



© О.В. Лунина,
В.А. Кондратьев, 2025



УДК 553.98(571.1)
<https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-1-14-26>

ВЫЯВЛЕНИЕ РАЗЛОМОВ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК ИХ ФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЛОКАЛЬНОГО УЧАСТКА ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

О.В. Лунина^{1,*}, В.А. Кондратьев²

¹Институт земной коры СО РАН, РФ, Иркутск

²АО «Иркутскэнерго», РФ, Иркутск

Электронный адрес: lounina@inbox.ru

Введение. Одной из ключевых проблем при поиске и разведке месторождений нефти и газа Сибирской платформы является отсутствие обоснованных карт разломов, что усложняет понимание модели геологического строения объектов (залелей) на этой территории. Важными являются геодинамические условия формирования тектонических нарушений, влияющие на скопление углеводородов.

Цель настоящей работы заключалась в картировании разломно-блоковой структуры локального участка юга Сибирской платформы и реконструкции этапов ее формирования для выявления разрывных нарушений, благоприятных для локализации вдоль них нефти и газа. Площадь расположена в 50 км на юго-запад от г. Усть-Кут.

Материалы и методы. В основе работ лежит тектонофизический анализ полевых данных о разрывных нарушениях и трещиноватости; линеаментов речной сети и рельефа, полученных в ходе дешифрирования топографических карт, космоснимков и цифровой модели рельефа (с сайта <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=SRTM>); материалов 2D-сейсморазведки, электроразведки (метод ЗСБ, объем — 1038 точек), магниторазведки (шаг измерений 250 м) и гравиразведки (шаг измерений 500 м).

В результате проведенных исследований нами выделено шесть главных этапов тектогенеза, связанных с тектоническими событиями в Саяно-Байкальской и Байкало-Патомской складчатых областях Центрально-Азиатского подвижного пояса. Для каждого этапа показаны разломы, которые могли формироваться или активизироваться в определенной геодинамической обстановке (установлен тип смещений по ним). Согласно полученной тектонофизической модели благоприятными для нефтегазонасыщения крутопадающими и наклонными зонами повышенной нарушенности пород на изученном участке в разное время были разломы северо-западной, север-северо-западной, субмеридиональной, север-северо-восточной и северо-восточной ориентировок. Разрывные нарушения северо-восточного простирания были синседиментационными и на этапе формирования залежей углеводородов увеличивали проницаемость геологической среды. Миграция флюидов с их скоплением вдоль северо-западных разрывных нарушений могла произойти в четвертый этап сдвиговых деформаций при северо-западном положении оси сжатия и северо-восточном положении оси растяжения.

Заключение. Исследования с целью картирования разломов и изучения напряженного состояния земной коры для разных временных этапов развития позволяют более эффективно проводить поиски месторождений нефти и газа, а полученные данные об эволюции разрывной сети могут быть полезны для других прилегающих территорий, перспективных на углеводороды.

Ключевые слова: разлом, тектонофизическая модель, напряженное состояние, этап, юго-запад Непско-Ботубинской антеклизы

Благодарности: авторы благодарны И.А. Денисенко, А.В. Бочалгину, А.С. Низовцеву и Е.Б. Игнатенко за помощь при сборе полевого материала и техническую поддержку при подготовке рисунков. Работа выполнена в рамках государственного задания Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук на 2021–2025 гг., проект № FWEF-2021-0009.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лунина О.В., Кондратьев В.А. Выявление разломов и геодинамических обстановок их формирования для обнаружения нефтегазоперспективных объектов (на примере локального участка юга Сибирской платформы). ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2025;10(1):14–26. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-1-14-26>

Статья поступила в редакцию 23.12.2024

Принята к публикации 24.01.2025

Опубликована 31.03.2025

IDENTIFICATION OF FAULTS AND GEODYNAMIC CONDITIONS OF THEIR FORMATION FOR THE DETECTION OF OIL AND GAS PROSPECTS (CASE STUDY FROM A LOCAL AREA OF THE SOUTH OF THE SIBERIAN PLATFORM)

Oksana V. Lunina^{1,*}, Viktor A. Kondratiev²

¹Institute of the Earth's Crust, SB RAS, RF, Irkutsk

²Stock company «Irkutskenergo», RF, Irkutsk

E-mail: lounina@inbox.ru

Introduction. One of the key problems in the search and exploration of oil and gas fields of the Siberian platform is a lack of substantiated fault maps that clarify the models of the geological structure of objects. Important factors are the geodynamic conditions of the formation of tectonic faults that affect the hydrocarbon accumulation.

Aim of this work was to map the fault-block structure of a local area of the Southern Siberian platform and reconstruct stages of its formation to identify discontinuities favorable for localization of oil and gas along them. The area is located 50 km southwest of the city of Ust-Kut.

Materials and methods. Tectonophysical analysis of data on faults and fracturing, river and relief lineaments derived from interpretation of topographic maps, satellite images and digital elevation models (from <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=SRTM>); work materials of 2D seismic exploration, electrical exploration (ZSB method, volume — 1038 points), magnetic exploration (measurement step 250 m) and gravity exploration (measurement step 500 m).

Results. As a result of the research, we identified six main stages of tectogenesis, which are associated with tectonic events in the Sayan-Baikal and Baikal-Patom folded regions of the Central Asian mobile belt. For each main stage, faults that could have formed or become active in a certain geodynamic setting were identified, and the slip type along them was reconstructed. According to the obtained tectonophysical model, the steeply dipping and inclined fault zones trending north-west, north-north-west, submeridional, north-north-east and north-east were favorable for saturation with hydrocarbons in the studied area at different times. The north-east-trending faults were syndimentary and, at the stage of formation of hydrocarbon deposits, could increase the permeability of the strata. Migration of fluids with their possible accumulation along the NW faults could have occurred in the fourth stage of shear deformation with the north-west compression axis and the north-east extension axis.

Conclusions. The studies carried out to map faults and study the stressed state of the earth's crust for different time stages of the development of territories make it possible to more effectively search for oil and gas deposits, and the results may be useful for other adjacent territories that are promising for hydrocarbon exploration.

Keywords: fault, tectonophysical model, state of stress, stage, southwest of the Nepa-Botuoba antecline

Acknowledgements: The authors are grateful to I.A. Denisenko, A.V. Bochalgin, A.S. Nizovtsev, and E.B. Ignatenko for assistance in collecting field data and technical support in preparing the figures. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences for 2021–2025, project FWEF-2021-0009.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

For citation: Lunina O.V., Kondratiev V.A. Identification of faults and geodynamic conditions of their formation for the detection of oil and gas prospects (case study from a local area of the south of the Siberian platform). PRONEFT. Professionally about oil. 2025;10(1):14–26. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-1-14-26>

Manuscript received 23.12.2024

Accepted 24.01.2025

Published 31.03.2025

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых проблем при поиске и разведке месторождений полезных ископаемых является отсутствие обоснованных карт разломно-блокового строения, уточняющих модели геологического строения объектов (залей). Не менее важными являются геодинамические условия формирования тектонических структур, которые оказывают значительное влияние на скопление углеводородов (УВ). Для решения задач, связанных с картированием разломов и изучением напряженного состояния земной коры, характеризующих геодинамические обстановки, успешно применяется тектонофизический

анализ [1, 2]. Цель настоящей работы — провести картирование разломно-блоковой структуры локального участка юга Сибирской платформы и реконструировать этапы ее формирования для выявления разрывных нарушений, благоприятных для локализации вдоль них залежей УВ. Территория изучения расположена в восточной части Иркутского амфитеатра Сибирской платформы, на юго-западной периклинали Непско-Ботубинской антеклизы (НБА), в 50 км на юго-запад от г. Усть-Кут до его центра (рис. 1). В пределах НБА и прилегающей территории открыты крупные нефтяные, нефтегазоконденсатные и газоконденсатные месторождения [3]. Фундамент платформы

в районе работ имеет сложное гетерогенное строение. В осадочном чехле выделяются три структурно-тектонических комплекса: нижний — подсолевой, средний — солевой и верхний — надсолевой [4]. Для изучаемого участка имеются структурные карты по 2D сейсморазведочным данным, выделены основные геоэлектрические горизонты, построены карты магнитного и гравитационного полей. Главными перспективными объектами для поиска УВ являются терригенный парфеновский горизонт, стратиграфически приуроченный к нижней части тирской свиты, и усть-кутский карбонатный горизонт, приуроченный к тэтэрской свите даниловского горизонта венда.

ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЧЕК ЗАЛОЖЕНИЯ ПОИСКОВЫХ СКВАЖИН НА ПЛОЩАДЯХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ВЫПОЛНЕНА ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКАЯ РАБОТА, КОТОРЫЕ ПОЗВОЛИЛИ ЗАКАРТИРОВАТЬ РАЗЛОМЫ, ИЗУЧИТЬ ИХ КИНЕМАТИКУ ЧЕРЕЗ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЗНЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ.

