the north of the Siberian platform are presented. It is found that in the early Silurian time on the territory under consideration a large organogenic buildup corresponding to typical Silurian reefs of a stable shelf was formed, the formation stage of its framework was confined to Wenlock. In Late Silurian, against the background of regression, the reef formations were overlain by lagoon-sebkha clayey-evaporite deposits. It is shown that the heterogeneity of the section affected the distribution of reservoir properties. The high primary porosity of the reef framework contributed to the processes of dissolution, stylolization, fracturing and formation of a high-capacity reservoir. The combination of various voids led to the development of a complex reservoir. The saline-sulfate rocks of the Upper Silurian – Lower Devonian act as a seal. The question of the prospects for the oil and gas potential of the Silurian reef deposits is of particular relevance in view of the wholesale development of organogenic buildups on the Siberian platform in the Wenlock time.

Keywords: Siberian platform, Silurian, reef, carbonate rocks, sedimentary environments, reservoir.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-3-13-22

Одним из главных направлений в энергетической стратегии России является освоение нефтегазовых ресурсов Восточной Сибири. Однако, несмотря на доказанный высокий углеводородный потенциал этого региона, степень разведанности запасов на Сибирской платформе остается крайне низкой. Наиболее слабой геолого-геофизической изученностью характеризуется ее северная часть, ресурсные возможности которой в течение длительного периода оценивались негативно. Тем не менее на сегодняшний день имеются данные, на основе которых многие исследователи стали рассматривать северные территории как весьма перспективные на поиски залежей углеводородов [1, 2, 9 и др.]. Существенный вклад в подтверждение этих перспектив

внесли результаты бурения на Ледянской площади, где впервые были установлены прямые и косвенные признаки продуктивности в рифей-палеозойском разрезе [8, 9]. Одним из потенциально нефтегазоносных интервалов оказался силур, в органогенных доломитах которого были выявлены водоносные горизонты, а многочисленные каверны и трещины насыщены темно-коричневой нефтью, черной мальтой и битумом. Исследования показали, что все нефтедопроявления приурочены к крупной рифогенной постройке. В связи с тем что на Сибирской платформе уже открыты промышленные залежи углеводородов в рифовых комплексах кембрия, выявление новых резервуаров этого типа в палеозойских отложениях представляется актуальной задачей.

Геологическая позиция района исследований и некоторые вопросы стратиграфии

Изученные разрезы расположены на Ледянском куполовидном поднятии [15], которое занимает центральную часть базальтового выступа плато Путорана на западном склоне Анабарской антеклизы (рис. 1). В результате поисково-разведочных работ здесь на субмеридиональном профиле были пробурены две колонковые (Ледянские 2 и 3) и одна параметрическая (Ледянская 358) скважины (см. рис. 1).

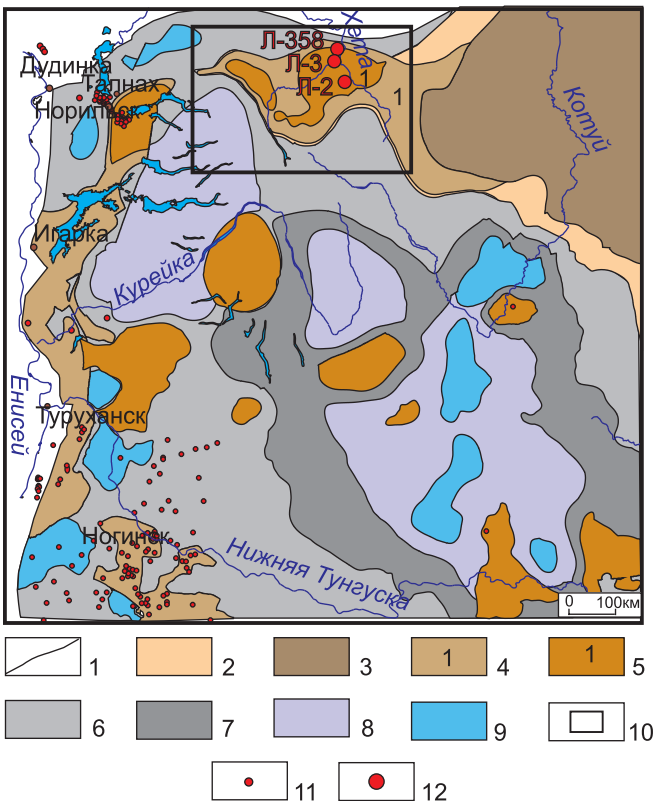


Рис. 1. Фрагмент тектонической карты венд-нижнепалеозойского структурного яруса Сибирской платформы [15]

1 – границы тектонических элементов; 2–5 – положительные структуры: 2 – надпорядковые (Анабарская антеклиза), 3 – 0 порядка (Анабарский мегасвод), 4 – I порядка (1 – Путоранский выступ), 5 – II порядка (1 – Ледянское куполовидное поднятие); 6–9 – отрицательные структуры: 6 – надпорядковые (Курейская синеклиза), 7 – 0 порядка (Туринская мегавпадина), 8 – I порядка, 9 – II порядка; 10 – район исследований; 11–12 – скважины, пробуренные: 11 – на обозначенной территории, 12 – на Ледянском поднятии

В настоящее время есть два варианта стратиграфического расчленения силурийских отложений, вскрытых этими скважинами.

Согласно схеме, разработанной Ю. И. Тесаковым и др. [13, 14], рассматриваемая территория относится к Ледянскому фациальному району; за стратотип принят разрез Ледянской скв. 3 (скв. Л-3), в котором выделено пять свит. Существенный недостаток схемы заключается в том, что она базируется

исключительно на керновом материале, без анализа каротажа, хотя в качестве стратотипической взята колонковая скважина с неполным отбором керна.

В схеме, предложенной специалистами из СНИИГГиМС (Н. В. Мельниковым, Т. В. Лопушинской, Т. А. Дивиной и др.), Ледянское поднятие приурочено к Ледянской литолого-фациальной зоне Мойеронского района, а за стратотип принят разрез Ледянской скв. 358 (скв. Л-358), расчлененный на шесть свит [5]. Этот вариант представляется наиболее убедительным, поскольку разработан специалистами, непосредственно изучавшими данные разрезы и при стратификации учитывавшими не только результаты анализа керна, но и весь комплекс каротажных исследований (ГИС) [9]. В данной работе при расчленении и корреляции разрезов Ледянского поднятия за основу взята схема Н. В. Мельникова и др. [5, 9], в соответствии с которой нижнесилурийские отложения подразделены на мойероканскую, хаастырскую, агидийскую и хакомскую свиты, а в составе верхнего силура выделены янгандинская и холюханская свиты (рис. 2).

