

УДК 550.8.01. 550.85

## ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ДОЮРСКИХ И ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

Владимир Львович Шустер<sup>1✉</sup>, Ольга Валерьевна Тюкавкина<sup>2</sup>,  
Валентин Васильевич Шелепов<sup>3</sup>, Ирина Леонидовна Капитонова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия; tshuster@mail.ru

<sup>2</sup> Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия; tov.sing@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; shelepov\_s@mail.ru

<sup>4</sup> Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Россия; kapitonova-il@rudn.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы изучения особенностей литолого-петрографического состава и формирования залежей нефти в пределах месторождений Сургутского свода и Фроловской мегавпадины. Отмечено, что формирование залежей осадочного чехла связано с особенностями геологического строения и нефтеносностью пород фундамента. На рассмотренной территории высокий этаж нефтеносности осадочного чехла наблюдается в пределах центральной части Сургутского свода, а отложения доюрской части разреза могут быть дополнительными источниками интенсификации углеводородов в ниже-среднеюрских отложениях. Наличие зон глубинных разломов — поисковый критерий для обнаружения в них вторичных коллекторов как в зонах деструкции, фундаменте, так и в ниже-среднеюрских отложениях, следовательно, месторождения могут формироваться за счет вертикально восходящей миграции глубинных флюидов через разломы, секущие фундамент и горизонты осадочного чехла.

Рассмотрены вопросы перспектив нефтегазоносности ниже-среднеюрских отложений, которые необходимо связывать как с гранитоидными массивами, так и с детальностью выделения условий осадконакопления и установления зон контакта осадочного чехла с нижележащими образованиями.

**Ключевые слова:** осадочный чехол, фундамент, рифтогенез, залежь нефти

**Для цитирования:** Шустер В.В., Тюкавкина О.В., Шелепов В.В., Капитонова И.Л. Оценка перспектив нефтегазоносности доюрских и юрских отложений в центральной части Западно-Сибирской плиты // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 4. С. 77–83.

## ASSESSMENT OF OIL-AND-GAS-BEARING CAPACITY OF PRE-JURASSIC AND JURASSIC DEPOSITS OF THE CENTRAL PART OF THE WEST SIBERIAN PLATE

Vladimir L. Schuster<sup>1✉</sup>, Olga V. Tyukavkina<sup>2</sup>, Valentin V. Shelepov<sup>3</sup>,  
Irina L. Kapitonova<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Institute of Oil and Gas Problems RAS, Moscow, Russia; tshuster@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of Oil and Gas Problems RAS, Moscow, Russia; tov.sing@mail.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; shelepov\_s@mail.ru

<sup>4</sup> Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia; kapitonova-il@rudn.ru

**Abstract.** There were examined the issues of studying the features of the lithological and petrographic composition and the formation of oil deposits within the fields of the Surgut dome fold and the Frolov megadepression. It was noted that the formation of deposits of the sedimentary cover is associated with the peculiarities of the geological structure and the oil-bearing capacity of the basement rocks. In the considered territory, a high level of oil-bearing sedimentary cover is observed within the central part of the Surgut dome fold, and the deposits of the Pre-Jurassic part of the section can be additional sources of intensification of hydrocarbons in the Lower-Middle Jurassic deposits. The presence of zones of deep snaps is a search criterion for the detection of secondary reservoirs in them both — in destruction zones, basement, and in the Lower-Middle Jurassic deposits, therefore, deposits can be formed due to the vertically ascending migration of deep fluids through faults that cross the basement and horizons of the sedimentary cover.

There were examined the issues of the prospects for the oil and gas content of the Lower-Middle Jurassic deposits, which must be associated with both granitoid massifs and the details of identifying the conditions of sedimentation and the establishment of contact zones of the sedimentary cover with the underlying formations.

**Key words:** sedimentary cover, basement, rifting, oil deposit

**For citation:** Schuster V.L., Tyukavkina O.V., Shelepov V.V., Kapitonova I.L. Assessment of oil-and-gas-bearing capacity of pre-jurassic and jurassic deposits of the central part of the West Siberian plate. *Moscow University Geol. Bull.* 2022, 4: 77–83. (In Russ.).

