



ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СЕВЕРНЫХ ФЛАНГОВ ОНОНСКОЙ ВПАДИНЫ (ЗАБАЙКАЛЬЕ) ПО ДАННЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ И ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

В.В. Оленченко^{1,✉}, М.И. Эпов², Д.В. Напreeв³, В.С. Салихов⁴, Е.Ю. Антонов⁵

^{1,2,5}Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,

630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

³ООО НППГА «Луч», 630010, Новосибирск, ул. Геологическая, 49, Россия,

⁴Забайкальский государственный университет, 672039, Чита, ул. Александрo-Заводская, 30, Россия,

✉ OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4386-7064>

Аннотация. На территории одной из межгорных впадин Забайкалья проведена электроразведка и геохимические исследования для оценки перспектив ее нефтегазоносности. На протяжении многих лет эта территория считалась малоперспективной на углеводороды. В результате новейших полевых исследований выявлены интенсивные аномалии концентрации бутана в породах верхней части разреза. По данным электромагнитных зондирований выделены пласты с улучшенными коллекторскими свойствами. Оценка прогнозных ресурсов и извлекаемых запасов показала возможное присутствие на изученной территории среднего по масштабам месторождения природного газа и крупного месторождения нефти.

Ключевые слова: месторождение газа, электромагнитное зондирование, газовая хроматография, Ононская межгорная впадина

Финансирование: исследование выполнено по плану базовых научно-исследовательских работ ИНГГ СО РАН (проект Минобрнауки РФ FWZZ-2022-0024).

Благодарности: полевые работы выполнены при поддержке Правительства Забайкальского края и ООО НППГА «Луч».

Для цитирования: Оленченко В.В., Эпов М.И., Напreeв Д.В., Салихов В.С., Антонов Е.Ю. Перспективы нефтегазоносности северных флангов Ононской впадины (Забайкалье) по данным электромагнитных зондирований и газовой хроматографии // Геофизические технологии. 2025. № 4. С. 68–85. doi:10.18303/2619-1563-2025-4-68.

PROSPECTS OF OIL AND GAS POTENTIAL IN THE NORTHERN FLANKS OF THE ONON DEPRESSION (TRANSBAIKALIA) ACCORDING TO ELECTROMAGNETIC SOUNDING AND GAS CHROMATOGRAPHY DATA

V.V. Olenchenko^{1,✉}, M.I. Epov², D.V. Napreev³, V.S. Salikhov⁴, E.Yu. Antonov⁵

^{1,2,5}Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

³Scientific-Production Enterprise of Geophysical Equipment "Looch", Geologicheskaya Str., 49, Novosibirsk, 630010, Russia,

⁴Transbaikal State University, Aleksandro-Zavodskaya Str., 30, Chita, 672039, Russia,

✉ OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4386-7064>

Abstract. Electrical prospecting and geochemical studies were conducted in one of the intermontane depressions of Transbaikalia to assess its oil and gas potential. For many years, this area has been considered to have low hydrocarbon prospects. Recent field studies have revealed intensive butane concentration anomalies in rocks of the upper section. Layers with improved reservoir properties were identified based on electromagnetic sounding data. The assessment of forecast resources and recoverable natural gas reserves indicated the possible presence of a medium-scale gas field and a large-scale oil field, in terms of recoverable reserves, in the studied area.

Keywords: gas deposit, transient electromagnetic sounding, gas chromatography, Onon intermontane basin

Funding: the study was carried out as part of government assignment to the Russian Academy of Sciences in basic research, Project FWZZ-2022-0024.

Acknowledgments: the authors would like to thank the Government of Transbaikalia and the Scientific-Production Enterprise of Geophysical Equipment “Looch”.

For citation: Olenchenko V.V., Epov M.I., Napreev D.V., Salikhov V.S., Antonov E.Yu. Prospects of oil and gas potential in the northern flanks of the Onon depression (Transbaikalia) according to electromagnetic sounding and gas chromatography data // Russian Journal of Geophysical Technologies. 2025. No. 4. P. 68–85. (In Russ.). doi:10.18303/2619-1563-2025-4-68.

ВВЕДЕНИЕ

Забайкалье – старейший горнорудный регион России. По разнообразию и величине запасов некоторых видов минерального сырья оно не уступает самым известным рудоносным регионам. Но обилие минерального сырья не дополняется топливно-энергетическими ресурсами. Так, на долю угля в Забайкалье приходится около 1.6 % общероссийских запасов, а углеводородное сырье в жидкой и газообразной форме (нефть, газ) в настоящее время пока отсутствует. Открытие в Забайкалье нефтегазового месторождения – принципиально важный шаг для дальнейшего развития края. Разведка, добыча и переработка углеводородов (УВ) на месте позволит создать новые рабочие места и обеспечить внутренние энергетические потребности региона.

Нефтегазоносность Забайкальских впадин изучается с 30-х годов прошедшего столетия, однако промышленные скопления УВ до сих пор не обнаружены. И несмотря на то, что бесспорные признаки нефтегазоносности в виде битумов, капельножидкой нефти и выходов газа были найдены в Ононской впадине в 1960-х годах^{1,2}, в течение последних 40 лет считалось, что межгорные впадины Забайкальского типа малоперспективны в плане нефтегазоносности. В последние годы интерес к Забайкальскому газу снова возрос в связи с разработкой программы газификации края. Поэтому современные поиски забайкальской нефти и газа целесообразно было сосредоточить в пределах ранее выявленных территорий с признаками нефтегазоносности.

Среди современных геофизических методов поисков УВ основной объем занимает сейсморазведка, а из несейсмических методов – электроразведка [Ингеров, 2005; Буддо, Поспеев, 2019] и газовая хроматография [Исаев, 2022]. В совокупности с газовой хроматографией вероятность выделения залежей УВ по данным электроразведки увеличивается. При этом электрические

¹ Пономарёва Г.П., Павлова Е.В., Косов В.А., Лысова Л.А. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Ононской, Аргунской, Тургино-Харанорской впадин Забайкалья. Окончательный отчет Забайкальской тематической партии. Том 1. Иркутск, 1965. ТГФ по Забайкальскому краю. Инв. №11124.

² Пономарёва Г.П., Хромовских Ю.П. Отчет по теме 17 «Сравнительная оценка перспектив нефтегазоносности межгорных впадин Бурятии и Читинской области». Том 1. ВСГУ по поискам и разведке нефти и газа. Иркутск, 1967. 290 с.

зондирования позволяют решать структурно-картировочные задачи, а по данным геохимии оцениваются перспективы выделенных структур на углеводородное сырье [Напреев, Оленченко, 2010; Эпов и др., 2014]. Подобный подход к поисковым работам был опробован и в Ононской впадине Забайкалья.

Главной целью проведенных исследований являлась оценка перспективности северных флангов Ононской впадины на УВ на основе анализа данных электроразведки и геохимии.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

Ононская впадина расположена на юге Забайкалья, в среднем течении р. Онон. С востока ее ограничивает хребет Эрмана, а с запада – Онон-Бальджинский, Становик и Могойтуйский хребты (рис. 1). Общая протяженность впадины достигает 110 км при ширине от 2 до 20 км.

Ононская впадина представляет собой типичную межгорную рифтогенную впадину Забайкальского типа, расположенную на стыке Даурской и Агинской структурно-формационных зон, контактирующих по глубинному Онон-Туринскому разлому, глубина заложения которого оценивается в 100–200 км. Она имеет асимметричное строение: правый борт крутой, левый более пологий. Впадина заполнена эффузивно-осадочными отложениями мела и юры. Правый борт впадины сложен гранитоидами юрского возраста², левый – метаморфизованными породами пермо-триаса и девона.

Отложения девона представлены филлитизированными сланцами, песчаниками, в том числе углисто-глинистыми. Пермо-триасовая толща состоит из песчаников, алевролитов и сланцев. Песчаники массивные, плотные, алевролитовые сланцы с хорошо выраженной сланцеватостью. На размытой поверхности пермо-триаса в виде покровов залегают юрские и раннемеловые эффузивно-осадочные образования бырцинской и джергалантуйской свит.