Однако положение верхней границы силура в предложенном варианте представляется недостаточно обоснованным. Граница между силуром и девонем на севере Сибирской платформы согласная [11, 14]. Литологически она выражена нечетко, поскольку наблюдается постепенное возрастание роли сульфатов при переходе от силурийских отложений к девонским. Очевидно, что без палеонтологических данных ее установление трудно. Этот рубеж удалось зафиксировать в южном разрезе (скв. Л-2) на глубине 586,3 м по находке девонских табулят *Tiverina vermiculata* Sok. et Tes. (см. рис. 2), ниже которых были обнаружены конодонты, характерные для силура [5, 14]. Анализ каротажных диаграмм и литологического состава позволил достаточно надежно провести верхнюю границу силура в остальных разрезах, где не удалось получить достоверных данных по фауне. В результате расчленения и корреляции возникло противоречие. В схеме Т. А. Дивиной и др. [8] граница, выявленная в разрезе скв. Л-2, соответствует подошве холюханской свиты, завершающей силурийский разрез. Учитывая палеонтологические определения, а также сходство литологического состава и каротажной характеристики холюханской свиты с хребтовской свитой девона Норильского района [5], можно сделать вывод о неправомерности отнесения этой части разреза к силуру, тем более что сами исследователи, описавшие первыми эти разрезы, считали наличие данной свиты в указанном интервале предположительным [8]. В соответствии с этим отложения, которые относились к холюханской свите, должны сопоставляться с низами лохковского яруса девона, и тогда встает вопрос о выделении холюханской свиты в силурийском разрезе исследуемого

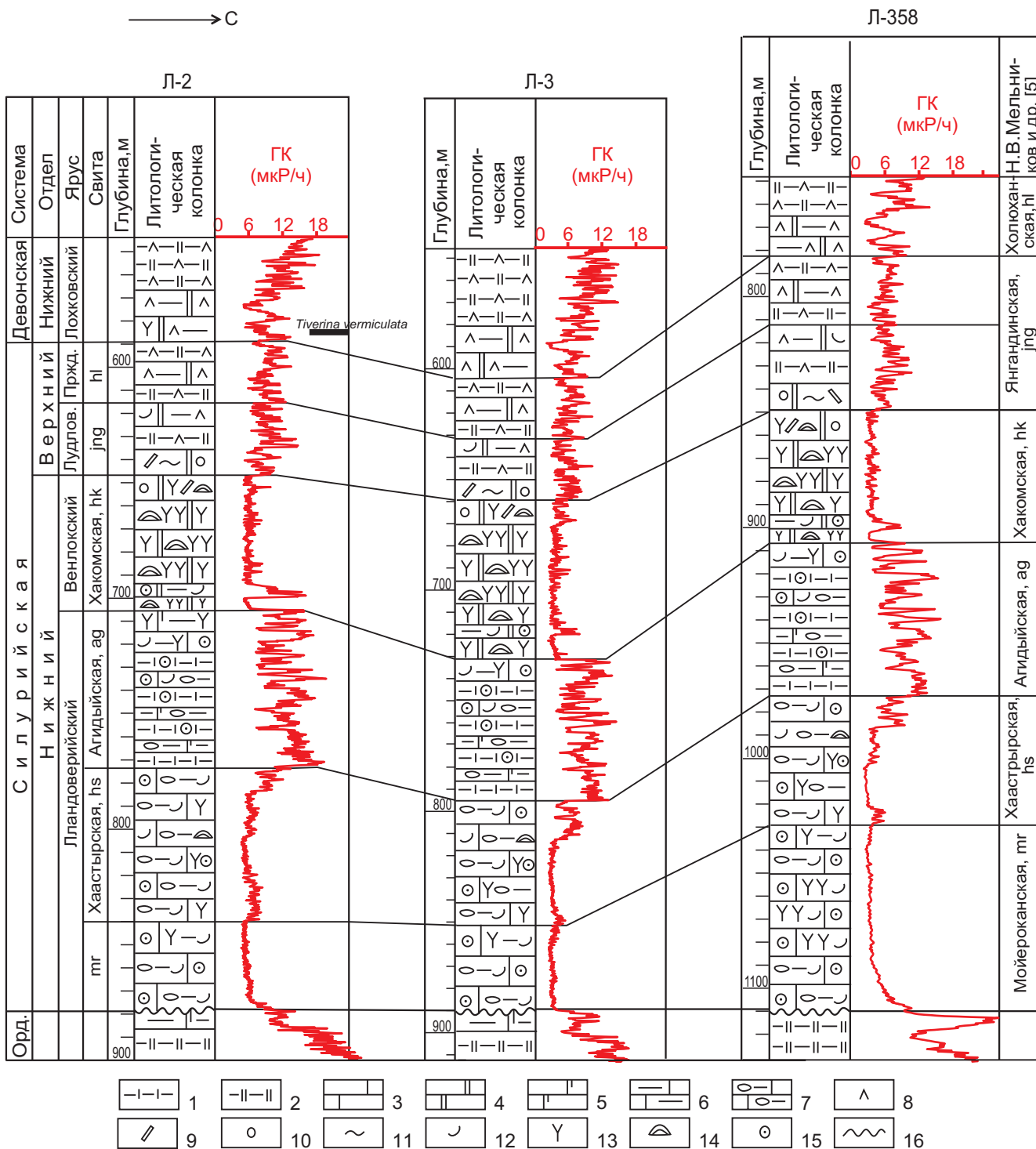


Рис. 2. Расчленение и корреляция разрезов силура Ледянского поднятия

1–2 – аргиллиты: 1 – известковистые (известковые), 2 – доломитистые (доломитовые); 3 – известняки; 4 – доломиты; 5 – известняки доломитовые (доломиты известковые); 6 – известняки глинистые, 7 – глинисто-известковые породы с нодулярной структурой; 8 – ангидриты; 9 – интракласты; 10 – оолиты; 11 – строматолиты; 12 – раковинная фауна; 13 – кораллы; 14 – строматопораты; 15 – криноидеи; 16 – стратиграфический перерыв