**Введение.** В настоящее время вопросы перспектив нефтегазоносности юрских отложений составляют предмет напряженных дискуссий и обсуждений, которые обусловлены принятием в 1970–1980-е гг. на государственный баланс большого объема запасов углеводородов, извлечение которых в настоящее время — достаточно дорогостоящее мероприятие. Резкое падение дебитов нефти после применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН) предопределяет постоянное воздействие на коллекторы для поддержания рентабельного уровня добычи, однако применение МУН на длительно разрабатываемых месторождениях обеспечивает годовой объем добычи углеводородов, не превышающий 0,1–0,3% от суммы запасов по категориям А+В+С1.

В разное время изучением геологии и условий формирования юрских продуктивных отложений в исследуемом районе занимались С.М. Беккина, Р.М. и С.Р. Бембель, Н.С. Гатиятуллин, С.М. Гиязова, Ф.Г. Гурари, В.П. Девятов, Г.К. Ешимов, О.Г. Зарипов, В.И. Исаев, А.Е. Ковешников, А.Э. Конторович, Ю.В. Коржов, И.М. Кос, С.Г. Кузьменков, Г.А. Куриленкова, Г.А. Лобова, Т.Е. Лунёва, В.М. Мегеря, Н.М. Недоливко, И.И. Нестеров, Г.Р. Новиков, Ф.К. Салманов, А.В. Соколов, В.П. Сонич, А.В. Ступакова, В.С. Сурков, А.А. Трофимук, О.В. Тюкавкина, И.Ш. Усманов, Ю.В. Филиппович, Ю.Г. Эрвье и многие другие.

Сейчас, в условиях значительной выработанности неокомских залежей, основные перспективы связаны с разработкой сложнопостроенных коллекторов юры, и, согласно вышеизложенному, можно констатировать, что геологическое доизучение юрских горизонтов в пределах Западно-Сибирской плиты актуально в теоретическом и практическом отношениях.

**Материалы и методы исследований.** Работа заключалась в обработке и анализе промысловых данных, количественном сопоставлении результатов исследований вещественного состава пород, полученных за продолжительный период как авторами статьи, так и их многочисленными предшественниками, а также в выявлении закономерностей свойств пород фундамента Верхнеляминского вала (Фроловская мегавадина), ограниченного крупными глубинными разломами, вдоль которых происходило активное движение тектонических блоков.

**Результаты исследований и их обсуждение.** *Основные закономерности условий формирования пород фундамента и зон глубинных разломов.* Породы доюрского комплекса в центральной части Фроловской мегавадины вскрыты 76-ю скважинами. Толщина изученных бурением доюрских пород составляет от 33 до 246 м. Породы фундамента представлены эффузивами и гранитами, где широко развиты вторичные изменения, выраженные в развитии хлорита, альбита, пренита, халцедона, кальцита [Беккина, Усманов, 2009; Гатиятуллин, Баранов, 2015; Кузина и др., 2014; Лобова и др., 2018; Ступакова и др., 2015]. По данным С.М. Беккиной, И.Ш. Ус-

манова [2009], наличие гранитов подтверждается вскрытыми отложениями доюрского комплекса на территории Сыньеганской террасы с признаками нефтеносности в виде характерного голубого свечения в ультрафиолетовом свете. В пределах центральной части Фроловской мегавадины (Сыньеганская терраса) выделяются участки фундамента, представленные вулканическими и интрузивными диоритовыми и гранит-диоритовыми ассоциациями. Также в работе [Беккина и др., 2009] доказано, что глубокие горизонты в приподнятом Сыньеганском блоке перспективны на добычу углеводородов, так как при вскрытии фундамента разведочными скважинами установлены газопроявления. Наличие газопроявлений может свидетельствовать о существовании в этой зоне режима рифтогенеза в период формирования фундамента осадочного чехла.