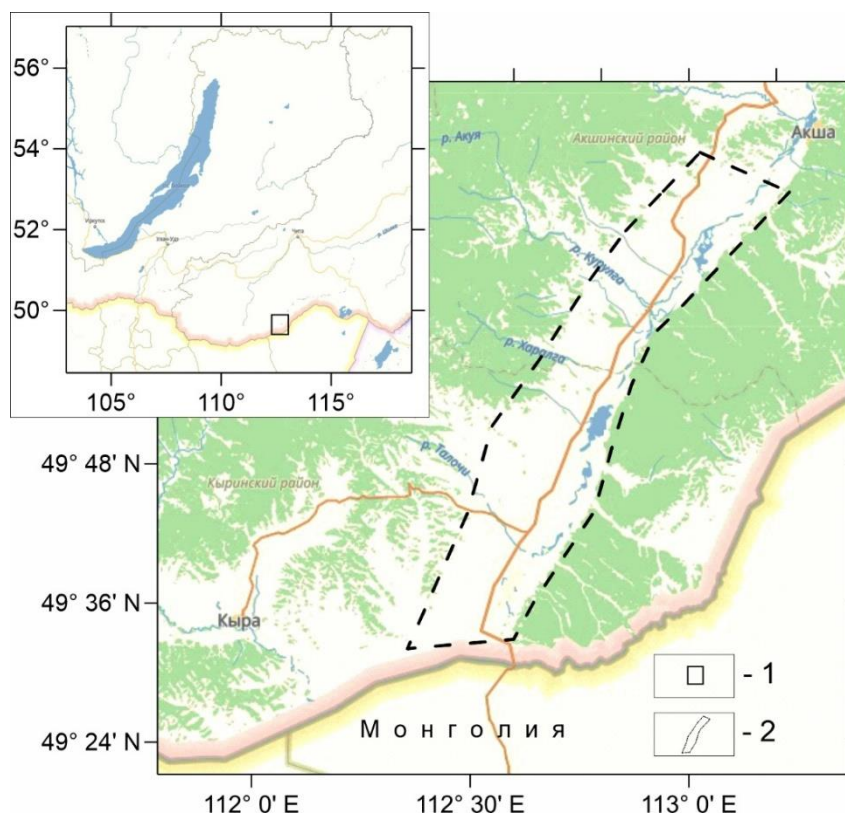


Рис. 1. Схема расположения Ононской впадины: 1 – положение района работ; 2 – границы российской части Ононской впадины.

Они прослеживаются узкой полосой вдоль левого (северо-западного) борта впадины. Бырцинская свита делится на две подсвиты: нижнюю, представленную средними и основными эффузивами, и верхнюю, сложенную кислыми эффузивами. Средние и основные эффузивы – это плотные массивные породы темно-серого, серого, зеленовато-серого, грязно-фиолетового и сиреневого цвета, часто с миндалекаменной или пористой текстурой. Вероятно, они могут выполнять роль вторичных коллекторов. Кислые эффузивы залегают в виде покровов и представлены афанитовыми и массивными породами лейкократового облика. Такие покровы могут выполнять роль покрывающих.

Нижнемеловые отложения, представленные Мангутской свитой, залегают с небольшим угловым несогласием и размывом на юрско-меловых эффузивах верхней части бырцинской свиты, а иногда, в отдельных участках, и на более древних породах палеозоя². Породы нижнего мела (конгломератово-песчаниковая и песчано-аргиллитовая толща, с прослоями мергелей, битуминозных пород и редких пластов базальта) имеют горизонтальное и пологое залегание. В прибортовых частях впадины породы наклонены в сторону депрессии под углом 15–25°, в центральной же части углы не превышают 5°. Скважинами колонкового бурения нижнемеловые отложения вскрыты на глубину от 60 до 753 м. Самая глубокая скважина № 21, пробуренная в центре впадины, в районе предполагаемого поднятия фундамента, вскрыла только верхнюю часть разреза. Полный разрез меловых отложений нигде в пределах впадины не вскрыт.

Ранее проведенными геофизическими исследованиями было установлено, что Ононская впадина состоит из нескольких мульд, образование которых связано с нарушениями северо-западного простирания^{1,3}. По геофизическим данным выделены и подтверждены: Мангутский прогиб с мощностью мезозойских отложений до 1750 м, Нарасунский прогиб с мощностью до 2000 м, Нижне-Ульхунское поднятие (горст) с амплитудой 800 м и Курулгинское поднятие с амплитудой 800 м. Основные элементы Ононской впадины – Мангутский и Нарасунский прогибы – качественно выделяются как в поле силы тяжести, так и по электроразведке методом ВЭЗ. Сейсморазведкой был установлен унаследованный характер структур в нижнемеловых и палеозойских отложениях.

Проведенные в 1960-х годах исследования перспектив нефтегазоносности Ононской впадины были сосредоточены в ее юго-западной части, в районе сел Верхний Ульхун и Мангут. По данным бурения здесь с глубины 40 м отмечается битуминозность песчаников, а в одной из скважин с глубины 200 м до забоя на глубине 281 м вскрыто нефтенасыщение пористых пород жидкой маслянистой буровато-черной нефтью. В районе с. Верхний Ульхун скважина № 40 дала приток газа с дебетом 172.8 м³/сут.^{1,2}

Малоизученным оставался выделенный по геофизическим данным Нарасунский прогиб, расположенный в северо-восточной части впадины, мощность осадочного чехла в котором прогнозировалась до 2000 м. Г.П. Пономарёва не исключала, что северо-восточная часть Ононской впадины лишь кажется более простой, т. к. фактических наблюдений по ней значительно меньше, чем по юго-западной.

В районе Нарасунской котловины было пробурено 7 картировочных скважин глубиной от 92 до 300 м. Профили скважин располагались вдоль рек Джергалантуй и Талача. В поднятом керне установлено

³ Берштейн Г.Л. Отчет о результатах работ сейсмическими методами КМПВ и МРНП Читинской сейсморазведочной партии № 9/66 за 1966 год, полученных в Ононской впадине Читинской области. Том 1 / Берштейн Г.Л., Ревкова И.Г., Комаров М.Н. Восточный геофизический трест. Иркутск, 1967. ТГФ по Забайкальскому краю. Инв. № 11825.

повышенное содержание органического вещества (2%), однако данных о битуминозности и нефтепроявлениях нет. Неглубокие скважины вскрыли только самую верхнюю часть нижнемеловых отложений. Большая толщина мезозойских отложений, установленная по данным сейсморазведки, дает основание считать Нарасунский участок весьма перспективным на УВ. Слабая изученность северо-восточных флангов Ононской впадины и геолого-геофизические признаки перспективности Нарасунской котловины стали причиной выбора этого участка для постановки поисковых работ современной электроразведкой и геохимическими методами.

МЕТОДЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплекс методов включал электромагнитные зондирования становлением поля и газовую хроматографию.

Зондирование становлением поля (ЗС) основано на изучении нестационарных электромагнитных полей, которые возбуждаются в среде при быстром выключении тока в замкнутом контуре (петле). Метод ЗС является основным методом электроразведки при поисках УВ, особенно в геологических условиях Восточной Сибири [Шарлов и др., 2010; Компаниец и др., 2013; Неведрова, Санчаа, 2013; Ефимов и др., 2016]. При работе методом ЗС в качестве источника используется незаземленная петля с током. В качестве приемников также применяются незаземленные петли.

На участке работ были проведены площадные электромагнитные зондирования по сети профилей. Их длина составляла 5.5–10 км. Расстояние между профилями – 2 км. Расстояние между центрами генераторных петель – 1.5 км. Профили располагались параллельно, вкрест простирания впадины.