района. В стратиграфических схемах рассматриваемая свита соотносится с холюханским региональным горизонтом пржидольского яруса [14]. Но нижняя граница этого горизонта в Ледянском районе фаунистически не подтверждена и проводится условно [5, 14]. В стратотипическом разрезе свита имеет доломито-глинисто-сульфатный

состав, характеризуется пестроцветной окраской и тонкослоистым обликом. Она является переходной от зелено-сероцветных слабосульфатных глинистых доломитов янгадинской свиты к сульфатно-соленосным образованиям девона [8, 13, 14]. Следовательно, пестроцветные породы верхней части силурийского разреза, которые

ранее относились к янгандинской свите, должны, по-видимому, рассматриваться как холюханская свита (см. рис. 2).

Литологическая характеристика силурийского разреза

На севере Сибирской платформы рубеж ордовика и силура отмечен довольно продолжительным субаэральным перерывом [11, 14]. Трансгрессивное залегание нижнего силура на разных горизонтах ордовика в изученных разрезах подтверждает существование этого регионального стратиграфического несогласия. Кроме того, граница размыва четко фиксируется на каротажных диаграммах, где наблюдается резкое понижение значений гамма-активности (ГК) и повышение значений кажущегося сопротивления (КС), а также наведенной гамма-активности (НГК).

Мойероканская свита сложена серыми органогенно-обломочными известняками с многочисленными волнистыми прослоями (от 1 мм до 5 см) более темных известковых аргиллитов. Породы характеризуются специфической текстурой (рис. 3, а, б), для описания которой в отечественной литературе применяют различные термины (узловатая, узловато-слоистая, комковатая, желваковая, петельчатая и т. д.), а в иностранных публикациях наиболее часто используется термин «нодулярная». Известковые пятнисто-линзовидные обособления (нодули) насыщены обломками и целыми раковинами остракод, двустворок, гастропод и брахиопод, а также биокластами криноидей и мелкими колониями кораллов. Фаунистические остатки, содержание которых варьирует от 30 до 80 %, погружены в микрокристаллический известковый матрикс (см. рис. 3, в, г). В северном разрезе в средней части свиты зафиксированы небольшие постройки кораллов, участками окремненные [9]. С развитием на севере коралловых биогермов, по-видимому, связано резкое увеличение мощности свиты от 40 м в скв. Л-2, 3 до 80 м в скв. Л-358.

Хаастырская свита отличается более глинистым составом. Наблюдается переслаивание (от 0,5 до 2,0 м) пачек, в которых преобладают карбонатные породы, аналогичные органогенным и органогенно-обломочным известнякам мойероканской свиты, и пачек с примерно равным содержанием глинистого и карбонатного материала. На глинисто-карбонатных интервалах очень хорошо выражены нодулярные текстуры. Светло-серые известковые нодули, обособленные в зеленовато-сером известково-глинистом матриксе, содержат примесь органогенного шлама и мелкого детрита (рис. 4, а). Многочисленные фаунистические остатки представлены табулятами, строматопоратами, водорослями, брахиоподами, остракодами и криноидеями. В известняках средней части свиты содержатся колонии кораллов и строматопорат, которые, по-видимому, сформировали небольшие биогермные постройки (см. рис. 4, б). В верхней части роль глинистого материала постепенно возрастает, а в кровле появляются прослои известковистых аргиллитов. Мощность свиты уменьшается с юга на север от 66 до 55–58 м.

Агидыйская свита представлена переслаиванием (от 0,5 до 2,5 м) зеленовато-серых глинистых, в разной степени доломитистых известняков с нодулярными текстурами и темно-зеленых, реже буроватых известковистых аргиллитов. Нодулярные известняки сложены глинисто-карбонатным микроитом с примесью органогенного шлама и мелкого (≤ 1 мм) детрита раковин остракод, брахиопод и криноидей (см. рис. 4, в). Присутствуют прослои (от 1 до 10 см), обогащенные более крупными фаунистическими остатками, среди которых встречаются мелкие колонии кораллов и (реже) строматопорат (см. рис. 4, г, д). Аргиллиты тонко-среднеплитчатые доломито-известковые, прослоями с мелкими нодулями более светлых карбонатных пород. На поверхностях напластования фиксируются многочисленные ходы илоедов. В южном разрезе (скв. Л-2) в средней части свиты отмечен прослой гематити-

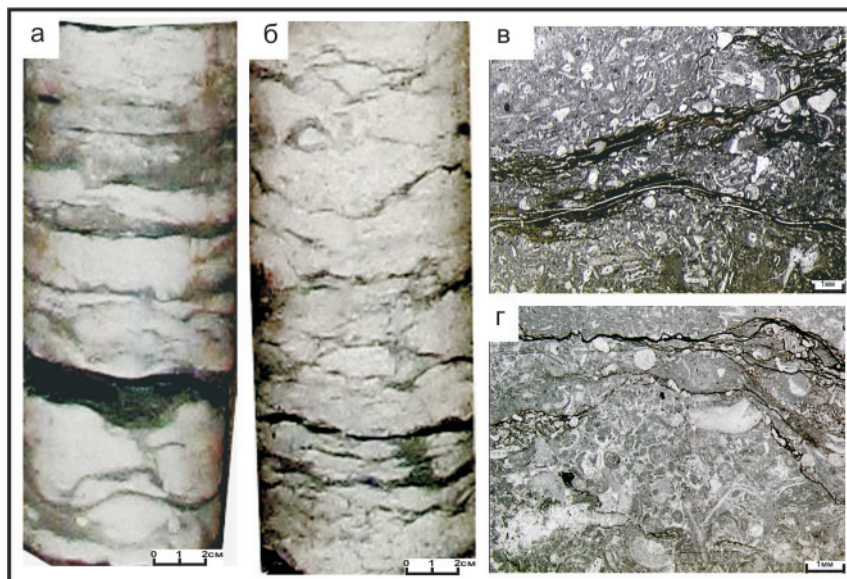


Рис. 3. Известняки мойероканской свиты: а, б – «нодулярная» текстура в известняках; в, г – многочисленные фаунистические остатки в известковых нодулях