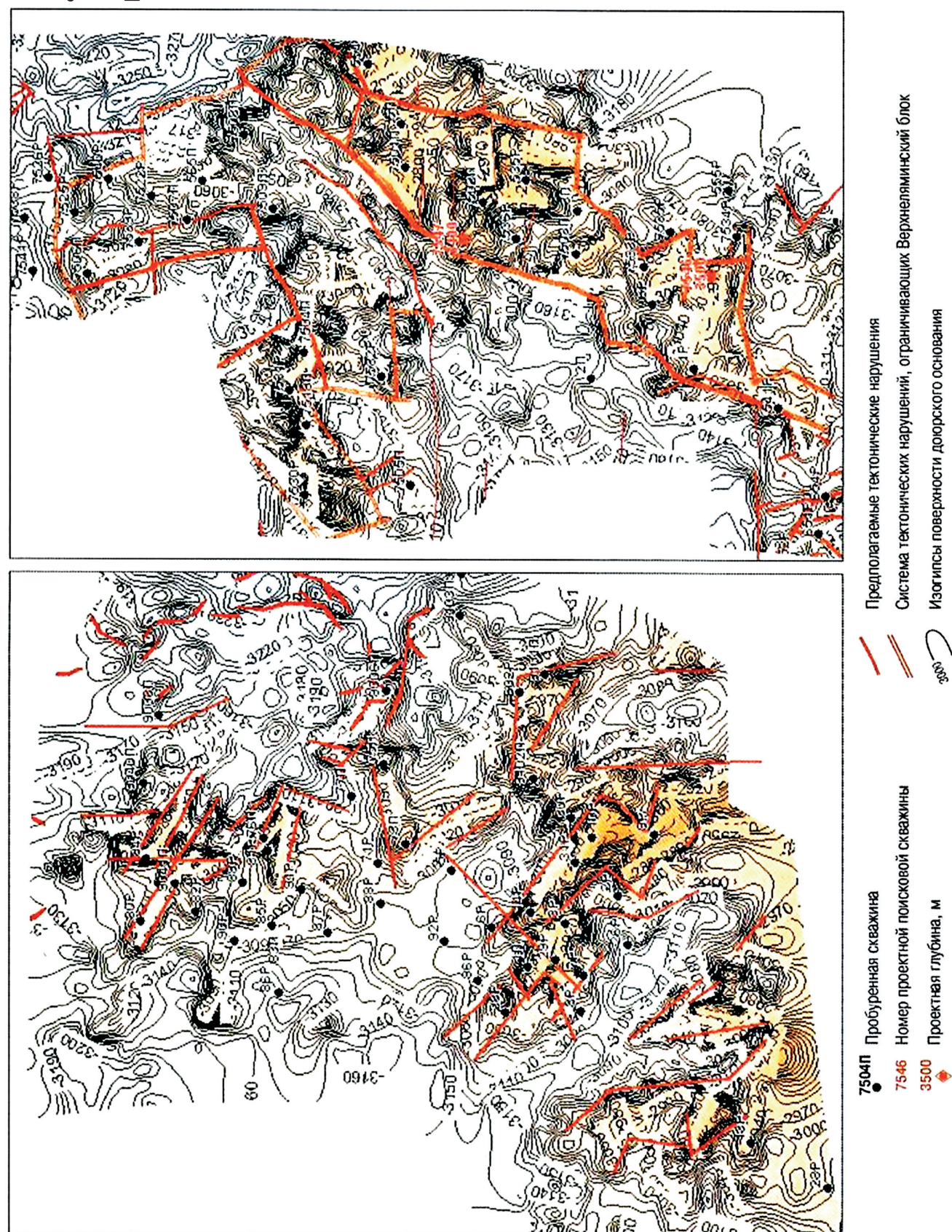
Доюрский фундамент отличается выраженным блоковым строением — сеть региональных и локальных разломов протяженностью до десятков километров формирует систему блоков, отраженных в толщах осадочного чехла, например, Ханты-Мансийская впадина характеризуется наличием антиклинальных структур II и III–IV порядков [Гурари и др., 2005; Филиппович, 2001]. Депрессионный режим ее развития обусловил наличие стратиграфически полных, мощных разрезов средней юры. Отложения тюменской свиты объединяют песчано-алевритовые пласты Ю<sub>2–9</sub>, входящие в среднеюрский нефтегазоносный комплекс, имеют широкое площадное распространение, занимая громадные пространства в центральной части Западно-Сибирской плиты [Конторович и др., 1975].

С учетом блоковой структуры фундамента Фроловского геоблока, включающего структуры более низкого порядка — Верхнеляминский вал, Сыньеганскую террасу, Туманный и Ай-Пимский валы, — по данным бурения и сейсмическим материалам по кровле основных горизонтов были построены структурные карты. Доюрский комплекс отождествляется с отражающим горизонтом А (рис. 1).