При зондированиях применялась соосно-разнесенная схема измерений, которая позволяет при одном положении генераторной петли получить информацию о геоэлектрическом строении среды с некоторой площади и оценить влияние трехмерных неоднородностей вблизи пункта зондирования. Размер квадратной генераторной петли составлял 500×500 м, при токе в генераторном контуре 170 А. Для регистрации электромагнитного отклика применялись пять приемных датчиков, один из которых располагался соосно генераторной петле, а четыре других выносились ортогонально и по направлению профиля на расстояние 500 м. Схема установки и пример измеренных переходных процессов в соосном и разнесенных датчиках приведены на рис. 2. ЭДС в приемниках регистрировалась многоканальной телеметрической станцией SGS-TEM при временном шаге дискретизации 31 мкс.

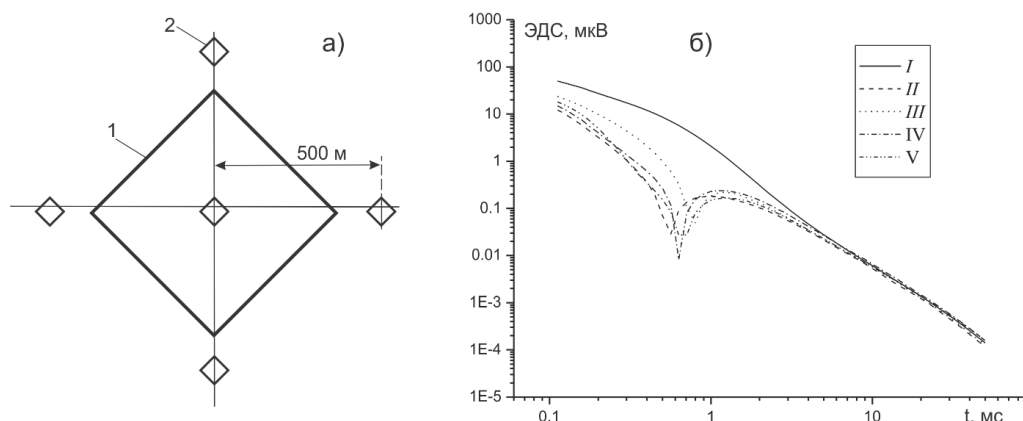


Рис. 2. Схема измерительной установки при электромагнитных зондированиях (а): 1 – генераторная петля 500×500м; 2 – приемный датчик ПДИ-500. Приведенные к единичному току ЭДС (б), измеренные в соосной (I) и разнесенных (II-V) петлях.

Количественная интерпретация данных ЗС выполнялась в программе TEM-IP, разработанной в ИНГГ СО РАН [Антонов и др., 2014]. Интерпретация заключалась в определении толщины и удельного электрического сопротивления (УЭС) слоев, слагающих разрез. В рамках горизонтально-слоистой модели среды находились теоретические переходные характеристики с наименьшим среднеквадратическим отклонением от зарегистрированной кривой спада ЭДС. По результатам исследований были построены геоэлектрические разрезы, пространственная модель распределения УЭС, карты распределения УЭС на разных глубинах, проводилась их геологическая интерпретация.

Основой метода газовой хроматографии является принцип разделения веществ при их продувке через капиллярную или поликапиллярную колонку [Яшин, 1976]. В итоге вещества, содержащиеся в пробе воздуха, при продувке через хроматограф дифференцируются и проявляются на детекторе в разное время. Результатом анализа является хроматограмма, на которой показываются времена выхода органических соединений и их относительная интенсивность, напрямую связанная с их объемным содержанием.

Для геохимического анализа на площади исследований были отобраны шпуровые пробы с глубин 1.0–1.5 м. Основным объектом отбора служили супеси и суглинки, играющие роль сорбентов. Пробы отбирались по сети профилей, шаг опробования по профилю составлял 200–500 м. В качестве анализатора использовался хроматограф ФГХ-1 с петлевым вводом пробы, термостатированной капиллярной колонкой и фотоионизационным детектором. Основным объектом детектирования являлись предельные УВ ряда «бутан-декан», а также УВ ароматического ряда: бензол, толуол, орто-, метаксилолы. Наличие последних является прямым признаком нефтеносности [Яшин, 1986]. Они отчетливо выделяются и однозначно определяются на хроматограммах. Кроме этого, ароматические УВ слабо подвержены деградации и биодеградации в процессе в отличие от их аналогов из предельного ряда [Гончаров, 1987]. Это делает их наиболее информативными при площадных подповерхностных съемках.

Кроме хроматографического анализа проводились потенциометрические измерения в водных вытяжках проб с определением окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и водородного показателя pH.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При анализе хроматограмм среди всех детектированных веществ для дальнейшей интерпретации были выделены тринадцать: бензол, толуол, орто-, метаксилол, бутан, пентан, гексан, гептан, октан, нонан, декан, а также циклогексан и ацетон. Большая их часть встречается практически во всех пробах хотя бы в незначительных количествах. Анализ потенциометрических данных показал, что на площади исследований выделяются участки с низкими отрицательными значениями Eh (–550...–660 мВ) и повышенными значениям (6.96–8.04) показателя pH. Такие аномалии, как правило, отмечаются в контурах залежей и являются косвенным признаком нефтегазоносности территории [Яшин, 1986].

По данным газовой хроматографии аномальные концентрации ароматических УВ превышают фоновые значения в 3–10 и более раз. Среди УВ предельного ряда следует отметить аномально высокие концентрации бутана, которые в отдельных пробах достигают 120 мг/м³. Учитывая предыдущий опыт геохимических исследований на нефтегазоконденсатных и нефтяных месторождениях Западной Сибири [Оленченко, Напреев, 2010; Напреев, Оленченко, 2011; Оленченко и др., 2015], отметим, что концентрации

по бутану в 1–2 мг/м³ уже являются аномалией типа «залежь», обнаруженные концентрации свидетельствуют об интенсивном источнике углеводородных газов, которым является газовая залежь.

На рисунке 3, а показана круговая диаграмма общего углеводородного состава в пробах грунта из забоя шпуров. Содержание ароматических УВ составляет всего 2 % от суммарной концентрации УВ. Соотношение концентраций ароматических и предельных УВ ($C_{аром.}/C_{пред.}$) в пробах грунта на месторождениях нефти Западной Сибири (Рогожниковское, Чкаловское) составляет 0.23–0.59, в то время как на участке исследований в Ононской впадине это отношение равно 0.02. Основной вклад в состав предельных УВ дает бутан (93 %) и пентан (5 %). Однако без бутана соотношение ароматических и предельных УВ равно 0.24, а доля ароматических УВ возрастает до 19 % (рис. 3, б). Это близко к показателям с месторождений нефти Западной Сибири. Таким образом, на площади исследований наблюдаются аномально высокие концентрации бутана, что является прямым поисковым признаком на газовую залежь.

Известно [Бакиров и др., 1982], что по направлению миграции УВ происходит уменьшение содержания ароматических УВ, поскольку они имеют наименьшую миграционную способность по сравнению с метановыми и нафтеновыми УВ. Закономерное обеднение нефтей и конденсатов ароматическими УВ по направлению региональной миграции из очагов генерации к зонам нефтегазонакопления наблюдается в Предкавказье, Средней Азии и других регионах [Старобинец, 1966; Чахмахчев, 1983].

Таким образом, соотношение ароматических и предельных УВ в пробах пород верхней части разреза (ВЧР) показывает, что газ на северных флангах Ононской впадины может являться результатом региональной миграции УВ от юго-западного замыкания впадины к северо-восточному выклиниванию.