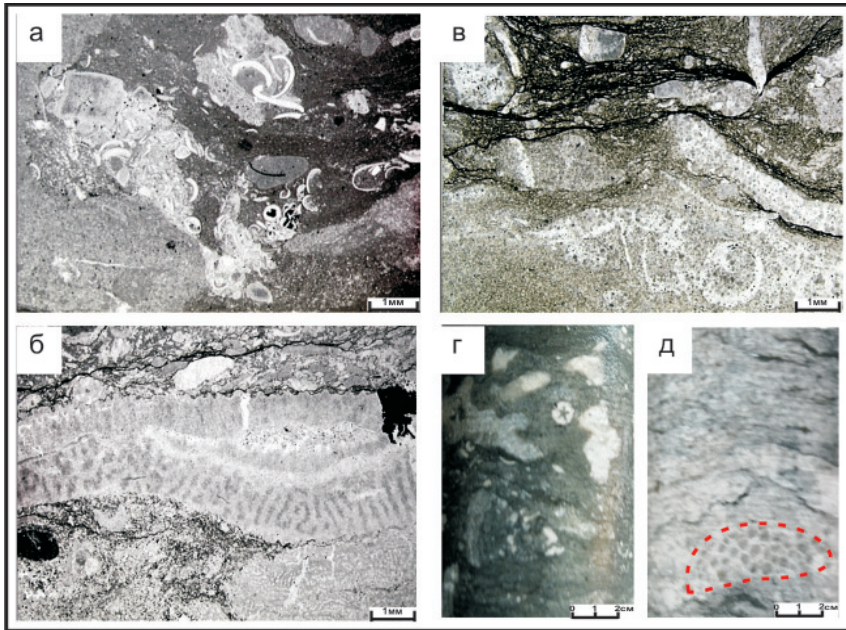


Рис. 4. Глинисто-известковые породы хаастырской (hs) и агидьской (ag) свит: а – скопления мелкого органогенного детрита в глинистом известняке (hs); б – остатки строматопорат, кораллов, криноидей и мелкий раковинный детрит в биогермном известняке (hs); в – нодули, насыщенные фаунистическим детритом в известково-глинистом матриксе (ag); г – обломки строматопорат, кораллов, криноидей и брахиопод в известково-глинистом матриксе (ag); д – обломок кораллового полипняка (пунктир) в детритовом известняке (ag)

зированного гравелита (20 см), в котором средне и хорошо окатанные обломки фауны в «рубашках» из гидроокислов железа сцементированы крупнокристаллическим кальцитом. Свита характеризуется относительно выдержанной мощностью около 65 м.

Хакомская свита сложена серыми доломитами, преимущественно кораллово-строматопоратовыми с прослоями (0,2–0,5 м) органогенно-обломочных и глинистых. В обломочной части присутствуют остатки брахиопод, криноидей, табулят и строматопорат. Вблизи подошвы наблюдается относительно мощный (3–5 м), выдержанный по всей площади прослой глинистых доломитов и доломитовых аргиллитов, часто с нодулярными текстурами. В верхней части свиты появляются прослой

(0,2–0,5 м) оолито-пизолитовых доломитов. Толщина кораллово-строматопоратовых пачек варьирует от 0,5 до 9 м, в среднем 3–5 м. Органогенные породы пористо-кавернозные, с желваковыми выделениями ангидрита, сильно перекристаллизованы и слабо окремнены (рис. 5, в). Окремнение развивается в основном по фаунистическим остаткам (см. рис. 5, б, в). Фиксируются многочисленные стилолиты, выполненные битуминозным веществом и приуроченные к слабоволнистым поверхностям напластования скелетных образований. Мощность свиты на севере и юге около 60 м, а в центральном разрезе достигает 70 м.

Янгадинская свита имеет неоднородное строение. В нижней ее части идет переслаивание (от 0,2

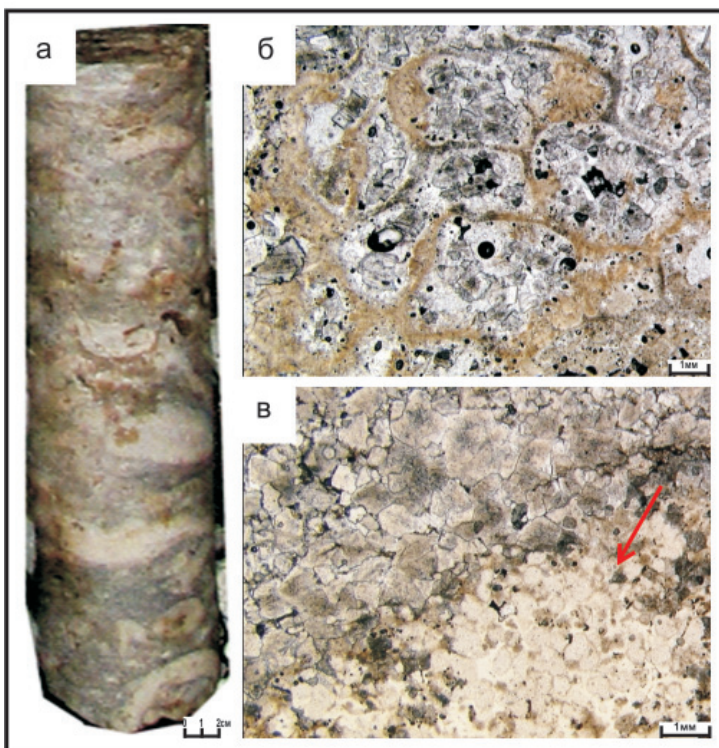


Рис. 5. Рифогенные породы хакомской свиты: а – окремнение каркасообразующих организмов (светлое) в кораллово-строматопоратовых доломитах, пространство между скелетными образованиями заполнено доломитом (темно-серое); б – окремнение септальных перегородок (коричневое) в коралловом полипняке; в – сплошное окремнение ценостеума строматопороидеи (стрелка)

до 0,5 м) доломитов строматолитовых, оолито-интракласто-пизолитовых, интракластических с градиционной и полого наклонной слоистостью и глинистых с ходами илоедов. В доломитах присутствуют остатки остракод, двустворок, гастропод и брахиопод. Повсеместно отмечаются мелкие включения и слойки ангидрита. Вверх по разрезу содержание глинистой и сульфатной составляющих возрастает. Мощность свиты около 30 м, а в северном разрезе она увеличивается до 38 м.