В пределах правобережья р. Обь в пределах Ханты-Мансийского АО отложения доюрской части разреза вскрыты на 40 площадях Краснотенинского, Ляминского, Приобского и Сургутского нефтегазоносных районов. Здесь выявлены многочисленные разломы, ограничивающие крупные структурные элементы (мегавалы, своды, мегапрогибы и т.д.). Следовательно, зоны разуплотнения (деструкции) представляют собой важный поисковый критерий. Для выявления зон деструкции на начальном этапе исследований можно применять в комплексе магнитометрические и гравиметрические съемки масштаба 1:50 000. Например, согласно интерпретации данных магнитотеллурического зондирования (МТЗ) на Ханты-Мансийском месторождении (рис. 2) в толще фундамента можно выделить линзы, образовавшиеся в результате разуплотнения пород с миграцией в них флюидов, в том числе углеводородов.



Рис. 1. Структурная схема строения доюрского фундамента Сыктывкарской террасы, по [Беккина, Усманов, 2009]





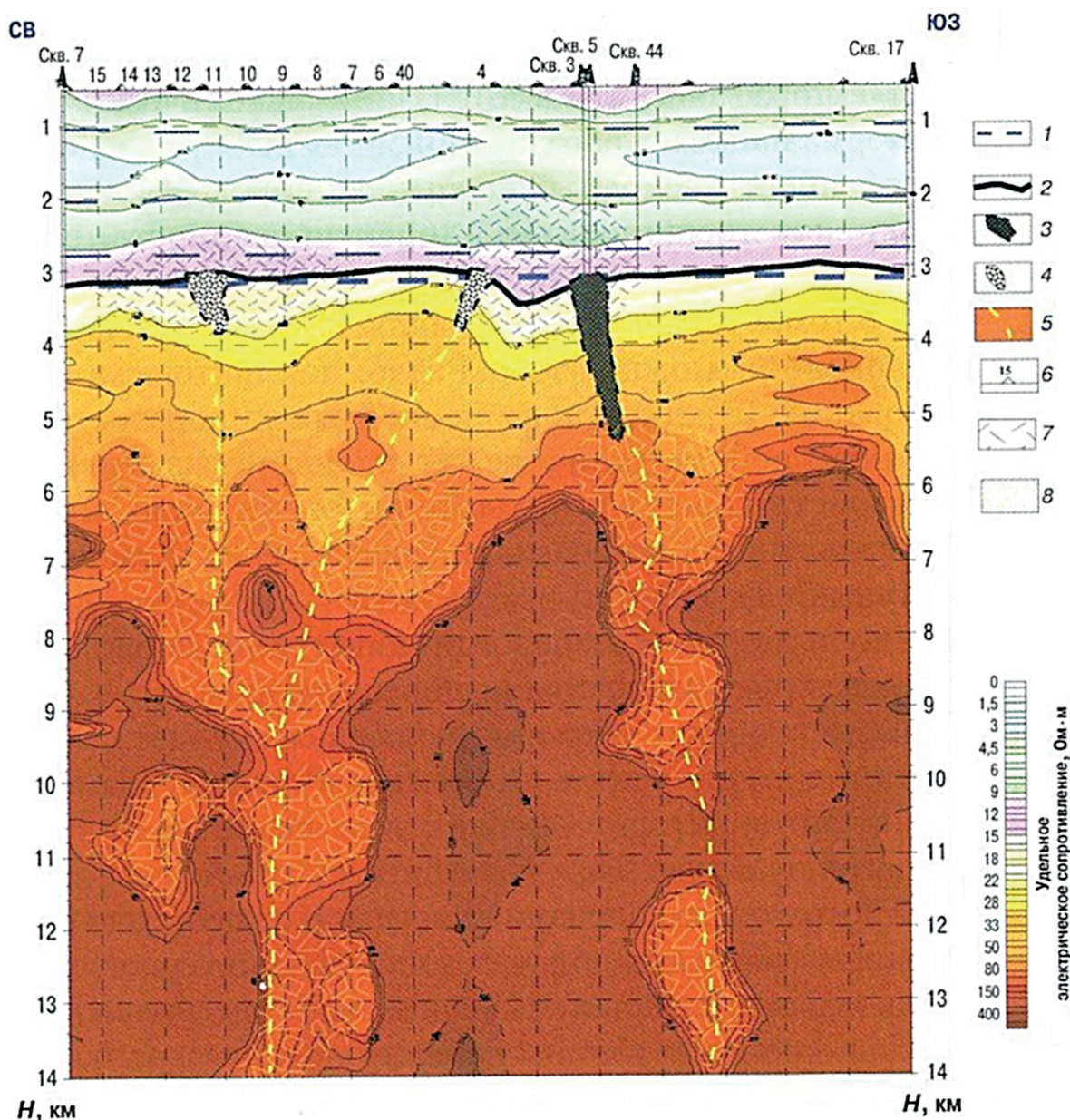


Рис. 2. Геоэлектрический разрез через Ханты-Мансийское месторождение (сообщение Б.