Ранее на рассматриваемом локальном участке разломы выделялись при выполнении геолого-геофизических и геохимических работ, но сеть дизъюнктивов на полученных схемах различается. В то же время положение разломов, интерпретированных по комплексу геолого-геофизических данных, одинаково на разных сейсмических уровнях, что может иметь место только при строго вертикальных нарушениях и пересекающих всю толщу разреза. Это свидетельствует о сложности картирования разрывных нарушений в пределах платформенного чехла.

На тектонической карте Сибирской платформы описываемый участок расположен в блоке, ограниченном региональными глубинными разломами субмеридионального и северо-западного простираний (рис. 1). Для ряда северных месторождений НБА отмечается, что большинство разрывных нарушений группируются в системы северо-западного (СЗ), субмеридионального, северо-северо-восточного (ССВ) и северо-восточного (СВ) направлений, неоднозначно влияющие на нефтегазоносность [3]. С одной стороны, они могут экранировать миграционные потоки флюидов, способствуя при благоприятных условиях возникновению ловушек УВ. За счет интенсивной трещиноватости в крыльях разломов увеличивается проницаемость коллекторов. С другой стороны, дизъюнктивы могут способствовать вертикальной миграции

нефти и газа, что ведет к разрушению сформированных ранее залежей или вертикальному перемещению флюидов по разрезу [3]. Таким образом, важность картирования разломов и этапности их формирования приобретает особую актуальность для площадей Сибирской платформы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В подготовительный период работ проведен сбор, изучение и анализ фондовых и опубликованных материалов. Данные аккумулированы в проекте геоинформационной системы (ГИС) QGIS 3.22.0. Для площадного картирования разломов выполнено дешифрирование линеаментов на разномасштабных топографических картах, космоснимках и цифровой модели рельефа (ЦМР) с пространственным разрешением 30 м/пиксель, загруженной с сайта: <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=SRTM>.

На следующем этапе проведены полевые тектонофизические исследования, которые объединяют стандартные структурно-геологические методы картирования разрывных нарушений и детальное изучение трещиноватости в массиве горных пород по принципам, описанным в [5, 6]. В обнажениях проводились массовые замеры элементов залегания трещин (75–100 штук) и характеристика зон разрывных нарушений (рис. 2), которые использовались для трассирования разломов и реконструкции полей напряжений. При наличии документировались штрихи скольжения, складки, смещения маркеров, проявления разрывов в рельефе местности. В результате проведения полевых работ изучено 60 выходов горных пород и сделано 7 дополнительных точек геоморфологических наблюдений. Измерениями охвачены все возможные и доступные коренные обнажения в северной части целевого участка. Общее число разноранговых разрывов составило 5156 замеров. Обработанные и первичные данные замеров представлены послойно в ГИС QGIS 3.22.0.

На глубине разломы выделялись на основе дешифрирования структурных карт отражающих горизонтов с одновременным анализом сейсмических разрезов в программе Petrel. При выделении разломов по сейсмическим данным также учитывались данные о характеристиках разрывных нарушений, выявленных по полевым материалам, линеаментному анализу рельефа и картам магнитного и гравитационного полей.

Для реконструкции напряженного состояния земной коры и кинематики разрывов

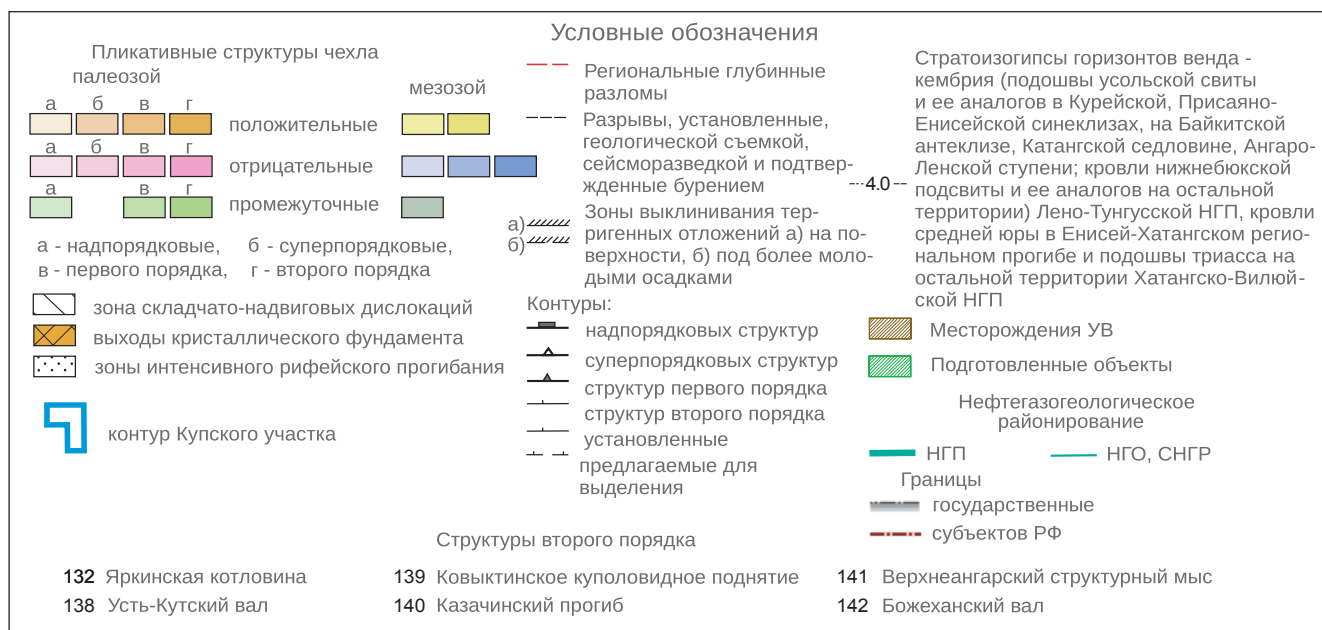
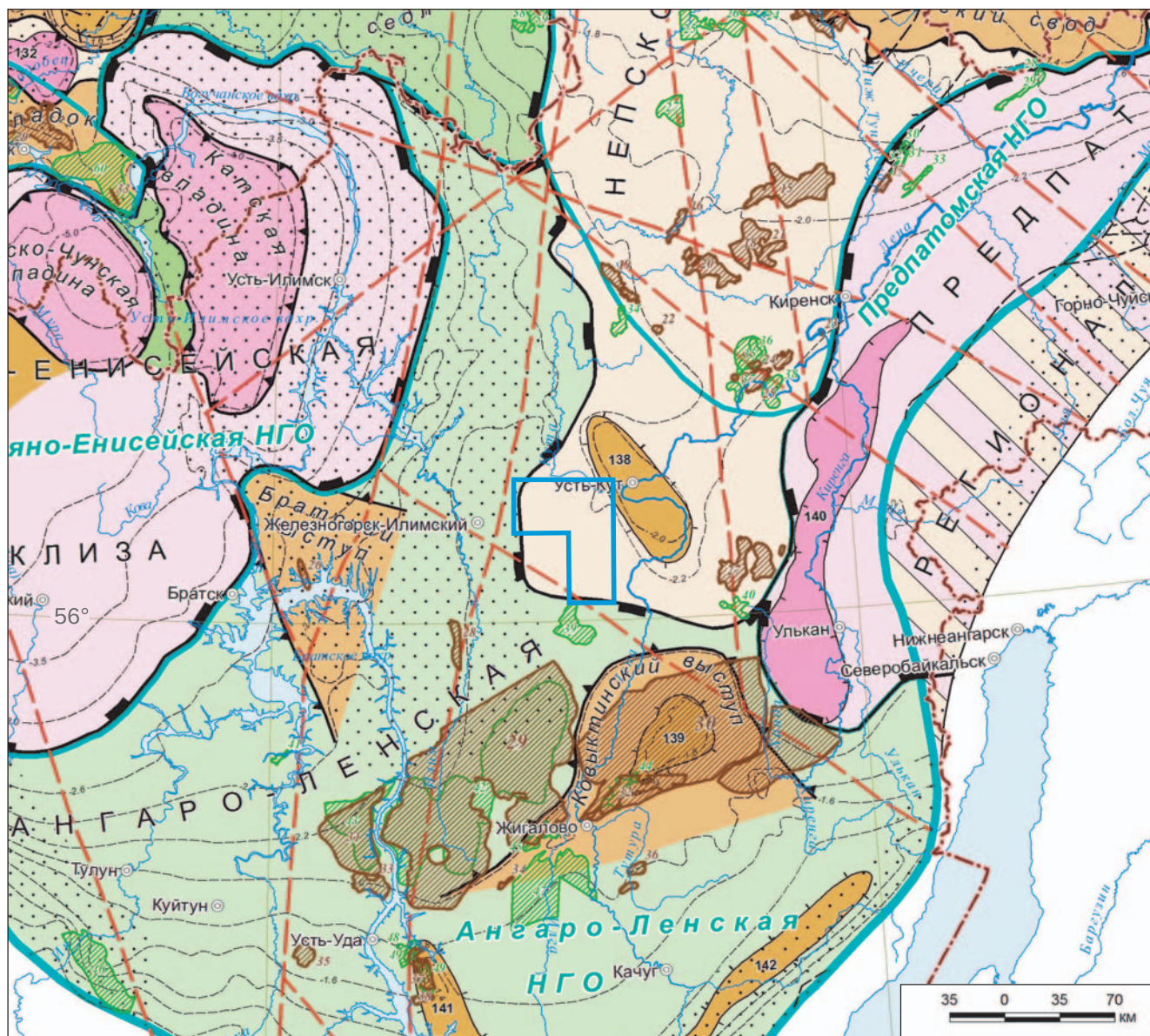