Холюханская свита отличается повышенным содержанием сульфатов. В ее составе выделяются циклы (0,5–1,0 м) с постепенным переходом от доломитов глинистых, ангидритистых тонко-горизонтально-слоистых в основании к глинисто-ангидритовым породам в кровле. Периодически встречаются слойки (до 10 см) красноцветных карбонатно-глинистых пород. Мощность свиты с юга на север возрастает от 25 до 30 м.

Эволюция осадконакопления в силурийском бассейне

Вследствие обширной силурийской трансгрессии на территории Сибирской платформы сформировался крупный эпиконтинентальный бассейн, открытый на северо-западе в сторону океана [13]. В районе Ледянского поднятия в начале лландовери существовала область мелководного карбонатонакопления, где в обстановках относительно ровного морского дна со спокойным гидродинамическим режимом развивались поселения брахиопод, остракод, криноидей и редких мелких табулят. С северо-востока с пологой суши в результате кратковременных колебаний уровня моря периодически поступал глинистый материал, что ограничивало развитие фауны. В результате формировались первоначально неоднородные осадки, которые в процессе диффе-

ренцированного уплотнения приобрели специфический комковатый или нодулярный облик. Эти отложения, соответствующие сублиторальной зоне открытого пологого шельфа, играют основную роль в разрезах южной и центральной частях исследуемого района. Севернее, на более возвышенном участке шельфового склона в мойероканское время сложились условия, благоприятные для роста небольших биогермов табулят (рис. 6).

В ранне- и среднехаастырское время, несмотря на некоторое возрастание глинистой компоненты в осадках, обстановка в целом была стабильной, что способствовало дальнейшему развитию бентосных сообществ и более широкому расселению табулят, которые совместно со строматопороидеями стали формировать мелкие (до 2 м) биогермы.

На позднем этапе формирования хаастырской свиты привнос глинистого материала в бассейн начал увеличиваться, а в агидыйское время на открытом низкоэнергетическом шельфе отлагались преимущественно карбонатно-глинистые илы. На них по-прежнему продолжали селиться брахиоподы, остракоды и криноидеи, но повышенная глинистость среды препятствовала расселению каркасных организмов. Однако периодически с отмелей, на которых развивались строматопорово-коралловые постройки, поступал органично-обломочный материал. Гидродинамический режим в отмельной зоне, расположенной восточнее, был, по-видимому, достаточно активным, судя по наличию окатанных обломков фауны. Присутствие в их цементе окислов железа указывает на близость суши с гумидным климатом.

С венлока начинается регрессивная стадия развития бассейна. Понижение уровня моря привело к повсеместному расселению ругоз, табулят и строматопорат на территории Ледянского поднятия. Эти

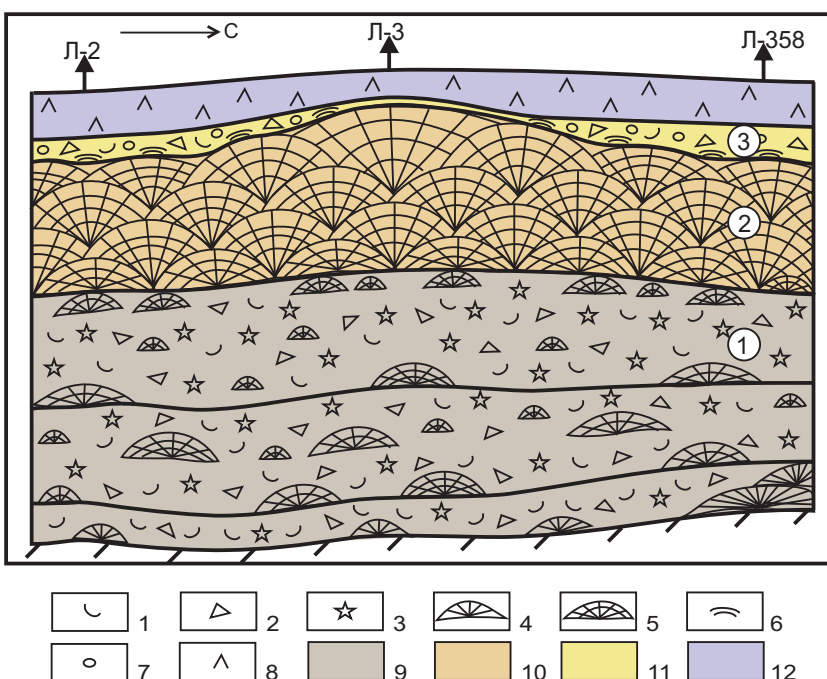


Рис. 6. Схема формирования силурийского рифогенного комплекса

1 – раковинный детрит; 2 – обломки каркасостроителей (кораллов и строматопорат); 3 – остатки криноидей; 4 – постройки из кораллов; 5 – кораллово-строматопоратные постройки; 6 – пластовые строматолиты; 7 – оолиты; 8 – ангидрит; 9–12 – отложения свит: 9 – мойероканской, хаастырской и агидыйской, 10 – хакомской, 11 – янгадинской, 12 – холюханской; цифры в кружках – стадии развития рифогенной постройки

рифостроители на протяжении всего хакомского времени совместно участвовали в создании достаточно крупной органогенной постройки (см. рис. 6), среди обитателей которой были также плеченогие, морские лилии и водоросли. Возникший рифоподобный барьер изолировал часть акватории, в результате чего в прибрежной зоне шельфа возникла лагунная обстановка. Доломитизация рифогенных пород и включения ангидрита указывают на повышенную соленость этой лагуны, что свидетельствует об аридизации климата. К концу венлокского века кораллово-строматопоратовая постройка достигла волнового базиса и прекратила свой рост, что подтверждается появлением обильного био- и интракластического материала и оолито-пизолитовых осадков.