К. Сысоева, Тюмень, 2008 г.): 1 — основные сейсмические границы; 2 — поверхность доюрского основания по данным МТЗ; 3 — залежь нефти (прогнозируемая форма); 4 — нефтеперспективные объекты; 5 — ось геосолитонного излучения; 6 — пункты МТЗ; 7 — линза инверсии; 8 — локальные зоны дробления, резервуары пористых пород

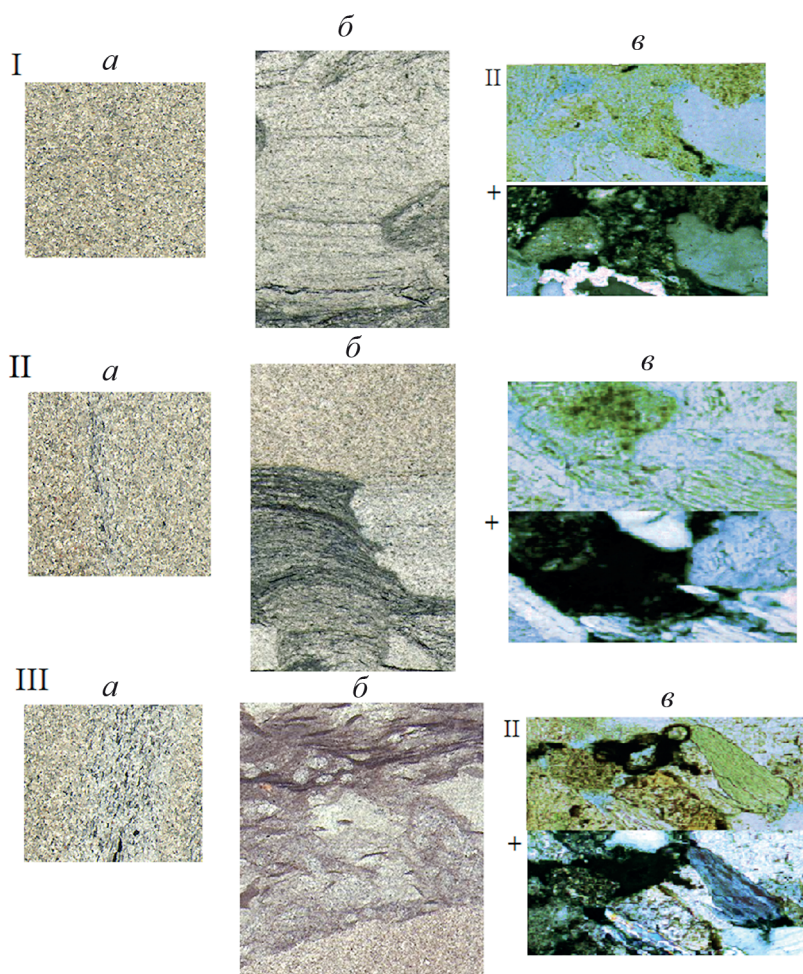
**Основные закономерности условий формирования ниже-среднеюрских отложений.** Терригенно-минералогические ассоциации отложений представлены многочисленными минералогическими разновидностями. Содержание основных компонентов (кварц, полевые шпаты, слюды, обломки горных пород) в различных типах пород нижней и средней юры меняется и в ряде случаев существенно. Исследования проведены на 213 образцах из 5 месторождений в восточной части Сургутского свода. В изученном разрезе содержание породообразующих и акцессорных минералов в ряде случаев существенно изменяется, в связи с чем для детализации геолого-геофизических разрезов, установления закономерностей изменения

фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород и дальнейших морфологических построений были выделены терригенно-минералогические ассоциации полимиктовых песчаников и алевролитов, аркозовых и полимиктовых песчаников и алевролитов.