Рис. 1. Контур участка исследований на фрагменте тектонической карты нефтегазоносных провинций Сибирской платформы, редактор В.С. Старосельцев, 2018

Fig. 1. Position of the research area on a fragment of the tectonic map of the oil and gas provinces of the Siberian Platform, editor V.S. Staroseltsev, 2018



Рис. 2. Пример крутопадающих (слева) и наклонных (справа) зон разрывных нарушений в коренных выходах горных пород на участке исследований. Фото О.В. Луниной

Fig. 2. An example of steeply dipping (left) and inclined (right) fault zones in bedrock outcrops in the study area. Photo by Oksana V. Lunina

использовался комплекс кинематических и парагенетических методов М.В. Гзовского [7], О.А. Гущенко [8] и Ж. Анжелье, реализованные в программе "Win-Tensor" Д. Дельво [9], П.Н. Николаева [10], В.Н. Даниловича [11] и К.Ж. Семинского [6] в зависимости от типа данных и получаемого структурного рисунка на диаграммах трещиноватости, отражающего те или иные закономерности образования трещин. Поскольку замеры проведены в нижне-среднекембрийских (литвинцевская свита), средне-верхнекембрийских (верхоленская и илгинская свиты) и нижнеордовикских (усть-кутская свита) отложениях, возраст полученных полей напряжений является более поздним, чем возраст этих пород. Для реконструкции напряженного состояния подсолевого и солевого комплексов применен парагенетический анализ разломной сети [2], откартированной на более глубоких структурных горизонтах земной коры.

РЕЗУЛЬТАТЫ

РАЗЛОМНО-БЛОКОВАЯ СТРУКТУРА ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА И ЕЕ СВЯЗЬ С ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРОЙ

В ходе комплексной интерпретации результатов полевых исследований, линейно-ментного анализа рельефа и геофизических данных составлены карты разломно-блоковой структуры участка работ по опорным горизонтам (рис. 3), в том числе с выделением на поверхности разломных зон для современного этапа развития верхней части осадочного чехла (рис. 4). Ширина зон условно определена по сгущению спрямленных элементов рельефа, выделенных ручным (на топокартах) и автоматизированным способом (по ЦМР) в программе LEFA [12] и характеризующихся вытянутостью в одном направлении. Среди них 9 зон протяженностью

более 50 км условно отнесены к первому иерархическому уровню. Входящие в них наиболее протяженные разломы, откартированные на разных горизонтах и с поверхности, в целом хорошо согласуются между собой (рис. 5). Отдельные разломы выдержаны от поверхности до фундамента, другие разделяются на сегменты, образуя зоны, в которых дизъюнктивы могут проявляться не на всех глубинах. Такое соотношение объясняется неравномерным строением зон разломов, как по падению, так и по простиранию и их избирательной активизацией на разных этапах тектогенеза. Близкое расположение крутопадающих субпараллельных плоскостей разломов может быть также связано с их послойным перемещением.

По направлению в порядке убывания развиты субмеридиональные, СЗ, ССЗ, ССВ, субширотные и в меньшей степени СВ разломы (рис. 3–4), что согласуется с данными полевых замеров в точках наблюдения. Отмечается резкое доминирование субмеридиональных структур над дизъюнктивами других простираний (рис. 4) в сравнении с их выходом на глубину (рис. 3). При этом пять из девяти разломных зон, ассоциируемых с зонами 1-го иерархического уровня, имеют направления: 2°, 4° 18', 0–21° и 13°. В перспективных на УВ терригенном и карбонатном интервалах разреза подсолевого комплекса выделяются локальные разломы ССВ, ССЗ и СЗ направлений, проявленные в областях низкого продольного электрического сопротивления (рис. 6–7). Отсутствие или фрагментарное проявление некоторых из них в надсолевом комплексе может способствовать сохранению УВ в коллекторах на глубине. Геодинамические обстановки и этапы формирования разломно-блоковой структуры. Среди локальных полей напряжений на рассматриваемом участке получены все типы напряженного состояния,

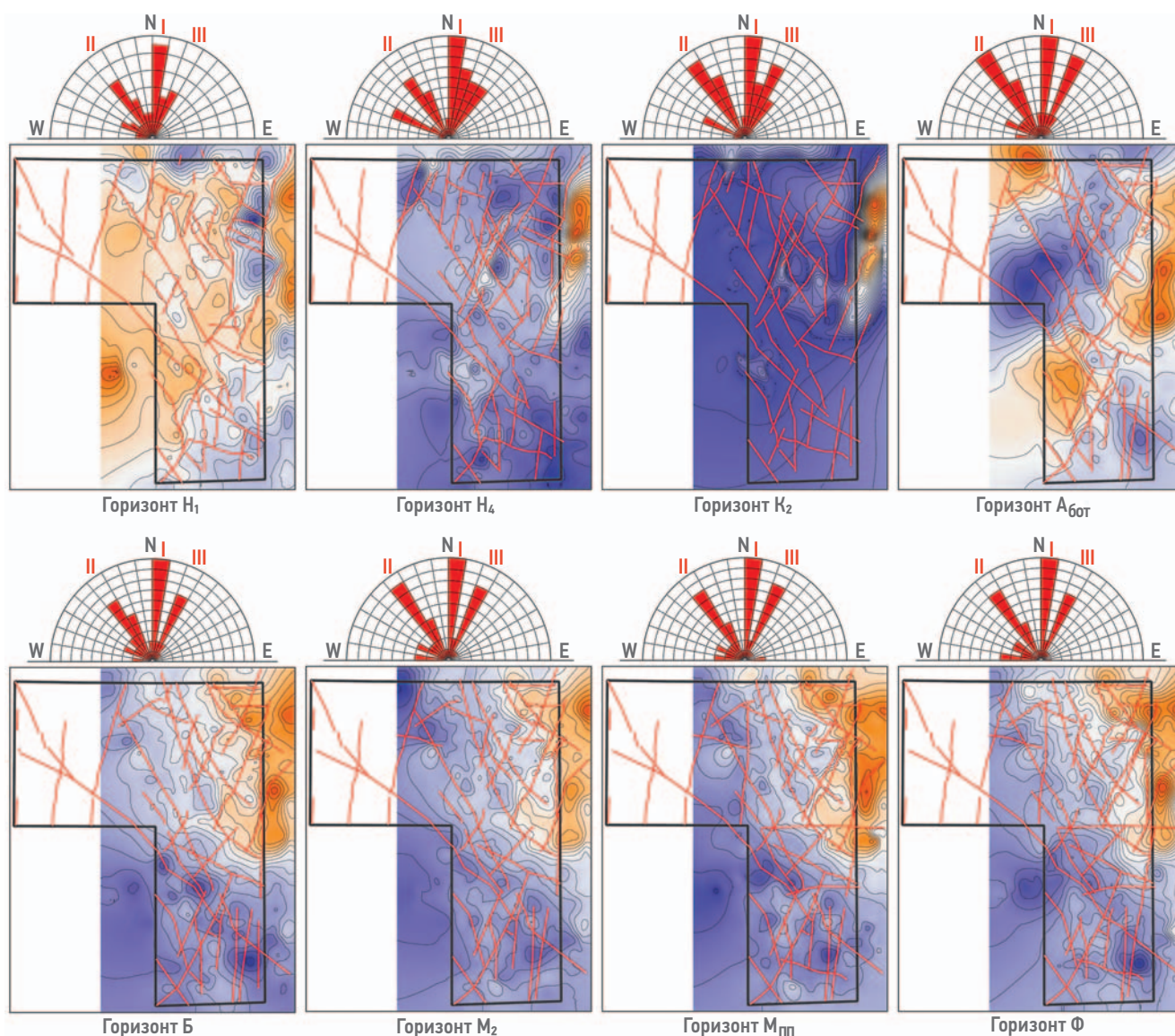


Рис. 3. Разломно-блоковая структура на разных горизонтах земной коры. Римские цифры на розах-диаграммах указывают главные направления разломов, использованные в парагенетическом анализе разломной сети согласно методике [2, 6]. Опорные отражающие горизонты: H_1 — подошва верхоленской свиты; H_4 — кровля булайской свиты; K_2 — кровля нижне-среднебельской подсвиты; $A_{6от}$ — подошва осинского горизонта усольской свиты; B — кровля тэтэрской свиты; M_2 — кровля тирской свиты; $M_{пп}$ — подошва парфеновского горизонта тирской свиты; Φ — поверхность фундамента. Структурные карты опорных горизонтов H_1 , H_4 , K_2 , $A_{6от}$, B , M_2 , $M_{пп}$, Φ строились и анализировались в программах QGIS и Petrel по цифровым данным АО «Иркутскэнерго», полученным из [13]. Составлено авторами