Дальнейшее развитие регрессии в лудлове привело к существенному обмелению всего Тунгусского бассейна и расширению области мелководных прибрежных лагун. В янгадинское время на рассматриваемом участке шельфа стали развиваться цианобактериальные сообщества, которые в условиях относительно спокойного гидродинамического режима образовывали строматолитовые маты. Периодически во время штормов и сильных приливов отлагались оолито-пизолито-интракластические осадки, иногда формирующие штормовые темпеститы. Повышение солености, на что указывает появление прослоев ангидрита, привело к сокращению состава бентосной фауны и преобладанию остракод. Изменение солевого режима отразилось на облике донных организмов, которые стали формировать мелкие и тонкие раковины. К концу лудлова наблюдается практически полное вымирание биоты по мере возрастания роли сульфатных и глинистых осадков.

В пржидоле в обстановках изолированного мелководного осолоненного бассейна продолжали накапливаться глины и эвапориты. Крайне редкие биогенные остатки, представленные цианобактериальными комками, остракодами, брахиоподами и табулятами, попадали в него, вероятно, во время сильных приливов и штормов. Мелкомасштабные тонкослоистые доломит-глинисто-ангидритовые циклы обмеления, присутствие брекчированных и красноцветных прослоев в составе холюханской свиты свидетельствуют о доминировании литорально-супралиторальных условий. Таким образом, познесилурийская регрессия в области Ледянского поднятия завершается образованием эвапоритовых себх.

Проведенный седиментологический анализ позволил установить фациальный ряд, характеризующий смену обстановок в силурийском бассейне плато Путорана (см. рис. 6). Распределение фаций показало, что сформированная здесь органогенная постройка соответствует типичным силурийским рифам стабильного шельфа, в развитии которых выделяются три стадии (по [16]): 1) накопление глинистых преимущественно криноидных известняков с незначительным количеством табулят и строматопороидей, 2) расцвет рифовой фауны и формирова-

ние каркаса, 3) достижение базиса действия волн и прекращение роста.

Коллекторские свойства силурийских пород

Неоднородность строения силурийского разреза отразилась на распределении значений пористости и проницаемости.

Мойероканская свита нижнего силура, несмотря на преимущественно известковый состав, в целом характеризуется низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС). Пористость не превышает 3 % (в среднем 1–2 %), проницаемость не более $0,1 \cdot 10^{-3}$ мкм² (в среднем около $0,01 \cdot 10^{-3}$ мкм²). Это обусловлено тем, что первичные коллекторские свойства фаций ровного морского дна со спокойной гидродинамикой, которые широко развиты на этом стратиграфическом уровне, были невысокими из-за обилия глинисто-известкового микрита. Более высокие значения (пористость 3–5 %, проницаемость до $100 \cdot 10^{-3}$ мкм²) отмечаются в биогермных фациях северного разреза. Однако их ассоциация с плохо проницаемыми отложениями не позволяет рассматривать мойероканскую свиту в качестве коллектора.

ФЕС *хаастырской свиты* также невысокие: пористость не превышает 1–2 % (в среднем около 0,1 %), проницаемость варьирует от 0,01 до $27 \cdot 10^{-3}$ мкм². Существенную роль в фациях мелких поселений бентосных организмов, которыми она представлена, играли тонкозернистые глинисто-карбонатные осадки, что привело к ухудшению первичных коллекторских свойств.

Агидьйская свита, в которой доминируют фации карбонатно-глинистых илов с остракодово-криноидно-брахиоподовыми сообществами, характеризуется еще более глинистым составом, что отражается в крайне низких значениях пористости (≤ 1 %) и проницаемости ($\leq 0,01 \cdot 10^{-3}$ мкм²).

Наилучшие коллекторские свойства наблюдаются в рифогенной кораллово-строматопоратовой постройке, образованной во время накопления *хакомской свиты*. Пустотное пространство представлено кавернами и порами выщелачивания (размером от долей мм до 1–1,5 см), которые развивались по первичным полостям в скелетах колониальных организмов и между ними (рис. 7, а). Поскольку породы сильно преобразованы вторичными процессами, определенный вклад вносят и мелкие (≤ 1 мм) поры, образованные за счет доломитизации и перекристаллизации, часть которых также подверглась последующему выщелачиванию (см. рис. 7, б). Однако, несмотря на наличие многочисленных пор и каверн, значения открытой пористости в рифогенных породах варьируют от 3 до 14 %, что связано с сокращением объема пустот за счет частичного или полного заполнения их более поздней генерацией доломита. Дополнительную емкость создают многочисленные микростилолиты, развивающиеся по плоскостям напластования и выполненные битуминозным веществом (см. рис. 7, в). Наблюдается широкое развитие

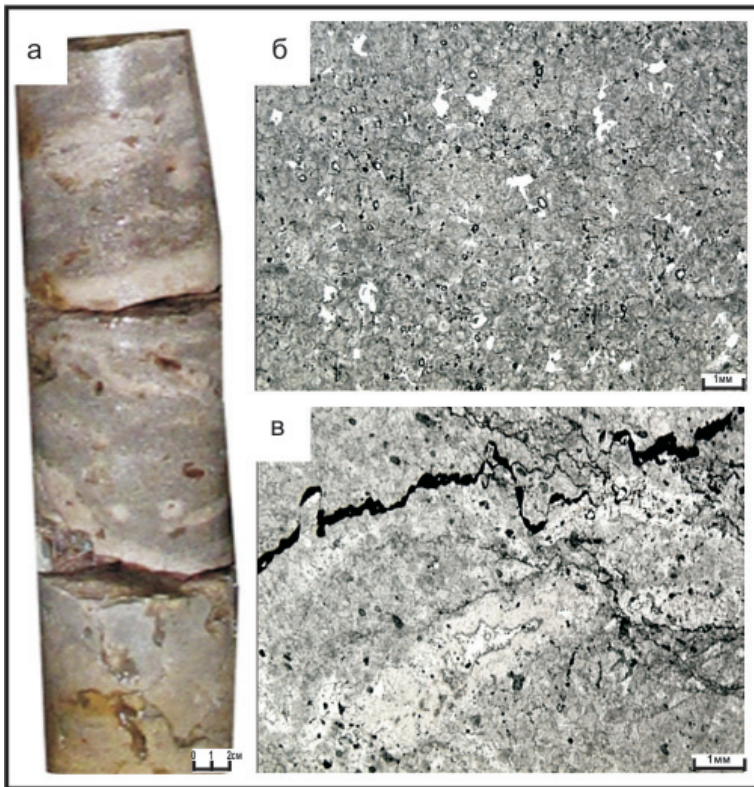


Рис. 7. Пустотное пространство в породах хаккомской свиты: а – крупные поры и каверны в рифогенных кораллово-строматопоратовых доломитах; б – мелкие поры выщелачивания (белое) в перекристаллизованном доломите; в – развитие стилолитов с битуминозным заполнением по поверхностям напластования перекристаллизованных строматопорат

открытых трещин с разной степенью раскрытости, часто с щелевидными расширениями за счет процессов растворения (см. рис. 7, а). Невысокие значения пористости (в среднем около 5 %) и относительно высокая проницаемость (до $1 \cdot 10^{-3}$ мкм² и более, прослоями до $10 \cdot 10^{-3}$, $48 \cdot 10^{-3}$ и $495 \cdot 10^{-3}$ мкм²) позволяют предположить наличие на этом уровне коллектора порово-каверново-трещинного типа.