*Ассоциация полимиктовых песчаников и алевролитов* характеризуется в большинстве случаев преобладанием кварца (в среднем от 5–7 до 35%) и значительным содержанием обломков пород (от 40–45 до 60–70%). Кварц представлен неокатанными, редко округленными зернами с изометричными, реже с удлинёнными очертаниями. Полевые шпаты представлены в основном кислыми плагиоклазами, среди которых встречаются зерна с микроклиновой решеткой и полисинтетическими двойниками.



Рис. 3. Литолого-минералогические характеристики выборочных образцов из месторождений в центральной части Западно-Сибирской плиты: I, II, III — образцы № 1, 2, 3; а — фото керна, увеличение 100х; б — структурно-текстурные особенности; в — фото шлифов (увеличение 85х, || — николи параллельны, + — николи скрещены)



Слюды представлены большей частью биотитом и незначительным количеством мусковита. В тяжелых фракциях пород этой ассоциации распространены такие устойчивые терригенные минералы, как рутил (от 20 до 60%), сидерит (от 2 до 5%) и ильменит (от 10 до 20%).

Выборочный образец (образец № 1) с месторождения Верхнеламинского вала (глубина залегания 2800 м) представлен на рис. 3, I. Песчаник серый, мелкозернистый, по трещинам развит кальцит, структура псаммитовая. Угловато-окатанный и неокатанный обломочный материал составляет 65–70% породы. Размер обломков 0,08–0,02 мм, отдельные зерна достигают 0,35 мм в поперечнике. Кластический материал представлен обломками кварца, полевых шпатов, слюды, углистых и кремнистых пород. Кварц и полевые шпаты распространены примерно в равных долях и составляют более 90% обломков. Кварц — бесцветные прозрачные зерна с волнистым угасанием, отдельные зерна содержат пылеватые включения. Полевые шпаты пелитизированы, иногда серитизированы, некоторые зерна сохранили первоначальную структуру, встречаются зерна плагиоклазов с полисинтетическими двойниками. Кремнистые обломки мелкоагрегатного строения часто выветрелые и составляют 5–6%. Слюда присутствует в виде волокнистых зерен (пластинок) биотита. Цемент глинистый, реже карбонатный.

Ассоциация аркозовых и полимиктовых песчаников и алевролитов, характеризующихся преобладанием полевых шпатов (в среднем от 40 до 60%) над кварцем (в среднем от 25 до 40%) и незначительным содержанием обломков пород (обычно не более 30–40%). Кварц представлен неокатанными, угловатыми или слабоокругленными зернами, полевые шпаты — калиевыми разностями и кислыми плагиоклазами, причем последние обычно преобладают, слюды — в основном биотитом.

Выборочный образец (образец № 2) с глубины залегания 2840 м из месторождения в восточной части Сургутского свода представлен на рис. 3, II.

Песчаник светло-серый, мелкозернистый, глинистый; алевролит светло-серый, глинистый. Структура алевритовая. Порода сложена угловатым обломочным материалом, состоящим из угловатых зерен кварца, полевых шпатов, карбонатно-глинистых обломков, слюды. Размер зерен кварца и полевых шпатов 0,04–0,08 мм. Размер глинисто-карбонатных обломков достигает 0,2 мм в поперечнике. Полевые шпаты в основном сильновыветрелые, пелитизированные. Часть зерен имеет довольно свежий облик, наблюдаются полисинтетические двойники. Карбонатность породы в отдельных случаях может достигать 14%. Цемент глинистый, порового типа.

Ассоциация аркозовых и полимиктовых песчаников и алевролитов с небольшим содержанием

обломков пород (не более 30–40%). Содержание полевых шпатов почти в 2 раза превышает содержание кварца. Кварц представлен неокатанными, иногда округленными зернами с изометричными, реже с удлиненными очертаниями. Полевые шпаты представлены калиевыми разностями и кислыми плагиоклазами, присутствующими в близких соотношениях, слюды — биотитом и мусковитом, причем резко преобладает биотит, часто гидратизированный.