Fig. 3. Fault-block structure at different horizons of the earth's crust. Roman numerals on the rose diagrams indicate the main directions of faults used in the paragenetic analysis of the fault network according to the methodology [2, 6]. Key reflecting horizons: H_1 — base of the Verkhenskaya Formation; H_4 — roof of the Bulayskaya Formation; K_2 — roof of the Lower-Srednebel'skaya Subformation; $A_{6от}$ — base of the Osinskiy horizon of the Usolskaya Formation; B — roof of the Teterskaya Formation; M_2 — roof of the Tirkaya Formation; $M_{пп}$ — base of the Parfenovskiy horizon of the Tirkaya Formation; F — basement surface. The structural maps of the reference horizons H_1 , H_4 , K_2 , $A_{6от}$, B , M_2 , $M_{пп}$, F were constructed and analyzed in the QGIS and Petrel programs using digital data from «Irkutskenergo» Stock company obtained from [13]. Prepared by the authors

количественное соотношение которых представлено в табл. 1. Для дальнейшего анализа с целью унификации результатов тип поля напряжений для всех методов определялся по соотношению углов наклона главных осей напряжений по отношению к горизонту [14]. Для выявления региональной составляющей поля напряжений строились розы-диаграммы простирания горизонтальных осей растяжения (s_3) и сжатия (s_1). Результаты реконструкций напряженного состояния земной коры, полевые

наблюдения сбросов, взбросов, складок и штрихов скольжения, а также данные из открытой печати других исследователей Сибирской платформы позволили выделить 6 главных этапов тектогенеза, которые связаны с тектоническими событиями в Саяно-Байкальской и Байкало-Патомской складчатых областях Центрально-Азиатского подвижного пояса (рис. 8). Для создания тектонофизической модели использованы карты разломно-блоковой структуры для отражающих горизонтов, маркированных

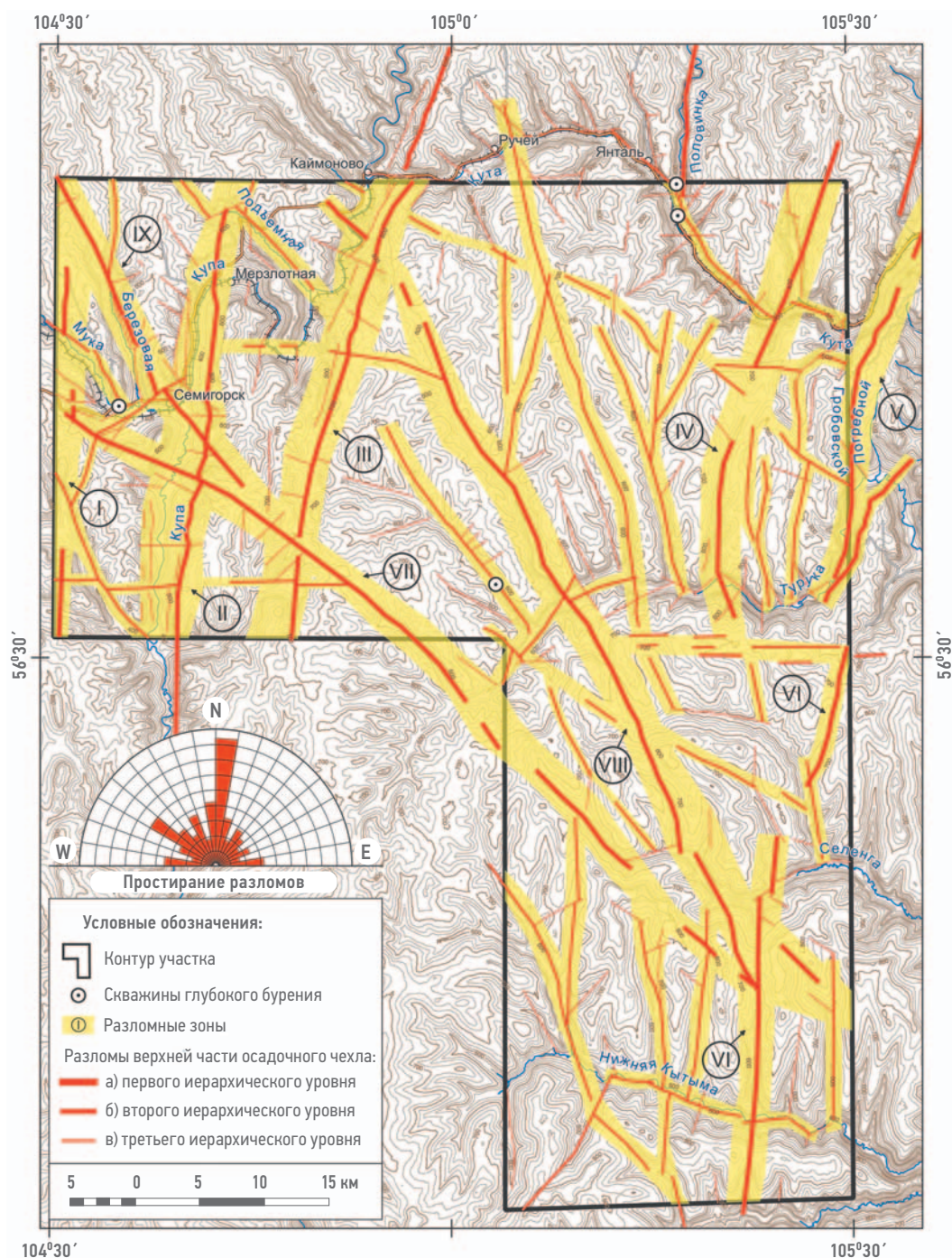


Рис. 4. Разломно-блоковая структура верхней части осадочного чехла по комплексу геолого-структурных, геофизических и морфотектонических данных (на топографической основе). Римскими цифрами подписаны номера зон первого иерархического уровня. Составлено авторами

Fig. 4. Fault-block structure of the upper part of the sedimentary cover according to a set of geological-structural, geophysical and morphotectonic data (on a topographic basis). Roman numerals indicate the numbers of zones of the first hierarchical level. Prepared by the authors

как Ф (поверхность фундамента), М_{пп} (подошва парфеновского горизонта тирской свиты), К₂ (кровля ниже-среднебельской под-свиты), Н₄ (кровля булайской свиты, **рис. 3**), и верхней части осадочного чехла (**рис. 4**). Основным критерием для их отбора было воспроизведение в модели всех возможных разломных систем, которые откартированы на 8 отражающих горизонтах и могли

образоваться в тот или иной этап тектоногенеза. Для каждого этапа выделены разломы, которые могли формироваться или активизироваться в определенной геодинамической обстановке, и реконструирован кинематический тип смещений по ним. В ходе эволюции сеть разломов изменялась: могли образовываться новые, заживаться сформированные ранее.