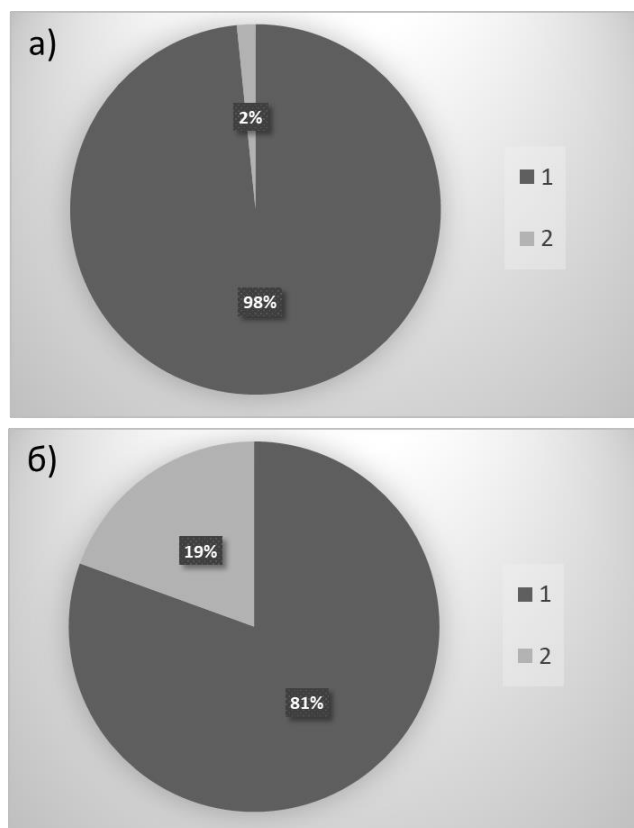


Рис. 3. Суммарный углеводородный состав проб грунта с забоя шпуров: 1 – предельные УВ; 2 – ароматические УВ.

Для определения подходов к геологическому истолкованию геоэлектрических разрезов был проведен статистический анализ распределения УЭС на площади исследований. На этой основе было выделено пять групп пород, характеризующихся разными значениями УЭС (табл. 1). Согласно известным зависимостям УЭС от состава пород [Петрофизика, 1992], каждой из групп поставлена в соответствие литологическая характеристика.

Таблица 1

Петрофизические группы, выделенные на основе статистического анализа УЭС по результатам 1D-инверсии данных ЗС

УЭС, Ом·м			Литология
Минимальное	Максимальное	Модальное	
12	30	20	Аргиллиты
30	80	50	Алевролиты
80	200	120	Песчаники, конгломераты
200	500	300	Конгломераты, эффузивы
500	1500	800	Граниты

На рисунке 4 показан геоэлектрический разрез по одному из профилей вкрест простирания впадины. Он характеризует строение впадины в самой неглубокой северо-восточной части. Здесь впадина асимметрична относительно осевой линии. В ее юго-восточной части высокоомное основание залегает на глубинах 740–1250 м, а в северо-западной – на глубинах 1650–1950 м. Максимальная глубина кровли высокоомного основания (2330 м), выявлена ближе к северо-западному борту (пункт ЗС 7).

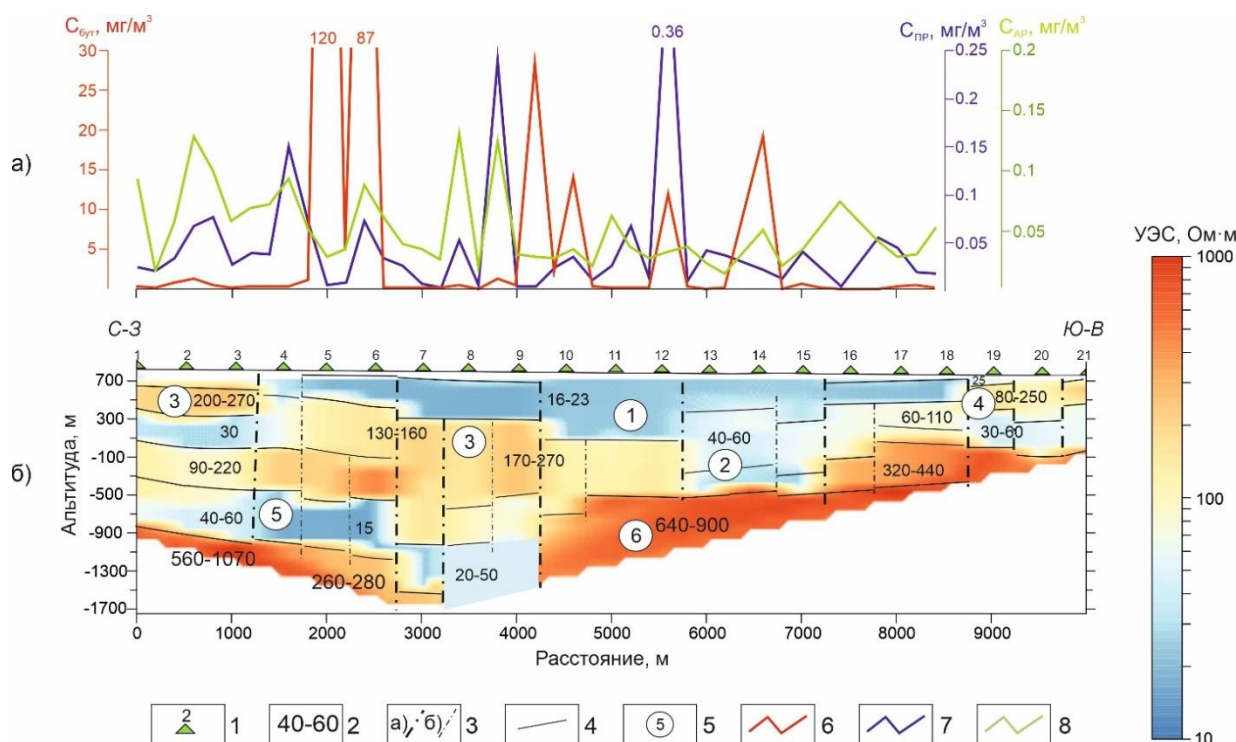


Рис. 4. Распределение бутана и предельных и ароматических УВ вдоль профиля (а) и геоэлектрический разрез Ононской впадины по данным ЗС (б): 1 – пункты ЗС; 2 – значения УЭС пород; 3 – разломы первого (а) и второго (б) порядков; 4 – геоэлектрические границы; 5 – номера геоэлектрических комплексов. Графики концентрации: 6 – бутана; 7 – предельных УВ; 8 – ароматических УВ.

В самой глубокой части впадины по пониженным УЭС в фундаменте (ЗС 8, 9) выделяется широкая (около 1000 м) зона осевого разлома.

Характерной особенностью северо-западной части разреза является слоистое строение с чередованием мощных (300–500 м) пластов высокого и низкого УЭС. В разрезе выделяются пять пластов и основание. Такой тип строения впадины во многом оказался неожиданным. В пунктах ЗС 1, 2, 3 ниже глубины 150 м выявлена толща отложений мощностью около 300 м со значениями УЭС 230–310 Ом·м (3 на рис. 4). Скважина 1-Н в северо-западном борту впадины вскрывает неглубокозалегающий (25 м) контакт осадочных пород нижнего мела с эффузивами бырцинской свиты¹. Скважина располагается на борту впадины, приблизительно в 1000 м северо-западнее от пункта ЗС 1, где мощность нижнемеловых осадочных отложений резко уменьшается. Таким образом, данные бурения дают возможность связать выявленный в пунктах ЗС 1, 2, 3 с глубины 150 м слой пород повышенного сопротивления с эффузивами бырцинской свиты.

Под эффузивной толщей выделяется чередование слоев низкого (30 Ом·м), высокого (90–220 Ом·м) и пониженного (40–60 Ом·м) УЭС. Скорее всего, эти выделенные геоэлектрические комплексы мощностью 1200 м связаны с пермо-триасовой толщей хапчерангинской серии, состоящей из песчаников, алевролитов и углисто-глинистых сланцев. Комплекс пород с низким УЭС (15 Ом·м) на глубине 1300–1400 м (номер 5 на рис. 4) интерпретируется как зона рассланцевания с улучшенными коллекторскими свойствами. В ее основании залегают породы высокого УЭС (400–1000 Ом·м), предположительно граниты.

Центральная часть впадины выполнена породами с УЭС от 16 до 30 Ом·м, которые представляют нижнемеловой осадочный комплекс (номер 1 на рис. 4). Его максимальная мощность оценивается в 1250 м. При этом пониженные значения УЭС свойственны породам, состоящим преимущественно из аргиллитов, а увеличение УЭС с глубиной до 40–60 Ом·м вызвано опесчаниванием разреза – появлением прослоев алевролитов, песчаников (номер 2 на рис. 4). Фундамент представлен высокоомными (640–900 Ом·м) породами палеозоя или докембрия (номер 6 на рис. 4).