Выборочный образец (№ 3) с глубины залегания 2900 м из месторождения в восточной части Сургутского свода, изображенный на рис. 3, III, представлен алевритом с прослоями обугленного материала, структура алевритовая. Порода содержит до 80% обломочного материала алевритовой размерности (0,04–0,08 мм), состоящей из кварца, полевых шпатов, кремнистых, глинисто-карбонатных обломков, углистых включений, мелких конкреций и глобулей пирита. Кварц и полевые шпаты присутствуют примерно в равном количестве, причем полевые шпаты сильно выветрелые, пелитизированные, отдельные зерна даже серицитизированы. Обломки глинисто-карбонатных пород находятся в основном в плоскостях наложения, где наблюдается скопление железа и углистых остатков. Кремнистые обломки мелкоагрегатного строения иногда серицитизированы. Цемент глинистый, порового типа.

Анализируя закономерности распространения терригенно-минералогических ассоциаций нижне-среднеюрских отложений Верхнеламинского вала и восточной части Сургутского свода, можно сделать выводы о том, что по вещественному составу обломочной части нижне-среднеюрские отложения отличаются по минералогическому составу, количеству обломков пород и составу цемента. Из исследованных 213 образцов в 30% случаев аналогичные породы вскрыты скважинами, пробуренными в грабеновых участках месторождений, расположенных в восточной части Сургутского свода (или Ярсомовского палеопрогиба), а также Верхнеламинского вала.

Также отметим, что петрографические типы пород в разрезах нижне-среднеюрских отложений в пределах унаследованных горстовых структур не характеризуются большим разнообразием минералогического состава, но их текстурные особенности могут сильно различаться. В керне наблюдается горизонтальная, волнистая, мульдобразная и косая слоистость. Улучшенные коллекторские свойства пород характерны для палеорусел меандрирующих рек. В зонах тектонически экранированных залежей количество обломочных пород со средней степенью сортированности кратно увеличивается.

Так как каждый минеральный индивид, входящий в ту или иную минеральную ассоциацию, имеет свои особенности, которые зависят от ряда причин внутреннего и внешнего порядка (плотность, форма, твердость, путь и время транспортировки, гидродинамика бассейна седиментации и т. д.),

индивидуальность терригенно-минералогических ассоциаций, особенно в удалении от источников сноса в значительной степени стирается, искажается и не отражает специфические черты пород, существовавших изначально.

**Заключение.** В результате выявлено, что перспективность юрского нефтегазоносного комплекса может быть тесно связана с породами фундамента и возможностью интенсификации углеводородов из фундамента в вышележащие юрские горизонты, что повышает актуальность работ по выявлению и картированию зон распространения сложнопостроенных юрских коллекторов Западно-Сибирской плиты.

На основании анализа данных, полученных в результате исследования пород доюрского и юрского возраста на месторождениях в центральной части Западно-Сибирской плиты, сделаны следующие выводы:

- для оценки перспектив нефтегазоносности юрских пород-коллекторов в центральной части Западно-Сибирской плиты необходимо изучать процессы формирования фундамента в качестве дополнительного источника интенсификации углеводородов в залежь;

- Верхнеламинский вал ограничен крупными глубинными разломами, вдоль которых происходило движение тектонических блоков, а гранитизация и формирование нефтегазоносных комплексов пород — звенья одной цепи [Филиппович, 2001];

- существенное влияние разломной тектоники и стратиграфических факторов на формирование особенностей литолого-петрографического состава и геологического строения нижне-среднеюрских отложений;

- в зонах разрывных нарушений установлены участки повышенной трещиноватости, проявления вторичного минералообразования в результате интенсивной активизации гидротермальных процессов и эпигенетических изменений;

- отмечено влияние изменения значений глубинной температуры в пределах центральной части Фроловской мегавпадины, что позволяет предположить возможность вертикальной миграции флюидов с большой глубины (наибольший интерес в этом отношении представляет Верхнеламинский выступ, в пределах которого отмечены повышенные значения температуры (46–130 °C)), что необходимо учитывать при решении геологических задач при разработке месторождений;

- отмечено, что перспективы нефтегазоносности нижне-среднеюрских отложений необходимо связывать как с гранитоидными массивами, так и с детальностью установления условий осадконакопления и зон контакта осадочного чехла с нижележащими образованиями;

- установлено, что тектонически экранированные залежи и участки с мозаичным распространением коллекторов нижне-среднеюрских отложений требуют выработки определенной методологии для



их выявления и моделирования при поисковых и разведочных работах;

– при выделении зон с трудноизвлекаемыми запасами необходимо применять системный под-

ход, позволяющий учитывать проявления многих взаимодействующих факторов, что позволит решить определенный круг вопросов по изучению юрских отложений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беккина С.М., Усманов И.Ш. Особенности геологического строения и перспективы нефтеносности доюрского фундамента центральной части Фроловской мегападины // Сб. науч. тр. СургутНИПИнефть. Вопросы геологии, бурения и разработки нефтяных и газонефтяных месторождений Сургутского региона. Нефтяное хозяйство. 2009. Вып. 10. С. 26–34.