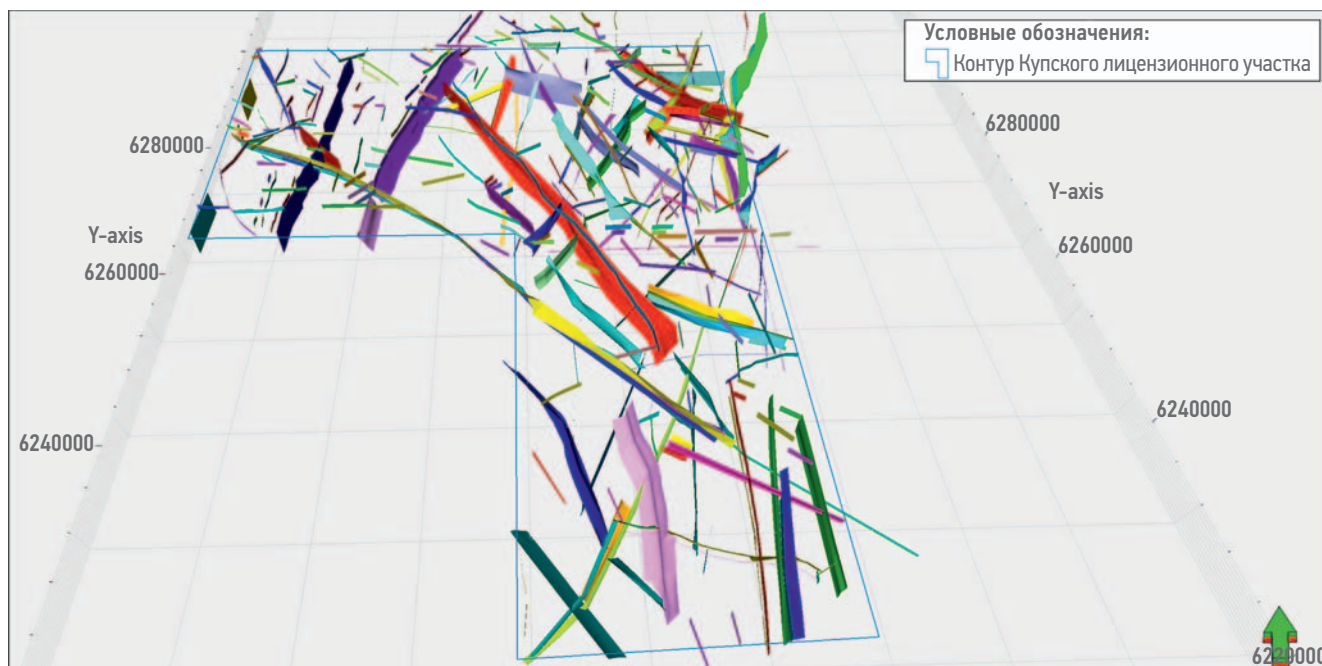


Рис. 5. Трехмерная модель разломно-блокового строения участка исследований, составленная в программе Petrel на основе картирования разломов с поверхности и на глубине, вид с юга (каждая поверхность разлома показана своим цветом). Составлено авторами
Fig. 5. Three-dimensional model of the fault-block structure of the research area, compiled in the Petrel program based on mapping of faults from the surface and at depth, view from the south (each fault surface is shown in its own color). Prepared by the authors

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что условия растяжения являются благоприятными для зон нефтегазоаккумуляции. Согласно построенной тектонофизической модели такая обстановка характеризует венд-кембрийский этап развития участка, когда происходило заполнение мелководного осадочного бассейна карбонатными и терригенными, а затем соленосными отложениями (рис. 8, этап 2). Растяжение вдоль южной части Сибирского кратона маркируется роями даек возрастом 740–780 млн лет, откартированных в пределах всех основных выступов [16]. Это событие могло вызвать последующее погружение фундамента, которое в глубине платформы продолжалось еще долго после того, как магматические процессы завершились на ее границах.

Максимальное опускание пришлось на венд-кембрийское время [17]. Аналогичные обстановки в современное время существуют на континентальной окраине Бразилии в Атлантическом океане и в мелководной части Мексиканского залива, известными своими крупнейшими нефтяными месторождениями [20]. В процессе эволюции осадочного бассейна различные этапы тектогенеза приводили к возникновению зон повышенной дислоцированности осадочного чехла, что способствовало улучшению коллекторских свойств горных пород и появлению ловушек нефти и газа. Согласно полученной тектонофизической модели благоприятными для нефтегазоаккумуляции крутопадающими и наклонными зонами повышенной нарушенности пород в разное время были разломы СЗ, ССЗ,

Таблица 1. Представительность решений с разным типом поля напряжений. Составлено авторами
Table 1. Representativity of solutions with different of stress field types. Prepared by the authors

Тип поля	Парагенетические методы	Кинематический метод
Растяжение ($s_1 = 61-90^\circ$; $s_2 = 0-30^\circ$; $s_3 = 0-30^\circ$)	17	13
Растяжение со сдвигом ($s_1 = 31-60^\circ$; $s_2 = 31-60^\circ$; $s_3 = 0-30^\circ$)	4	0
Сдвиг ($s_1 = 0-30^\circ$; $s_2 = 61-90^\circ$; $s_3 = 0-30^\circ$)	27	3
Сжатие со сдвигом ($s_1 = 0-30^\circ$; $s_2 = 31-60^\circ$; $s_3 = 31-60^\circ$)	1 (ближе к сжатию)	3 (1 — ближе к сдвигу, 1 — ближе к сжатию)
Сжатие ($s_1 = 0-30^\circ$; $s_2 = 0-30^\circ$; $s_3 = 61-90^\circ$)	16	1
Неопределенный	4 (1 — ближе к сдвигу; 3 — к растяжению со сдвигом)	1 (ближе к сжатию)

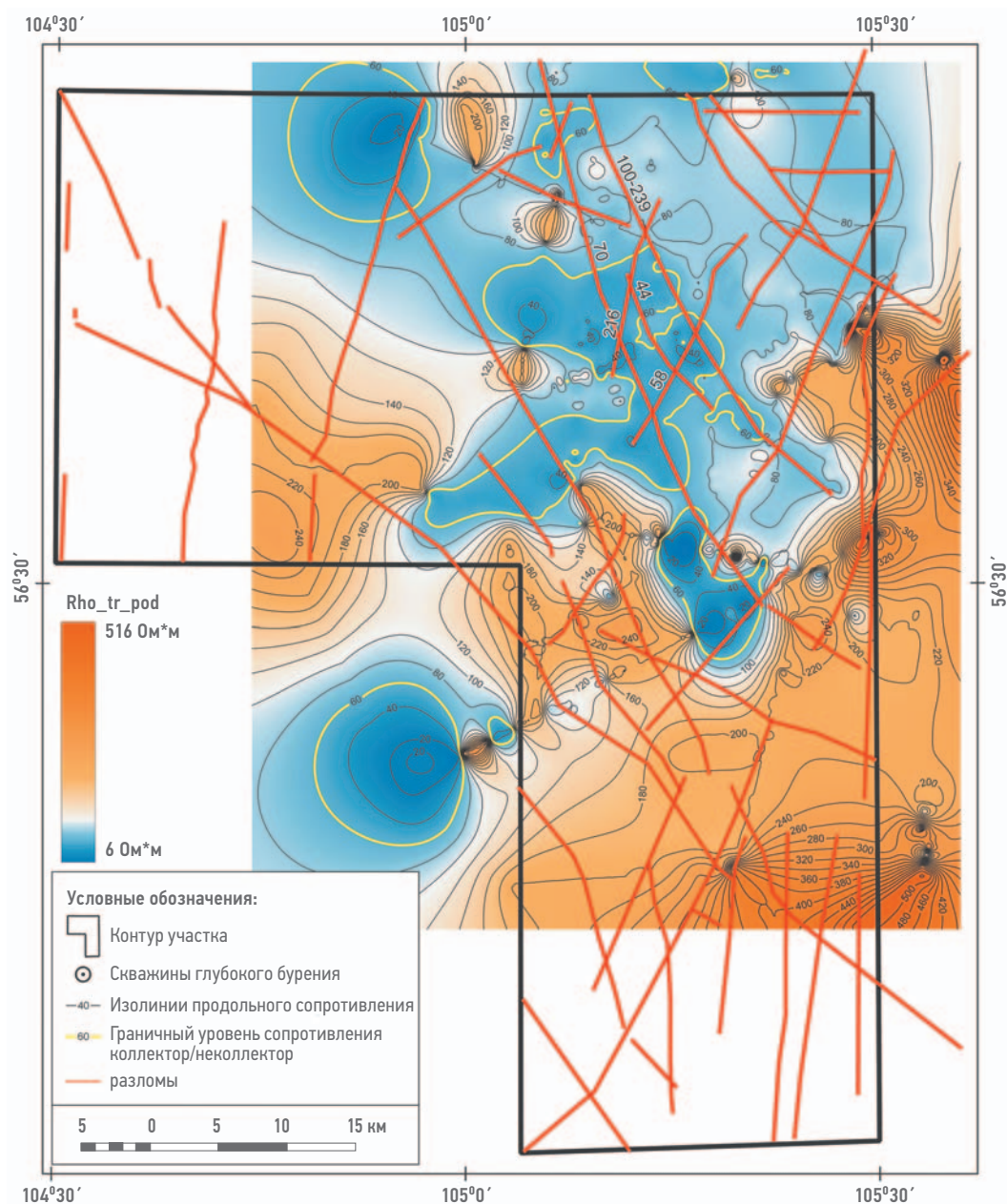


Рис. 6. Разломы по данным настоящих исследований в поле продольного электрического сопротивления осинско-тэтэрского карбонатного интервала (подписаны упомянутые в тексте разломы) по цифровым данным АО «Иркутскэнерго», полученным из [13]. Составлено авторами