В пунктах ЗС 16, 17, 18 на глубине 670–860 м выделяется высокоомное поднятие. Оно, вероятно, представляет интрузивный комплекс, связанный с палеовулканом Ульхунчик, расположенным в 100–150 м к юго-западу от профиля. Геоэлектрический разрез юго-восточного борта долины (до р. Онон) в пунктах ЗС 19, 20, 21 является четырехслойным ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$). В нем второй слой повышенного УЭС (номер 4 на рис. 4) представлен, вероятно, конгломератами или хлидолитами, а высокоомное основание с глубины 800 м – гранитами.

По геохимическим данным вдоль профиля 1 отмечается серия интенсивных (до 120 мг/м³) аномалий бутана с повышенным фоном по предельным и ароматическим УВ. При этом явно заметен рост концентраций предельных и ароматических УВ с юго-восточного к северо-западному борту впадины. Максимальные концентрации бутана установлены в северо-западном борту впадины над выходом разлома под четвертичные отложения вблизи ЗС 5, 6. Интенсивные аномалии (14–28 мг/м³) бутана отмечаются также в окрестностях ЗС 9, 10, где выделен глубинный осевой разлом. Менее интенсивные аномалии бутана (11–19 мг/м³) отмечены между ЗС 12, 13 и 15. Здесь на разрезе происходит смена типов геоэлектрических моделей, связанных либо с фациальным замещением, либо с тектоническими контактами.

Многослойное строение северо-западного борта впадины по профилю 1 дает основание предполагать существование ловушек УВ структурного (тектонический экран) и неструктурного

(выклинивание) типов. Породами-коллекторами в этом случае могут быть нижнемеловые песчаники, конгломераты, юрские эффузивы (пузыристые лавы и лавобрекчи), а также рассланцованная по тектоническим нарушениям пермо-триасовая толща (номер 5 на рис. 4). Покрышкой же могут выступать нижнемеловые аргиллиты, выделяющиеся на геоэлектрических разрезах слоем с УЭС 16–18 Ом·м, а также юрско-меловые кислые афанитовые эффузивы с высоким УЭС.

На рисунке 5 приведены карты распределения УЭС по площади на глубинах 500, 1000, 2000 м. Они представляют собой погоризонтные срезы значений УЭС, интерполированных в трехмерном массиве.

Карта УЭС на глубине 500 м (см. рис. 5, а) отражает распределение аргиллит-алевролитовых отложений мангутской свиты во впадине, которые выделяются пониженными значениями УЭС. Вытянутая в северо-восточном направлении вдоль правого борта низкоомная (10–25 Ом·м) область (1) связана со скоплением тонкозернистого (пелиты, алевриты) материала в Нарасунской палеомульде. Эта пологая овальная котловина была выделена ранее по гравиметрическим данным В.Д. Любалиным¹. В направлении к северо-востоку УЭС отложений возрастает, что объясняется выклиниванием бассейна палеоморя и скоплением песков в области сноса.

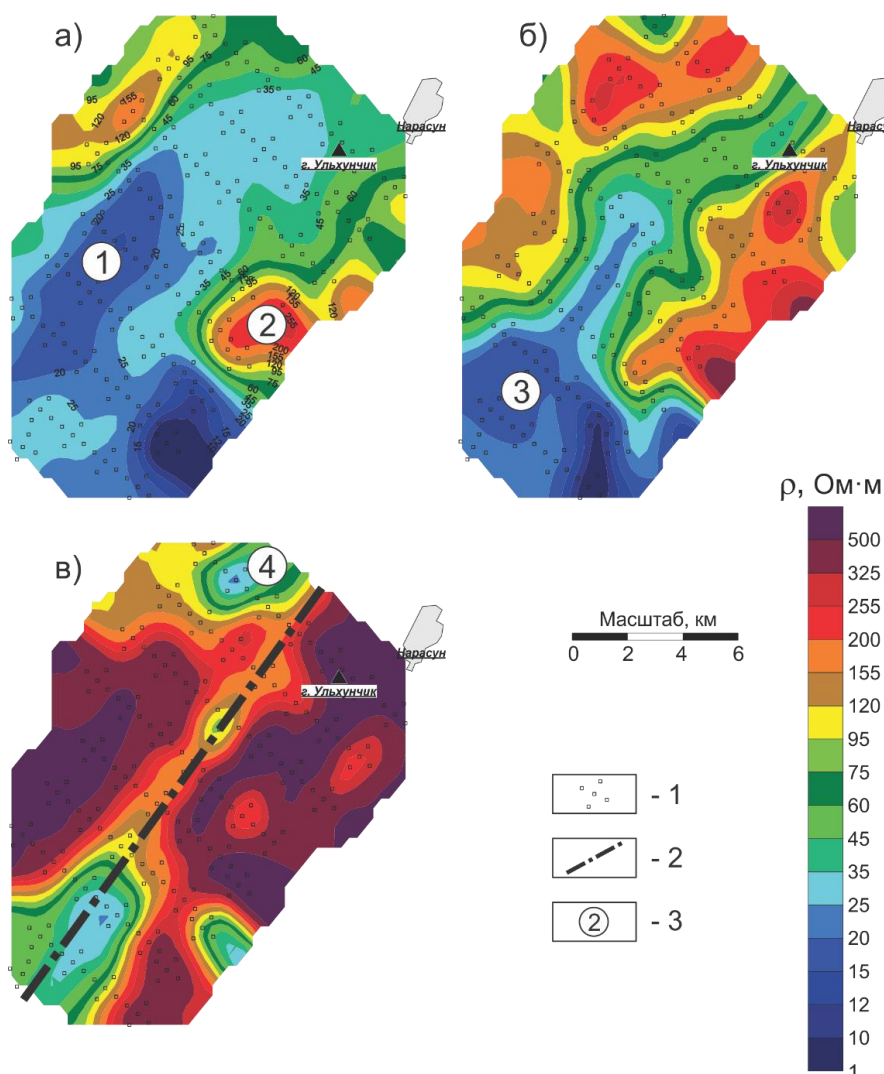


Рис. 5. Карты распределения УЭС на глубинах 500 (а), 1000 (б) и 2000 (в) метров по данным ЗС: 1 – пункты ЗС; 2 – региональный Онон-Туринский разлом; 3 – геоэлектрические комплексы: 1 – Нарасунская мульда; 2 – Курулгинский выступ (граниты); 3 – Улетуй-Харалгинская котловина; 4 – зона рассланцевания в фундаменте (коллектор).

По бортам впадины отложения более высокоомны, т. к. на глубине около 500 м они выполнены с северо-западной стороны эффузивами, а с юго-восточной – гранитоидами.

Аномалия низкого УЭС (1–10 Ом·м) в южной части участка приурочена к разломной структуре (сбросо-сдвиг), секущей Ононскую впадину с юго-востока на северо-запад. Вероятно, она связана с графитизацией пород в зоне динамометаморфизма либо с сульфидизацией в экзоконтакте интрузии.

Область высокого УЭС в северо-западном борту обусловлена выступом магматических пород, выделенной ранее по данным сейсморазведки как поднятие, ограничивающее Нарасунский прогиб и названное Курулгинским поднятием³. По данным геоэлектрики получается, что поднятие представляет собой ограниченный по размерам выступ, а в районе п. Нарасун котловина отсутствует.

На глубине 1000 м (см. рис. 5, б) в центральной части впадины выделяется щелеобразная зона низкого УЭС, приуроченная к региональному Онон-Туринскому разлому. К юго-востоку территория, занятая осадками низкого УЭС, резко расширяется (номер 3 на рис. 5, б). Здесь, между реками Улетуй и Нижняя Харалга, намечается глубокая котловина, выполненная отложениями мангутской свиты большой мощности. Этот участок следует считать перспективным на УВ. Поэтому здесь необходимо провести дополнительные исследования по изучению строения Улетуй-Харалгинской котловины и оценке перспектив ее нефтегазоносности.