В *янгандинской свите* отмечается резкое снижение значений пористости и проницаемости. Накопление фаций тыловой части рифогенной постройки происходило в относительно спокойных условиях. Вместе со строматолитовыми и оолито-пизолито-интракластическими осадками, обладающими благоприятной первичной структурой пустотного пространства, здесь отлагались карбонатно-глинистые микриты, первичные ФЕС которых крайне низкие. Отрицательную роль в формировании коллекторских свойств сыграло также развитие ангидрита. Поры в оолито-пизолито-интракластических доломитах, образованные, вероятно, в результате унаследованного выщелачивания первичных межзерновых пустот, как правило, заполнены вторичным доломитом или ангидритом, что существенно снижает значения ФЕС (пористость 1–2 %, проницаемость около $0,01 \cdot 10^{-3}$ мкм²).

Лагунные фации *холуханской свиты* обладают очень плохими коллекторскими свойствами из-за повышенного содержания сульфатов и вместе с вышележащими соленосными отложениями девона могут выступать в качестве флюидоупоров.

Выводы

Проведенные исследования позволили установить, что в районе Ледянского поднятия в силуре

существовала область мелководного карбонатнакопления с поселениями различных бентосных организмов. В раннесилурийский период постепенно возрастала роль таких каркасостроителей, как кораллы и строматопораты, которые в венлокское время сформировали на этой территории рифовый массив.

Анализ связи ФЕС с фациями показал, что седиментационный фактор сыграл решающую роль в формировании коллекторов. Высокая первичная пористость и неоднородность рифового каркаса способствовали развитию процессов растворения, стилолитизации и трещиноватости. Сочетание различных видов пустот обусловило развитие коллектора сложного типа.

Согласно опубликованным данным, область развития органогенных построек в силуре протягивалась по всей краевой зоне, окаймляющей центральный прогиб Восточно-Сибирского бассейна [12, 14]. Несмотря на то что биостромно-биогермные комплексы, описанные на Сибирской платформе, распределены неравномерно, формируя отдельные массивы разной мощности, а не протяженную рифовую систему, область их распространения можно рассматривать как единый рифовый пояс, который представляет собой выдержанный региональный резервуар в венлокском ярусе. Доказательством потенциальной продуктивности рифогенных фаций является наличие в изученных разрезах на этом уровне водоносного горизонта и насыщенность пород нефтяными углеводородами различной степени преобразованности [4, 5, 7, 8, 10]. Остатки разрушенных залежей нефти также вскрыты в кораллово-строматопоратовых доломитах венлока на южной окраине

бассейна (Сухотунгусская, Горная, Сигово-Подкаменная площадь бурения) [3]. Покрышка этого резервуара сложена соленосно-сульфатными породами верхнего силура – нижнего девона. В качестве нефтематеринской можно рассматривать черносланцевую толщу в основании силура, сложенную граптолитовыми фациями открытого моря, развитыми на западе. В них наблюдаются повышенные концентрации $C_{орг}$ (от 0,5 до 11,0 %, в среднем 2–3 %), однако степень зрелости органического вещества в изученных разрезах невысокая [7]. Очевидно, что очаги генерации углеводородов могли находиться в более погруженных частях бассейна либо их источником являлись более древние отложения [4].

Таким образом, результаты изучения рифогенной постройки на плато Путорана свидетельствуют о том, что венлокский резервуар, несмотря на недостаточную изученность, является перспективным нефтепоисковым объектом на Сибирской платформе.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ФНИ № 0331–2019–0021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геологические** предпосылки высоких перспектив нефтегазоносности севера Сибирской платформы / В. С. Старосельцев, Т. А. Дивина, Л. А. Кроль, Б. Б. Шишкин // *Геология и геофизика*. – 2017. – № 3–4. – С. 565–571.

2. **Конторович А. Э.** Глобальные проблемы нефти и газа и новая парадигма развития нефтегазового комплекса России // *Наука из первых рук*. – 2016. – Т. 67, № 1. – С. 6–17.

3. **Конторович А. Э., Мельников Н. В., Старосельцев В. С.** Нефтегазоносные провинции и области Сибирской платформы // *Геология и нефтегазоносность Сибирской платформы: сб. науч. тр.* – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1975. – С. 4–21.

4. **Литология**, органическая геохимия и перспективы нефтегазоносности северных районов Курейской синеклизы / И. В. Вараксина, И. Д. Тимошина, А. Э. Конторович, И. В. Тумашов // *Геология и геофизика*. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 572–585.

5. **Литостратиграфия** силура северо-запада Сибирской платформы / Н. В. Мельников, Т. В. Лопушинская, Т. А. Дивина и др. // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*. – 2014. – № 4 (20). – С. 3–17.

6. **Нефтегазоносные** бассейны и регионы Сибири. Вып. 5. Тунгусский бассейн / гл. ред. А. Э. Конторович. – Новосибирск, 1994. – 92 с.

7. **Нефтегазоносные** комплексы севера Лено-Тунгусского бассейна / С. В. Фролов, Е. А. Бакай, Е. Е. Карнюшина и др. // *Геология нефти и газа*. – 2013. – № 3. – С. 63–75

8. **Новые** материалы по стратиграфии докембрия и кембрия северо-востока Тунгусской синеклизы / Т. А. Дивина, Л. И. Егорова, А. А. Салихов и др. // *Геология и геофизика*. – 1996. – Т. 37, № 7. – С. 23–33.