Fig. 6. Faults according to the data of the present studies in the field of longitudinal electrical resistance of the Osinsko-Tetersky carbonate interval (the faults mentioned in the text are signed) according to digital data of «Irkutskenergo» Stock company obtained from [13]. Prepared by the authors

субмеридиональной, ССВ и СВ ориентировки. Разрывные нарушения СВ простирания за счет своей кинематической природы растяжения на этапе формирования залежей УВ могли увеличивать проницаемость геологической среды. Миграция флюидов с возможным их скоплением вдоль СЗ разрывных нарушений могла произойти в 4-й этап сдвиговых деформаций при СЗ положении оси сжатия и СВ оси растяжения (рис. 8), когда эти разломы характеризовались сбросовой кинематикой. Данный геодинамический режим выделяется

на основании стабильного распределения полученных нами полей напряжений по всей исследованной площади и его удовлетворительном отражении в парагенезах разломной сети. Подобная геодинамическая обстановка установлена по парагенезу дислокаций верхних горизонтов осадочного чехла в северной части Непской зоны. Эти деформации были связаны с правосторонними движениями по широтным сдвигам в фундаменте. Время активных движений отнесено к позднему девону — среднему карбону [19]. На рассматриваемом участке, расположенном в ~300 км

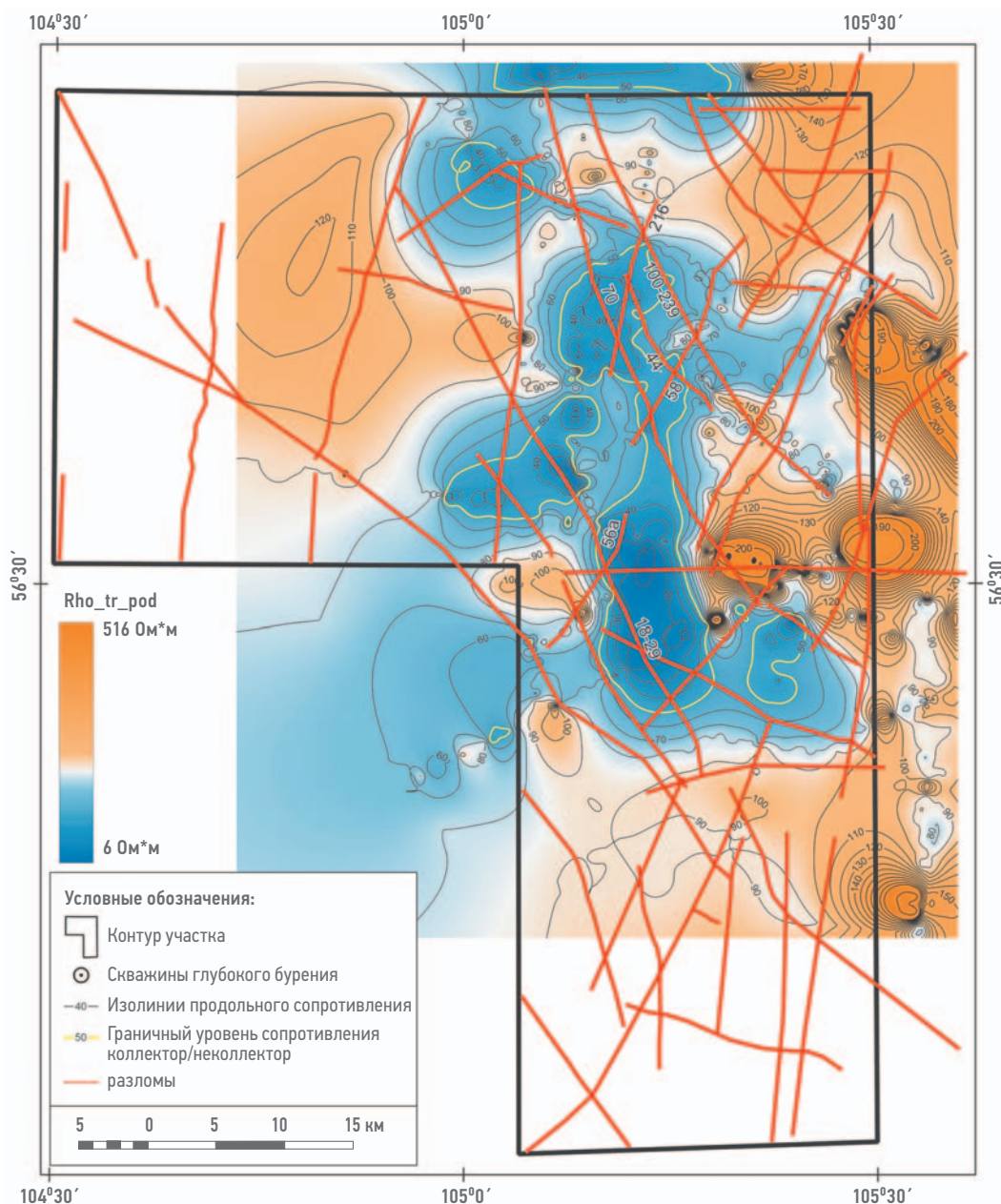


Рис. 7. Разломы по данным настоящих исследований в поле продольного электрического сопротивления терригенного интервала тирской и непской свит (подписаны упомянутые в тексте разломы) по цифровым данным АО «Иркутскэнерго», полученным из [4]. Составлено авторами

Fig. 7. Faults according to the data of the present studies in the field of longitudinal electrical resistance of the terrigenous interval of the Tirkaya and Neya Formations (the faults mentioned in the text are signed) according to digital data of «Irkutskenergo» Stock company obtained from [13]. Prepared by the authors

юг-юго-восточнее описываемого места в районе устья р. Непы, в этом поле напряжений ведущими были субмеридиональные разломы, вдоль которых происходили левосторонние смещения.

В настоящее время земная кора изученного участка находится в условиях доминирующего ЗСЗ и СЗ растяжения, имеющее значительную вариативность в направлении s_3 от 270° до 330° по разным типам тектонофизических данных (рис. 8, этап 6). Данный геодинамический режим сопоставляется с позднекайнозойским этапом тектоногенеза

Байкальской рифтовой зоны, расположенной в смежной с платформой области. Обстановки СЗ–ЮВ растяжения ранее зафиксированы в зоне сочленения Ангаро-Ленского поднятия и Предбайкальского прогиба, в том числе и на Ковыктинском газоконденсатном месторождении [2, 21]. На изученном участке характерное в целом для Байкальской рифтовой зоны СЗ направление s_3 трансформируется в ЗСЗ растяжение, что обусловлено, с одной стороны наличием здесь длительно существующих глубинных субмеридиональных (0–10°) и ССВ (11–30°) разломов,