На карте распределения УЭС на глубине 2000 м (см. рис. 5, в) видно, что борта впадины сложены высокоомными (300–800 Ом·м и более) образованиями (возможно, гранитоидами), однако к северо-западу от п. Нарасун породы обладают пониженным УЭС (50–100 Ом·м). Этот комплекс пород интерпретируется как пермо-триасовая толща с зонами трещиноватости и расщепления, возможно, являющаяся вторичным коллектором. Над этой зоной отмечаются интенсивные аномалии УВ в пробах пород ВЧР (см. рис. 4). В осевой части впадины отчетливо проявляется линейная зона низких УЭС, связанная с Онон-Туринским разломом, который может выступать в роли канала миграции углеводородов.

Общее представление о строении впадины в пределах участка исследований дает трехмерная модель, показанная на рис. 6. На объемной модели выделена изоповерхность УЭС 50 Ом·м. Породы с УЭС, превышающим это значение, залиты цветом. Фактически изоповерхность показывает подошву проводящих аргиллит-алевролитовых отложений мангутской свиты. Так как ранее по результатам сейсморазведки был установлен унаследованный характер структур в нижнемеловых и палеозойских отложениях³, то можно считать, что положение подошвы мангутской свиты отражает поведение поверхности фундамента впадины. Однако нужно помнить, что по результатам зондирований под меловыми отложениями установлено слоистое строение фундамента (см. рис. 4).

В процессе геологической интерпретации полученных геоэлектрических моделей в проводящей аргиллит-алевролитовой толще были выделены слои повышенного УЭС, интерпретируемые как породы с улучшенными коллекторскими свойствами (прослойки песчаников). В результате анализа границ их распространения установлено, что вдоль юго-восточного борта развита квазилинейная зона таких пород.

Нами сделано предположение, что эти вторичные коллекторы могли образоваться за счет разрушения гранитоидов и сноса крупнообломочной фракции. Этот же вывод был сделан ранее по анализу керн¹. Было отмечено, что состав осадков по мере приближения к юго-восточному борту изменяется. В этом направлении резко увеличивается доля песчаного материала. Петрографический анализ пород, слагающих толщу, свидетельствует о том, что источником сноса при их формировании явились породы обрамления. Обломки грубозернистых пород и песчаников представлены минералами и

породами, развитыми в бортах впадины, акцессорные минералы указывают на разрушение гранитных массивов, т. е. источником сноса были гранитоиды Халзанского массива, слагающие юго-восточный борт.

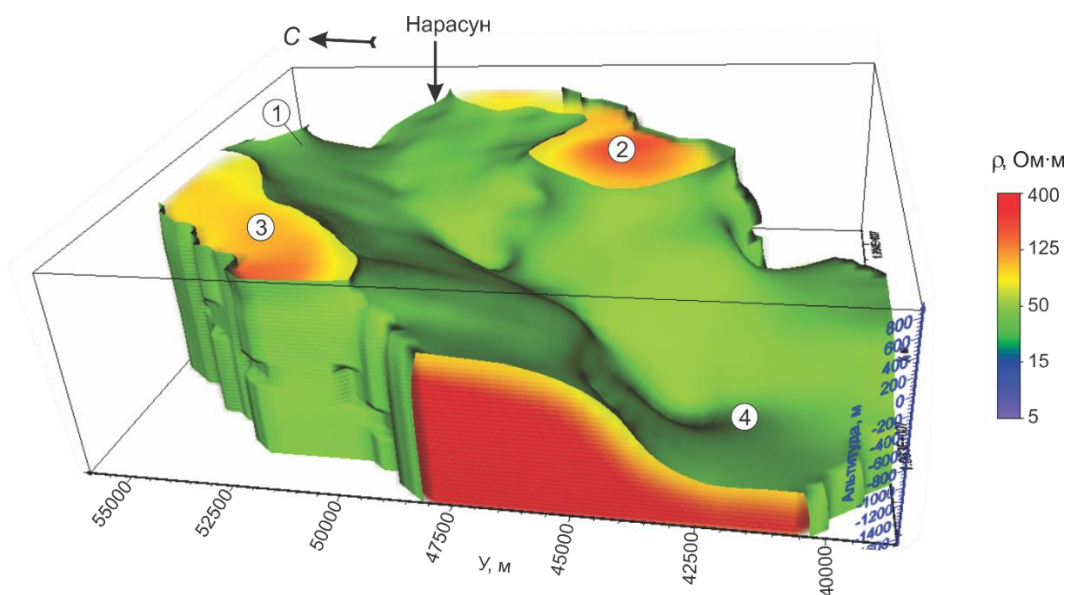


Рис. 6. Объемная геоэлектрическая модель северных флангов Ононской впадины по данным ЗС. Породы с УЭС менее 20 Ом·м – прозрачные: 1 – изоповерхность УЭС=50 Ом·м; 2 – Курулгинский выступ (граниты); 3 – левый борт (эффузивы); 4 – Улетуй-Харалгинская котловина.

В северо-западном борту аналогичные по генезису (коллювий, делювий) вторичные коллекторы прогнозируются на юго-западном замыкании участка. На основании анализа геоэлектрических моделей были предложены места заложения поисковых скважин. Критерием их выбора являлось наличие поднятия или выклинивания, пласта-коллектора, покрывки и геохимической аномалии над структурой или ее границах. Перспективные участки заложения скважин сведены в табл. 2.

Таблица 2

Перспективные участки заложения скважин

№ п.п.	Глубина до кровли коллектора, м	Мощность коллекторов, м	Характеристика структуры
1	205	360	Наклонно залегающий тектонически изолированный коллектор, перекрытый глинистой покрывкой
2	233	208	Слой-коллектор над интрузивным поднятием
3	440	375	Наклонно залегающий тектонически изолированный коллектор, перекрытый глинистой покрывкой
4	480	280	Проницаемые по трещиноватости породы, перекрытые эффузивами в юго-восточном борту
5	520	450	Моноклиальная структура. Угловое несогласие в северо-западном борту
6	1175	375	Трещиноватые породы пермо-триаса, перекрытые юрско-меловыми эффузивами в северо-западном борту
7	1390	600	Трещиноватые породы пермо-триаса, перекрытые юрско-меловыми эффузивами в центральной части северо-восточного замыкания впадины

Как следует из анализа табл. 2, глубина залегания коллекторов меняется в пределах от 200 до ~1400 м. К неглубоко залегающим коллекторам относятся слои песчаников в толще аргиллитов мелового возраста. Подобные породы, содержащие нефть и газ, были вскрыты в 50 км к юго-западу от участка на глубине около 200 м в Мангутской котловине.

На глубинах 1000–1500 м ожидаются отложения с улучшенными коллекторскими свойствами в виде трещиноватых пород пермо-триаса, перекрытых слабопроницаемыми юрско-меловыми эффузивами.

Площадные зондирования позволили установить границы распространения и мощность потенциальных коллекторов, что дало возможность выполнить оценку прогнозных геологических ресурсов. Для этого применялся объемный метод [Кузнецов и др., 2013]. Геологические ресурсы газа составляют около 9.9 млрд м³. Для расчета принято, что коэффициент открытой пористости – 0.2, коэффициент газонасыщения – 0.2, пластовое давление – 5 МПа, коэффициент сжимаемости – 0.85, поправка за температуру 1.01. При коэффициенте извлечения газа, равным 0.8, извлекаемые запасы газа могут достигать 7.9 млрд м³.

Оценка геологических ресурсов нефти составила 261 млн т. При расчетах применялись следующие параметры: коэффициент открытой пористости – 0.2, коэффициент нефтенасыщения – 0.2, плотность нефти – 0.92 кг/м³, объемный коэффициент – 0.85. При коэффициенте извлечения нефти, равным 0.3, извлекаемые запасы нефти составят около 78 млн т.

Согласно нормативным документам [Приказ..., 2013], месторождение, содержащее по величине начальных извлекаемых запасов нефти от 30 до 300 млн т, считается крупным, а содержащее от 5 до 30 млрд м³ газа – средним по запасам.