Бембель Р.М., Бембель С.Р., Мегеря В.М. Геосолитонная природа субвертикальных зон деструкций // Геофизика. 2001. № 5. С. 36–50.

Гатиятуллин Н.С., Баранов В.В. Возможность прогнозирования глубинной нефтегазоносности // Георесурсы. 2015. № 4 (63). С. 4–8.

Гурари Ф.Г., Девятков В.П., Демин В.И. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность нижней — средней юры Западно-Сибирской провинции. Новосибирск: Наука, 2005. 156 с.

Ковешников А.Е., Недоливко Н.М. Коры выветривания доюрских отложений Западно-Сибирской синеклизы // Изв. Томск. политех. ун-та. 2012. Т. 320, № 1. С. 77–81.

Конторович А.Э., Нестеров Н.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 680 с.

Кузина М.Я., Коржов Ю.В., Исаев В.И. Геохимическое и литологическое обоснование концепции «главного источника» доюрских залежей нефти Красноленинского свода // Изв. Томск. политех. ун-та. 2014. Т. 324, № 1. С. 32–38.

Кузьменков С.Г., Исаев В.И., Булатов В.И. и др. Развитие нефтегазового комплекса Югры, трудноизвлекаемые запасы // Изв. Томск. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329, № 11. С. 103–113.

Лобова Г.А., Исаев В.И., Кузьменков С.Г. и др. Нефтегазоносность коллекторов коры выветривания и палеозоя юго-востока Западной Сибири (прогнозирование трудноизвлекаемых запасов) // Геофиз. журн. 2018. Т. 40, № 4. С. 73–106.

Ступакова А.В., Соколов А.В., Соболева Е.В. и др. Геологическое изучение и нефтегазоносность палеозойских отложений Западной Сибири // Георесурсы. 2015. Т. 61, № 2. С. 63–76.

Сунгурова О.Г., Мазуров А.К., Исаев В.И. Ресурсоэффективная стратегия поисков залежей нефти в доюрском основании Западной Сибири // Изв. Томск. политех. ун-та. 2014. Т. 325, № 1. С. 147–154.

Филиппович Ю.В. Новая концепция тектонического строения фундамента и осадочного чехла Западно-Сибирской плиты // Геология нефти и газа. 2001. № 5. С. 50–52.

Iskorkina A., Isaev V., Terre D. Assessment of Mesozoic-Kainozoic climate impact on oil source rock potential (West Siberia) // IOP Conf. Ser. Earth and Environmental Sci. 2015. Vol. 27. P. 1–6. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012023/pdf>.

Kontorovich V.A. Petroleum potential of reservoirs at the Paleozoic-Mesozoic boundary in West Siberia: seismogeological criteria (example of the Chuzik-Chizhapka regional oil-gas accumulation) // Russ. Geol. and Geophysics. 2007. Vol. 48, N 5. P. 422–428.

Koveshnikov A.E., Nesterova A.C., Dolgaya T.F. Fracture system influence on the reservoirs rock formation of Ordovician-Devonian carbonates in West Siberia tectonic depression // IOP Conference Ser. Earth and Environmental Sci. 2016. Vol. 43. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/43/1/012008/pdf>.

Luneva T., Lobova G., Fomin A. Oil and gas perspectives of weathering crust reservoir of Nurol'ka megabasin according to data of Geothermics // IOP Conference Ser. Earth and Environmental Sci. 2016. Vol. 43. URL: <http://iopscience.iop.org/1755-1315/43/1/012014>.

Saltymakova D., Krasnoyarova N., Serebrennikova O. Distinct features of crude oils from Nyurol'ka Depression (Southeast of Western Siberia) // J. Petrol. Scie. and Engineering. 2017. Vol. 154. P. 91–99.

Статья поступила в редакцию 24.04.2021,  
одобрена после рецензирования 26.10.2021,  
принята к публикации 31.08.2022