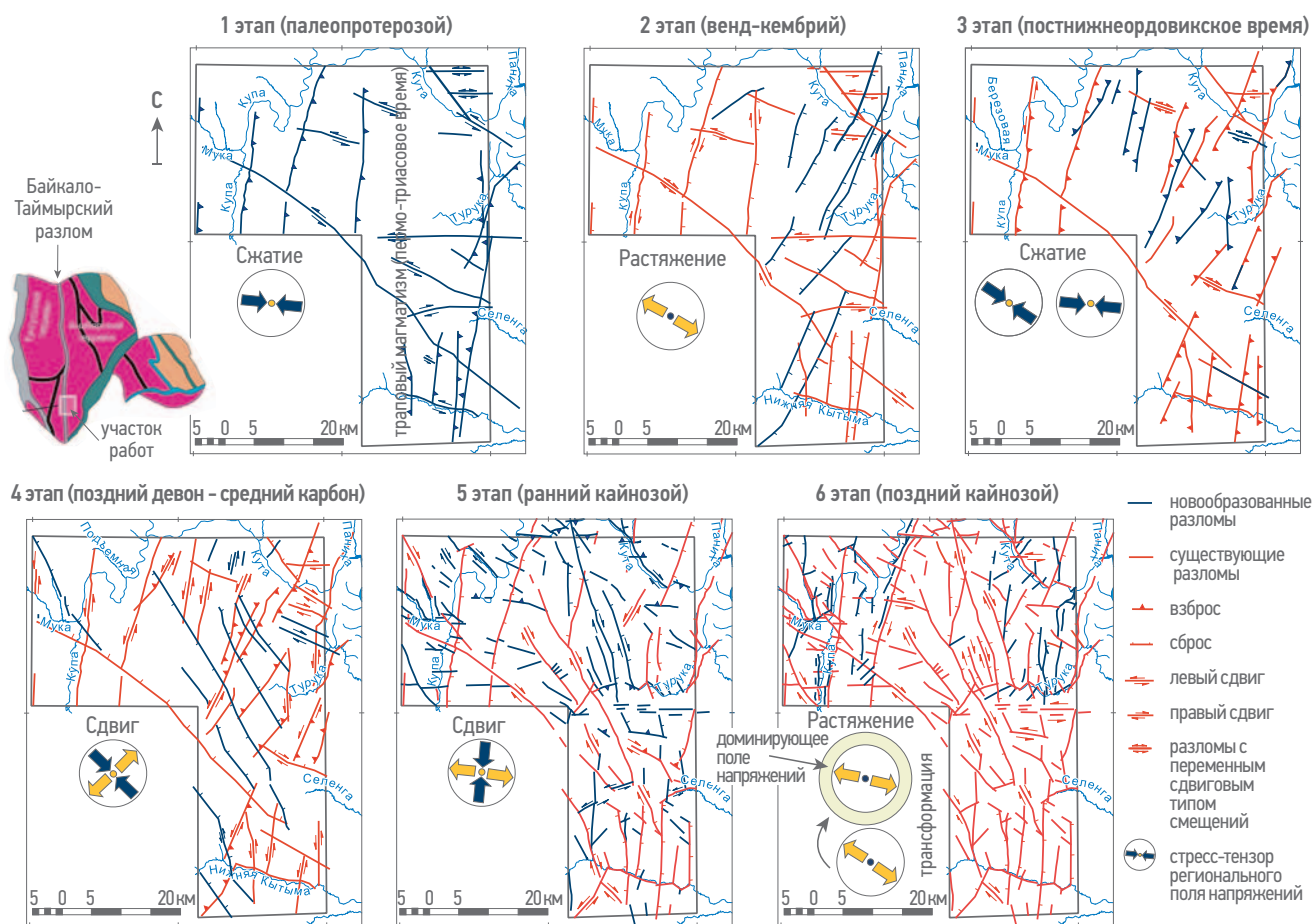


Рис. 8. Тектонофизическая модель формирования разломно-блоковой структуры участка исследований в разные этапы тектогенеза: 1 этап — сжатие, связанное с коллизией Анабарского и Тунгусского супертеррейнов в палеопротерозое [14] (на основе сети разломов горизонта Ф); 2 этап — растяжение, связанное с образованием пассивной окраины Сибирского кратона [15] и формированием мощных карбонатно-терригенных толщ в венде — кембрии [16] (на основе сети разломов горизонта M_{pp}); 3 этап — сжатие, связанное с орогеническими движениями в раннем палеозое в Саяно-Байкальском и Байкало-Патомской складчатых областях [16, 17] (на основе сети разломов горизонта K_2); 4 этап — сдвиговый, ассоциированный с движениями в Непской зоне [18] в связи с завершением предыдущего орогенического этапа в складчатых областях на периферии Сибирской платформы (на основе сети разломов горизонта H_4); 5 этап — сдвиговый, отражающий зарождение Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) [1, 2] (на основе разломной сети верхней части осадочного чехла); 6 этап — растяжение, связанное с позднекайнозойским развитием БРЗ (на основе разломной сети верхней части осадочного чехла). На врезке слева упрощенная схема строения фундамента Сибирской платформы из работы [14] с положением участка работ. Составлено авторами

Fig. 8. Tectonophysical model of the formation of the fault-block structure of the study area at different tectogenesis stages of: 1 — the compression stage associated with the collision of the Anabar and Tunguska superterrains in the Paleoproterozoic [14] (based on the fault network of the F horizon); 2 — extension stage associated with the formation of the passive margin of the Siberian craton [15] and the formation of thick carbonate-terrigenous strata in the Vendian — Cambrian [16] (based on the network of faults of the M_{pp} horizon); 3 — compression stage associated with orogenic movements in the Early Paleozoic in the Sayan-Baikal and Baikal-Patom folded areas [16, 17] (based on the network of faults of the K_2 horizon); 4 — strike-slip stage associated with movements in the Nepa zone [18] in connection with the completion of the previous orogenic stage in folded areas on the periphery of the Siberian Platform (based on the network of faults of the H_4 horizon); 5 — strike-slip stage, reflecting the origin of the Baikal Rift Zone (BRZ) [1, 2] (based on the fault network of the upper part of the sedimentary cover); 6 — tension stage associated with the Late Cenozoic development of the BRZ (based on the fault network of the upper part of the sedimentary cover). The inset on the left shows a simplified diagram of the structure of the foundation of the Siberian Platform from [14] with the position of the work site. Prepared by the authors

с другой — стороны изменением конфигурации границы подвижного пояса с СВ на субмеридиональную напротив Купского ЛУ (рис. 1). В таком поле напряжений благоприятными разломными зонами для притока УВ-флюидов являются разрывные структуры ССВ, СВ и субмеридиональной, и отчасти ССЗ ориентировки. Полевые данные, собранные на поверхности, показывают, что основная часть крупных зияющих трещин имеет простирание от 330° до 40° . При наличии коллекторов, узлы пересечения разломов,

попадающих в эти румбы, могут быть перспективными для поиска УВ на рассматриваемом участке и прилегающих территориях Сибирской платформы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тектонофизические исследования с целью картирования разломов и изучения напряженного состояния земной коры для разных временных этапов развития территорий

позволяют более эффективно проводить поиски месторождений нефти и газа на Сибирской платформе. При этом важное значение имеет комплексный анализ полевых геолого-структурных и геолого-геофизических данных, а также дешифрирование рельефа на разномасштабных картах и снимках в зависимости от поставленных задач.

Полученные результаты могут быть использованы для уточнения точки заложения поисковых скважин, в места, наиболее благоприятные для скопления УВ вдоль разломов. При этом необходимо учитывать ранг разлома, особенности его строения и по возможности заполнение, чтобы избежать осложнений в процессе бурения.

Список литературы

1. Семинский К.Ж., Бурзунова Ю.П., Борняков С.А., Мирошниченко А.И., Черемных А.С., Семинский А.К., Буддо И.В., Смирнов А.С., Горлов И.В. Анализ разломно-блоковой структуры и напряженного состояния осадочного чехла на газоконденсатных месторождениях: основы тектонофизического подхода // Геодинамика и тектонофизика. — 2023. — Т. 10. — №4. — С. 879–897. <https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-2-0689>
2. Семинский К.Ж., Саньков В.А., Огибен В.В., Бурзунова Ю.П., Мирошниченко А.И., Горбунова Е.А., Горлов И.В., Смирнов А.С., Вахромеев А.Г., Буддо И.В. Тектонофизический подход к анализу геолого-геофизических данных на газоконденсатных месторождениях со сложным строением платформенного чехла // Геодинамика и тектонофизика. — 2018. — Т. 9. — № 3. — С. 587–627. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0364>
3. Ивченко О.В., Поляков Е.Е., Ивченко М.В. Влияние разрывной тектоники на нефтегазоносность вендско-нижнекембрийских отложений южных районов Сибирской платформы (Непско-Ботубобинская антеклиз и сопредельные территории) // Вести газовой науки. — 2016. — № 1 (25). — С. 40–62.
4. Шаткевич С.Ю., Кушмар И.А. Окончательный отчет о результатах работ по объекту «Оперативный анализ геолого-геофизических и геохимических материалов поисково-оценочных работ, оценка ресурсов УВ нефтегазоперспективных объектов в терригенных и карбонатных венд-нижнекембрийских отложениях, составление паспортов на подготовленные объекты в пределах Купского ЛУ». Книга 1. Санкт-Петербург: АО «ВНИГРИ-Геологоразведка», 2022.
5. Лунина О.В., Гладков А.С., Неведрова Н.Н. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. — 316 с.
6. Семинский К.Ж. Спецкартирование разломных зон земной коры. Статья 1: Теоретические основы и принципы // Геодинамика и тектонофизика. — 2014. — Т. 5. — № 2. С. 445–467. <https://doi.org/GT2014520136>
7. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. — 375 с.
8. Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений. В кн.: Поля напряжений в литосфере. М.: Наука, 1979. — С. 7–25.
9. Delvaux D. Release of program Win-Tensor 4.0 for tectonic stress inversion: statistical expression of stress parameters. Geophysical Research Abstracts. 2012. V. 14, EGU2012-5899, 2012, EGU General Assembly 2012.
10. Николаев П.Н. Методика тектонодинамического анализа / Под ред. Н.И. Николаева. М.: Недра, 1992. — 295 с.
11. Данилов В.Н. Метод поясов при исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Иркутск: Педагогический институт Иркутского государственного университета, 1961. — С. 47 с.
12. Шевырев С.Л. Программа LEFA: автоматизированный структурный анализ космической основы в среде MATLAB // Успехи современного естествознания. 2018. — № 10. — С. 138–143.
13. Маманов Д.О., Маманова Т.С. и др. Отчет о результатах работ по объекту «Сейсморазведочные работы МОГТ 2D в пределах Купского лицензионного участка» (Оперативный анализ комплекса полевых геолого-геофизических и геохимических материалов поисково-оценочных работ, оценка перспектив терригенных и карбонатных венд-кембрийских пород на Купском ЛУ). Отчет по договору с компанией АО «Иркутскэнерго». Иркутск, 2020.
14. Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. Новосибирск: Наука. 1989. — 158 с.
15. Donskaya T.V. Assembly of the Siberian Craton: Constraints from Paleoproterozoic granitoids // Precambrian Research. — 2020. — V. 348. — 105869.
16. Гладночуб Д.П., Донская Т.В., Мазукабзов А.М., Станевич А.М., Скляров Е.В., Пономарчук В.А. Комплексы-индикаторы процессов растяжения на юге Сибирского кратона в докембрии // Геология и геофизика. — 2007. — Т. 48. — № 1. — С. 22–41.
17. Никишин А.М., Соборнов К.О., Прокопьев А.В., Фролов С.В. Тектоническая история Сибирской платформы в венде-фанерозое // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. — 2010. — № 1. — С. 3–16.
18. Геология Ольхонского композитного террейна: путеводитель экскурсии / Сост.: А.С. Мехоношин, Т.Б. Колотилина, Т.В. Донская, Д.П. Гладночуб, Е.В. Скляров. Иркутск: ИГХ СО РАН, 2021. — С. 22 с.
19. Рязанов Г.В., Малых А.В. Парагенезы дислокаций осадочного чехла при горизонтальных движениях фундамента в Непской зоне (Сибирская платформа) // Докл. АН СССР. — 1981. — Т. 258. — № 4. — С. 980–982.
20. Цветкова Л.Д., Цветкова Н.Л. Нефтеносность зон растяжения земной коры на примере оффшорной части Бразилии и востока России // Вести газовой науки. — 2013. — № 5 (16). — С. 105–113.
21. Саньков В.А., Парфеев А.В., Мирошниченко А.И., Бывов Л.М., Лебедева М.А., Саньков А.В., Добрынина А.А., Коваленко С.Н. Позднекайнозойское разломообразование и напряженное состояние юго-восточной части Сибирской платформы // Геодинамика и тектонофизика. — 2017. — Т. 8. — № 1. — С. 81–105.