9. **О состоянии** и перспективах ресурсной базы углеводородов, геолого-разведочных работ и лицензировании недр Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) / А. С. Ефимов, А. А. Герт, П. Н. Мельников и др. // *Геология нефти и газа*. – 2012. – № 5. – С. 57–74.

10. **Ордовик** и силур Ледянской площади по данным бурения / Т. А. Дивина, В. С. Старосельцев, Т. В. Лопушинская и др. // *Геология и геофизика*. – 1992. – № 3. – С. 19–27.

11. **Решения** Всесоюзного стратиграфического совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия, палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири. Ч. II. Средний и верхний палеозой. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1982. – 129 с.

12. **Рифогенные** постройки в палеозое России / Л. Н. Большакова, М. Р. Геккер, Р. В. Горюнова и др. – М.: Наука, 1997. – 157 с.

13. **Силур** северо-запада Сибирской платформы / Ю. И. Тесаков, О. Н. Симонов, Е. О. Ковалевская и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2002. – 405 с.

14. **Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Силур Сибирской платформы / Ю. И. Тесаков, Н. Н. Предтеченский, Т. В. Лопушинская и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2000. – 403 с.

15. **Тектоническая** карта венд-нижнепалеозойского структурного яруса Лено-Тунгусской провинции Сибирской платформы / А. Э. Конторович, С. Ю. Беляев, А. А. Конторович и др. // *Геология и геофизика*. – 2009. – Т. 50, № 8. – С. 851–862.

16. **Уилсон Дж. Л.** Карбонатные фации в геологической истории: пер. с англ. – М.: Недра, 1980. – 463 с.

REFERENCES

1. Staroseltsev V.S., Divina T.A., Krol L.A., Shishkin B.B. Geological prerequisites for high oil and gas potential in the northern Siberian platform. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 3–4, pp. 461–466.

2. Kontorovich A.E. [Global problems of oil and gas and a new paradigm for the development of the oil and gas complex of Russia]. *Nauka iz pervykh ruk – Science First Hand*, 2016, vol. 67, no. 1, pp. 6–17. (In Russ.).

3. Kontorovich A.E., Melnikov N.V., Staroseltsev V.S. [Oil and gas provinces and regions of the Siberian platform]. *Geologiya i neftegazonosnost Sibirskoy platformy. Sbornik nauchnykh trudov* [Geology and oil and gas potential of the Siberian platform. Collection of scientific papers]. Novosibirsk, SNIIGGIMS Publ., 1975, pp. 4–21. (In Russ.).

4. Varaksina I.V., Timoshina I.D., Kontorovich A.E., Tumashov I.V. Lithology, organic geochemistry, and petroleum potential of the northern areas of the Kurayka syncline. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 3–4, pp. 467–478.

5. Melnikov N. V., Lopushinskaya T.V., Divina T.A., et al. [Silurian lithostratigraphy in the northwest Sibe-



rian Platform]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2014, no. 4 (20), pp. 3–17. (In Russ.).

6. Kontorovich A.E., ed. *Neftegazonosnye basseyny i regiony Sibiri. Vyp. 5. Tungusskiy basseyn* [Oil and gas basins and regions of Siberia. Issue 5. Tunguska basin]. Novosibirsk, 1994. 92 p. (In Russ.).

7. Frolov S. V., Bakay E.A., Karnyushina E.E., et al. [Oil and gas complexes in the north of the Lena-Tunguska basin]. *Geologiya nefti i gaza*, 2013, no. 3, pp. 63–75. (In Russ.).

8. Divina T.A., Egorova L.I., Salikhov A.A., et al. [New materials on the Precambrian and Cambrian stratigraphy of the northeastern Tunguska syncline]. *Geologiya i geofizika*, 1996, vol. 37, no. 7, pp. 23–33. (In Russ.).

9. Efimov A.S., Gert A.A., Melnikov P.N., et al. [On the state and prospects of the hydrocarbon resource base, geological exploration and licensing of the basins of East Siberia and the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Geologiya nefti i gaza*, 2012, no. 5, pp. 57–74. (In Russ.).

10. Divina T.A., Staroseltsev V.S., Lopushinskaya T.V., et al. [Ordovician and Silurian of the Ledyansk area according to drilling data]. *Geologiya i geofizika*, 1992, no. 3, pp. 19–27. (In Russ.).

11. *Resheniya Vsesoyuznogo stratigraficheskogo soveshchaniya po razrabotke unifikirovannykh stratigraficheskikh skhem dokembriya, paleozoya i chetvertichnoy sistemy Sredney Sibiri. Ch. II. Sredniy i verkhniy pa-*

leozoy [Decisions of the All-Union Stratigraphic Conference on the development of unified stratigraphic charts of the Precambrian, Paleozoic and Quaternary systems of Central Siberia. Part II. Middle and Upper Paleozoic]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1982. 129 p. (In Russ.).

12. Bolchakova L.N., Gekker M.P., Goryunova R.V. *Rifogennye postroyki v paleozoe Rossii* [Reefogenic buildups in Paleozoic of Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1997. 157 p. (In Russ.).

13. Tesakov Yu.I., Simonov O.N., Kovalevskaya E.O., et al. *Silur severo-zapada Sibirskoy platformy* [Silurian of the northwestern Siberian Platform]. Novosibirsk, Geo Publ., 2002. 405 p. (In Russ.).

14. Tesakov Yu.I., Predtechenskiy N.N., Lopushinskaya T.V., et al. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Silur Sibirskoy platformy* [Stratigraphy of petroleum basins of Siberia. Silurian of the Siberian Platform]. Novosibirsk, Geo Publ., 2000. 407 p. (In Russ.).

15. Kontorovich A.E., Belyaev S.Yu., Kontorovich A.A., et al. [Tectonic map of the Vendian–Lower Paleozoic structural stage of the Lena-Tunguska Province, Siberian Platform]. *Russian Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 8, pp. 657–667.

16. Wilson J.L. *Carbonate facies in geologic history*. Springer – Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, 1975. 471 p. (Russ. ed.: Frolov V.T. *Karbonatnye fatsii v geologicheskoy istorii*. Moscow, Nedra Publ., 1980. 463 p.).

© И. В. Варакина, 2020