Таким образом, результаты электроразведки и геохимических исследований показывают, что на северных флангах Ононской впадины ожидается средняя по масштабам газовая залежь, а по извлекаемым запасам нефти – крупное месторождение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокий углеводородный потенциал Ононской впадины по данным электромагнитных зондирований и газовой хроматографии подтверждается геолого-структурными и геодинамическими данными. Последние сводятся к следующему.

1. Ононская впадина находится в зоне влияния глубинного (мантийного) Онон-Туринского разлома, являющимся пограничной областью между двумя структурно-формационными зонами – Агинской и Даурской. Этот разлом является восточной границей активной геодинамической структуры «ВЕБИРС», протягивающейся на север-северо-восток вплоть до Арктического побережья.

Различие этих зон подтверждается и региональными геофизическими полями: магнитным и гравитационным. Причем Агинская зона (правобережье р. Онон) существенно гранитоидная. Тектоническая активность среды подчеркивается и отмечаемыми шарьяжно-надвиговыми структурами фундамента.

2. Нелинейность распределения физических свойств горных пород Ононской впадины по вертикали, что подчеркивается результатами геофизических работ и материалами по литологии, т. е. чередование зон уплотнения и разуплотнения, имеющих волновой характер – как проявление нелинейной геодинамики, что значительно расширяет глубины возможного образования углеводородов. Перспективны зоны разуплотнения в кристаллическом фундаменте.

3. Кристаллический фундамент (в нашем случае – слоисто-блоковый) и осадочный чехол рассматриваются как согласованная флюидодинамическая углеводородная система, которая развивается в синергетическом режиме. В вулканитах, подстилающих осадочный чехол впадины, также фиксируются битумы. Уместно напомнить слова Д.И. Менделеева: «Если нефть есть в глубине, надо признать, что она будет находиться и наверху, так или иначе проникает выше».

4. В Ононской впадине, в центральной части, обращает на себя внимание весьма интересная секущая разломная структура (сбросо-сдвиг) северо-западного простирания. Это геоблоковая зона повышенной магмофлюидопроницаемости кристаллического фундамента, находящей отражение в чехле впадины.

Известно, что промышленные скопления углеводородного сырья находятся на пересечении разломных зон. К этой зоне тяготеют концентрации углеводородов и по данным геохимического опробования, т. е. здесь возможны «трубы дегазации» по П.Н. Кропоткину [Кропоткин, 1986].

Активная зона северо-западного простирания разделяет Ононскую впадину на две части: северную и южную, которые отличаются, прежде всего, в структурно-тектоническом отношении: фундамент южной части более древний (с блоками докембрийских пород), в отличие от более молодого (позднепалеозойского) северной части.

В северной части отчетливо выделяется ровоподобная структура (расщелина) северо-восточного простирания шириной 2–4 км. Наиболее погруженные центральные части (при конседиментационном развитии), видимо, более перспективные на УВ на глубинах 2–2.2 км и связаны, возможно, с тектоническим меланжем. В результате электроразведки и геохимических исследований в пределах северных флангов Ононской впадины выявлены перспективные геологические структуры и выделены интенсивные углеводородные аномалии.

Установлено уменьшенное УЭС пород мангутской свиты нижнего мела, что является признаком плохо проницаемых глинистых пород, которые могут исполнять роль покрышки. Кроме этих пород в качестве покрышки могут также выступать и юрско-меловые плотные эффузивы. В толще мангутской свиты выделены пласты пород с улучшенными коллекторскими свойствами мощностью 150–300 м. Перспективными с точки зрения нефтегазоносности являются также перекрытые меловыми аргиллитами и юрско-меловыми эффузивами расланцованные пермо-триасовые отложения, выполняющие роль вторичных коллекторов, над которыми отмечаются интенсивные аномалии бутана, предельных и ароматических УВ. В юго-западной части участка выявлена Улетуй-Харалгинская котловина, заполненная аргиллит-алевролитовыми отложениями большой (2300 м) мощности. Северо-восточная резко погружающаяся часть котловины может быть также перспективной на скопления УВ. На площади указаны участки, перспективные для заложения поисковых скважин.

По оценке извлекаемых запасов газа, в пределах площади исследований, ожидается среднее по масштабам месторождение газа, а по оценке извлекаемых запасов нефти – крупное месторождение.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О., Корсаков М.А. Автоматизированная система для интерпретации данных индукционных импульсных электромагнитных зондирований с учетом индукционно-вызванной поляризации // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 8. С. 1282–1293. doi:10.15372/GiG20140809. EDN:SKHNZV.

- Бакиров А.А., Бордовская М.В., Мальцева А.К., Табасаранский З.А.** Геология и геохимия нефти и газа. М.: Недра, 1982. 288 с.
- Буддо И.В., Поспеев А.В.** Прецизионная инверсия данных ЗСБ при поисках нефти и газа на юге Сибирской платформы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2019. 149 с. EDN: MYYKUC.
- Гончаров И.В.** Геохимия нефтей Западной Сибири. М.: Недра, 1987. 181 с.
- Ефимов А.С., Смирнов М.Ю., Тригубович Г.М., Махнач Е.Н.** Комплексование сейсморазведки и адаптивной 3D-электроразведки М-ЗСБ и МТЗ при прогнозировании нефтегазовых коллекторов в Восточной Сибири // Нефть. Газ. Новации. 2016. № 1. С. 35–41. EDN:VPGAVB.
- Ингеров О.** Применение электроразведочных методов при поисках залежей углеводородов // Записки горного института. 2005. Т. 162. С. 15–25.
- Исаев В.П.** Геохимические методы прогноза и поисков месторождений нефти и газа: учебное пособие. Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. 196 с.
- Компаниец С.В., Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю.** Проявление и учет индукционно-вызванной поляризации при изучении осадочного чехла юга Сибирской платформы методом ЗСБ // Геофизика. 2013. № 1. С. 35–40. EDN:RXGOQN.
- Кропоткин П.Н.** Дегазация Земли и генезис углеводородов // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. 1986. Т. 31, № 5. С. 540–547.
- Кузнецов Д.В., Кулешов В.Е., Могутов А.С.** Подсчёт запасов нефти и растворённого газа: учебное пособие. Ухта: УГТУ, 2013. 112 с.
- Напreeв Д.В., Оленченко В.В.** Комплексование геофизических и геохимических методов при поиске залежей углеводородов в Усть-Тымском нефтегазоносном районе // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5. № 1. EDN:OYYSNV. https://ngtp.ru/rub/2010/6_2010.html.
- Напreeв Д.В., Оленченко В.В.** Выявление нефтегазоносных структур и оценка их перспективности по данным геофизических и геохимических методов // Геофизические методы при разведке недр / Под ред. Л.Я. Ерофеева, В.И. Исаева. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. С. 181–183.
- Неведрова Н.Н., Санчаа А.М.** Применение электромагнитных зондирований становлением поля для нефтегазопоисковых исследований в Западной Сибири // Записки Горного института. 2013. Т. 200. С. 71–75. EDN:QLIKHN.
- Оленченко В.В., Напreeв Д.В.** Поляризуемость четвертичных глин и ее взаимосвязь с нефтегазоносностью мезозойских отложений (на примере Западной Сибири) // 4-ая Международная конференция и выставка «Новые идеи через интеграцию геонаук». Санкт-Петербург, 2010. CD-ROM.
- Оленченко В.В., Поспеева Е.В., Антонов Е.Ю., Напreeв Д.В.** Геологическая информативность комплекса электроразведочных и геохимических методов при поисках нефти в условиях Западной Сибири // Применение современных электроразведочных технологий при поисках месторождений полезных ископаемых: Сборник тезисов XII международного геофизического научно-практического семинара (г. Санкт-Петербург, 18–19 марта 2015 г.). Санкт-Петербург, 2015. С. 189–191. CD-ROM.
- Петрофизика:** Справочник. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые / Под ред. Н.Б. Дортман. М.: Недра, 1992. 391 с.
- Приказ** Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 1 ноября 2013 г. N 477 г. Москва "Об утверждении Классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов". Зарегистрирован в Минюсте РФ 31 декабря 2013 г. Регистрационный N 30943. Опубликован 3 февраля 2014 г. Вступил в силу

1 января 2016 г. // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. № 5. 03.02.2014.