References

1. Seminsky K.Zh., Burzunova Yu.P., Bornyakov S.A., Miroshnichenko A.I., Cheremnykh A.S., Seminsky A.K., Buddo I.V., Smirnov A.S., Gorlov I.V. [Analysis of the Fault-Block Structure and Stress State of the Sedimentary Cover in Gas-Condensate Deposits: Basics of the Tectonophysical Approach]. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2023; 14 (2): 0689. <https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-2-0689> (In Russ.).
2. Seminsky K.Zh., Sankov V.A., Ogibenin V.V., Burzunova Yu.P., Miroshnichenko A.I., Gorbunova E.A., Gorlov I.V., Smirnov A.S., Vakhromeev A.G., Buddo I.V. [Tectonophysical approach to the analysis of geological and geophysical data on gas-condensate deposits with the complex platform cover]. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018; 9 (3): 587–627. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0364> (In Russ.).
3. Ivchenko O.V., Polyakov E.E., Ivchenko M.V. [The influence of fault tectonics on the oil and gas potential of the Vendian-Lower Cambrian deposits of the southern regions of the Siberian platform (Nepsko-Botuoba antecline and adjacent territories)]. *Vesti gazovoy nauki*. 2016; 1 (25): 40–62 (In Russ.).
4. Shatkevich S.Yu., Kushmar I.A. [Final report on the results of work on the object "Operational analysis of geological, geophysical and geochemical materials of prospecting and evaluation works, assessment of hydrocarbon resources of oil and gas promising objects in terrigenous and carbonate Vendian-Lower Cambrian deposits, preparation of passports for prepared objects within the Kupsky area". Book 1.]. Sankt-Peterburg: «VNIIGRI-Geologorazvedka»; 2022. (In Russ.).
5. Lunina O.V., Gladkov A.S., Nevedrova N.N. [Rift basins in Pribaikalie: Tectonic structure and development history]. Novosibirsk: Academic Press "Geo"; 2009. (In Russ.).

6. Seminsky K.Zh. [Specialized mapping of crustal fault zones. Part 1: Basic theoretical concepts and principles]. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2014; 5 (2): 445–467. <https://doi.org/10.5800/GT2014520136> (In Russ.).
7. Gzovsky M.V. [*Fundamentals of Tectonophysics*]. Moscow: Nedra, 1975. (In Russ.).
8. Gushchenko O.I. [Method of kinematic analysis of fracture structures during reconstruction of tectonic stress fields]. In.: *Stress fields in the lithosphere*. Moscow: Nauka, 1979: 7–25 (In Russ.).
9. Delvaux D. Release of program Win-Tensor 4.0 for tectonic stress inversion: statistical expression of stress parameters. *Geophysical Research Abstracts*. 2012; 14, EGU2012-5899, EGU General Assembly [обновлено 27 августа 2024; процитировано 27 августа 2024] Доступно: https://www.africamuseum.be/publication_docs/EGU2012-5899_Delvaux_Win-Tensor4.0.pdf
10. Nikolaev P.N. [*Methodology of Tectonodynamical Analysis*]. Moscow: Nedra, 1992. (In Russ.).
11. Danilovich V.N. [*Belt method in the study of fracturing associated with rupture displacements*]. Irkutsk: Pedagogical Institute of Irkutsk State University, 1961. (In Russ.).
12. Shevryev S.L. [LEFA program: automated structural analysis of the space basis in the MATLAB environment]. *Advances in modern natural science*. 2018; 10: 138–143 (In Russ.).
13. Mamakov D.O., Mamakova T.S., et al. [*Report on the results of work on the object "Seismic exploration works MOGT 2D within the Kupsky license area" (Operational analysis of a set of field geological, geophysical and geochemical materials of exploration and evaluation works, assessment of the prospects of terrigenous and carbonate Vendian-Cambrian rocks at the Kupsky license area). Report on the contract with the company AO Irkutskenergo*]. Irkutsk, 2020. (In Russ.).
14. Sherman, S.I., Dneprovsky, Yu.I. [*Crustal stress fields and geological and structural methods*]. Novosibirsk: Nauka, 1989. (In Russ.).
15. Donskaya T.V. Assembly of the Siberian Craton: Constraints from Paleoproterozoic granitoids. *Precambrian Research*. 2020; 348: 105869. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105869>
16. Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Stanevich A.M., Sklyarov E.V., and V.A. Ponomarchuk. Signature of Precambrian extension events in the southern Siberian craton. *Russian Geology and Geophysics*. 2007; 1: 17–31.
17. Nikishin A.M., Sobornov K.O., Prokopiev A.V., Frolov S.V. [Tectonic history of the Siberian platform in the Vendian-Phanerozoic]. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*. 2010; 1: 3–16 (In Russ.).
18. Mekhonoshin A.S., Kolotilina T. B., Donskaya T.V., Gladkochub D.P., Sklyarov E.V. (Eds): [*Geology of the Olkhon composite terrane: excursion guide*]. Irkutsk: IGC SB RAS, 2021. (In Russ.).
19. Ryazanov G.V., Malykh A.V. [Dislocation parageneses of the sedimentary cover during horizontal movements of the basement in the Nepa zone (Siberian platform)] *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR. Earth Science Sections*. 1981; 258 (4): 980–982 (In Russ.).
20. Tsvetkov L.D., Tsvetkova N.L. [Oil content of crustal extension zones on the example of offshore Brazil and eastern Russia]. *Vesti gazovoy nauki*. 2013; 5 (16): 105–113 (In Russ.).
21. Sankov V.A., Parfeevets A.V., Miroshnichenko A.I., Byzov L. M., Lebedeva M.A., Sankov A.V., Dobrynina A.A., Kovalenko S.N. [Late Cenozoic faulting and the stress state in the south-eastern segment of the Siberian platform]. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017; 8 (1): 81–105. <https://doi.org/10.5800/GT-2017-8-1-0233> (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

О.В. Лунина — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

В.А. Кондратьев — инициировал исследования, оказал экспертную поддержку при работе с геофизическими данными, утвердил публикуемую версию статьи.

Oksana V. Lunina — developed the main concept of the article, wrote the text, approved the final version, and agreed to take responsibility for all aspects of the article.

Viktor A. Kondratiev — initiated research, provided expert support in working with geophysical data, approved the final version of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Оксана Викторовна Лунина* — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.
e-mail: lounina@crust.irk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7743-8877>
SPIN-код: 1220-3802
Scopus Author ID: 6603849679

Виктор Александрович Кондратьев — главный геолог АО «Иркутскэнерго»

Oksana V. Lunina* — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Chief researcher, Tectonophysics Laboratory, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences
128, Lermontova str., 664033, Irkutsk, Russia.
e-mail: lounina@crust.irk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7743-8877>
SPIN-code: 1220-3802
Scopus Author ID: 6603849679

Viktor A. Kondratiev — Principal geologist of Stock company «Irkutskenergo»

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author