Старобинец И.С. Геохимия нефтей и газов Средней Азии. М.: Недра, 1966. 292 с.

Шарлов М.В., Агафонов Ю.А., Стефаненко С.М. Современные телеметрические электроразведочные станции SGS-TEM и FastSnap. Эффективность и опыт использования // Приборы и системы разведочной геофизики. 2010. Т. 31, № 1. С.20–24. EDN:THSPGJ.

Чихмахчев В.А. Геохимия процесса миграции углеводородных систем. М.: Недра, 1983. 231 с.

Эпов М.И., Антонов Е.Ю., Неvedрова Н.Н., Оленченко В.В., Поспеева Е.В., Напреев Д.В., Санчаа А.М., Потапов В.В., Плотников А.Е. Комплекс электромагнитных и геохимических методов для нефтепоисковых исследований в Западной Сибири // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 5–6. С. 962–977. doi:10.15372/GiG20140518. EDN:SMXAYH.

Яшин Я.И. Физико-химические основы хроматографического разделения. М.: Химия, 1976. 216 с.

REFERENCES

Antonov E.Yu., Kozhevnikov N.O., Korsakov M.A. Software for inversion of TEM data affected by fast-decaying induced polarization // Russian Geology and Geophysics. 2014. Vol. 55 (8). P. 1019–1027. doi: 10.1016/j.rgg.2014.07.009. EDN:UENCAF.

Bakirov A.A., Bordovskaya M.V., Maltseva A.K., Tabasaransky Z.A. Petroleum geology and geochemistry (In Russ.). Nedra, Moscow, 1982. 288 p.

Buddo I.V., Pospeev A.V. Precise inversion of Transient Electromagnetic Method data for oil and gas exploration in the south of the Siberian Craton (In Russ.). Irkutsk State University Publishing House, Irkutsk, 2019. 149 p.

Chakhmakhchev V.A. Geochemistry of the hydrocarbon systems migration (In Russ.). Nedra, Moscow, 1983. 231 p.

Эпов М.И., Антонов Е.Ю., Неvedрова Н.Н., Оленченко В.В., Поспеева Е.В., Напреев Д.В., Санчаа А.М., Потапов В.В., Плотников А.Е. Complex of electromagnetic and geochemical methods for oil exploration studies in Western Siberia // Russian Geology and Geophysics. 2014. Vol. 55 (5–6). P. 763–774. doi: 10.1016/j.rgg.2014.05.019. EDN:UGGSHR.

Efimov A.S., Smirnov M.Yu., Trigubovich G.M., Makhnach E.N. Integration of seismic exploration and adaptive 3D electrical prospecting using TEM and MT methods for predicting oil and gas reservoirs in Eastern Siberia // Neft. Gas. Novacii. 2016. No. 1. P. 35–41. (In Russ.).

Goncharov I.V. Geochemistry of West Siberian oils (In Russ.). Nedra, Moscow, 1987. 181 p.

Ingerov O. Application of electrical prospecting methods in hydrocarbon deposit exploration // Journal of Mining Institute. 2005. Vol. 162. P. 15–25. (In Russ.).

Isaev V.P. Geochemical methods for forecasting and prospecting oil and gas fields: Textbook (In Russ.). Infra-Engineering, Moscow, Vologda, 2022. 196 p.

Kompaniets S.V., Kozhevnikov N.O., Antonov E.Yu. Manifestation and accounting of induction-induced polarization in the study of sedimentary cover in the south of the Siberian Platform using TEM method // Geofizika. 2013. No. 1. P. 35–40. (In Russ.).

Kropotkin P.N. Earth degassing and hydrocarbon genesis // Journal of the All-Union Chemical Society named after D.I. Mendeleev. 1986. Vol. 31 (5). P. 540–547. (In Russ.).

- Kuznetsov D.V., Kuleshov V.E., Mogutov A.S.** Calculation of oil and dissolved gas reserves: Textbook (In Russ.). Ukhta State Technical University, Ukhta, 2013. 112 p.
- Napreev D.V., Olenchenko V.V.** Complex application of geophysical and geochemical methods in searching hydrocarbon pools in the Ust-Tym petroleum district // Petroleum Geology. Theory and Practice. 2010. Vol. 5 (1). (In Russ.). https://ngtp.ru/rub/2010/6_2010.html.
- Napreev D.V., Olenchenko V.V.** Identification of oil and gas bearing structures and assessment of their prospects based on geophysical and geochemical data // Geophysical methods in subsurface exploration / L.Ya. Erofeev, V.I. Isaev (Eds.). Tomsk Polytechnic University Publishing House, Tomsk, 2011. P. 181–183. (In Russ.).
- Nevedrova N.N., Sanchaa A.M.** Application of transient electromagnetic soundings for oil and gas exploration studies in Western Siberia // Journal of Mining Institute. 2013. Vol. 200. P. 71–75. (In Russ.).
- Olenchenko V.V., Napreev D.V.** Polarizability of Quaternary clays and its relationship with oil and gas potential of Mesozoic deposits (on the example of Western Siberia) // 4th International Conference and Exhibition «New Ideas through Integration of Geosciences». St. Petersburg, 2010. CD-ROM. (In Russ.).
- Olenchenko V.V., Pospieva E.V., Antonov E.Yu., Napreev D.V.** Geological informativeness of the complex of electrical prospecting and geochemical methods in oil exploration under Western Siberian conditions // Application of modern electrical prospecting technologies in mineral exploration: Proceedings of the XII International Geophysical Scientific and Practical Seminar (Saint Petersburg, March 18–19, 2015). St. Petersburg, 2015. P. 189–191. CD-ROM. (In Russ.).
- Order** of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated November 1, 2013 No. 477, Moscow «On Approval of the Classification of Oil and Combustible Gas Reserves and Resources». Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on December 31, 2013. Registration No. 30943. Published on February 3, 2014. Comes into force on January 1, 2016 // Bulletin of Normative Acts of Federal Executive Authorities. No. 5. Publ. 03.02.2014. (In Russ.).
- Petrophysics.** Reference book in 3 volumes. Vol. 1. Rocks and minerals / N.B. Dortman (Ed.) (In Russ.). Nedra, Moscow, 1992. 391 p.
- Sharlov M.V., Agafonov Yu.A., Stefanko S.M.** Modern telemetric electrical prospecting stations SGS-TEM and FastSnap. Efficiency and experience of use // Instruments and Systems of Exploration Geophysics. 2010. Vol. 31 (1). P. 20–24. (In Russ.).
- Starobinets I.S.** Geochemistry of petroleum in Central Asia (In Russ.). Nedra, Moscow, 1966. 292 p.
- Yashin Ya.I.** Physical and chemical fundamentals of chromatographic separation (In Russ.). Chemistry, Moscow, 1976. 216 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ОЛЕНЧЕНКО Владимир Владимирович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геоэлектрики Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: электроразведка применительно к решению задач поисков углеводородов, твердых полезных ископаемых и геокриологических исследований.

ЭПОВ Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: теория и практика электромагнитных методов; ЕповMI@ipgg.sbras.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5934-7063>.

НАПРЕЕВ Денис Викторович – главный геолог ООО НППГА «Луч». Основные научные интересы: геохимические методы при поисках углеводородов; *ndv@looch.ru*.

САЛИХОВ Владимир Салихович – доктор геолого-минералогических наук, профессор. Основные научные интересы: геология Восточной Сибири и Забайкалья; *salihovvs41@inbox.ru*.

АНТОНОВ Евгений Юрьевич – доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории геоэлектрики Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: прямые и обратные задачи электромагнитных зондирований, разработки алгоритмов и программного обеспечения для электроразведки; *AntonovEY@jogg.sbras.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-8269-2834>.

*Статья поступила в редакцию 30 декабря 2025 г.,
одобрена после рецензирования 2 марта 2026 г.,
принята к публикации 2 марта 2026 г.*