

УДК 622+553.982.981

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2022

**Прогноз геотермических и геохимических условий Мраковской депрессии и прилегающих территорий Шихано-Ишимбайской седловины****С.Е. Башкова<sup>1,2</sup>, Ю.А. Яковлев<sup>1,2</sup>, А.С. Капитанова<sup>3</sup>, А.Н. Башков<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет (Россия, 614068, г. Пермь, Букирева, 15)<sup>2</sup>Камский научно-исследовательский институт комплексных исследований глубоких и сверхглубоких скважин

(Россия, 614016, г. Пермь, ул. Краснофлотская улица, 15)

<sup>3</sup>Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, (Россия, 614015, г. Пермь, Пермская, 3а).<sup>4</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)**Forecast of the Geothermal and Geochemical Conditions of the Mrakovskaya Depression and the Adjacent Territories of the Shikhano-Ishimbayskaya Saddle****Svetlana E. Bashkova<sup>1,2</sup>, Yury A. Yakovlev<sup>1,2</sup>, Anastasia S. Kapitanova<sup>3</sup>, Andrey N. Bashkov<sup>4</sup>**<sup>1</sup>Perm State National Research University (15 Bukireva st., Perm, 614068, Russian Federation)<sup>2</sup>Kama Research Institute for Comprehensive Studies of Deep and Ultra-Deep Wells (15 Krasnoflotskaya st., Perm, 614016, Russian Federation)<sup>3</sup>PermNIPIneft branch of LUKOIL-Engineering LLC in Perm (3a Permskaya st., Perm, 614015, Russian Federation)<sup>4</sup>Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolskiy av., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 02.06.2021. Принята / Accepted: 19.11.2021. Опубликована / Published: 31.01.2022

**Ключевые слова:**

Предуральский прогиб, Западно-Уральская зона складчатости, Мраковская впадина и Шихано-Ишимбайская седловина, бассейновое моделирование, нефтегазоматеринские породы, палеотемпературные условия, отражательная способность витринита, главная зона нефтеобразования, главная зона газообразования, формирование и перспективы нефтегазоносности.

**Keywords:**

Pre-Ural trough, West Urals folding zone, Mrakovskaya depression and Shikhano-Ishimbai saddle, basin modeling, oil and gas source rocks, paleotemperature conditions, vitrinite reflectance, main oil generation zone, main gas formation zone, formation and prospects of oil and gas potential.

Рассматривается актуальная проблема анализа условий нефтегазообразования малоизученных районов, таких как Мраковская депрессия и прилегающая территория Шихано-Ишимбайской седловины (южная часть Предуральского прогиба и Западно-Уральская внешняя зона складчатости). Указанные территории, имеющие сложное гетерогенное геологическое строение и низкую изученность, представляют несомненный интерес с точки зрения потенциальной нефтегазоносности. В работе рассматриваются основные геологические факторы, определяющие геотермический режим недр южной части Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости. Отмечена крайне низкая и неравномерная плотность пунктов геотермических наблюдений в скважинах Мраковской депрессии и Шихано-Ишимбайской седловины. Построены и проанализированы карты прогнозных современных температур на глубинных срезах изучаемой территории, а также геотермические градиенты различных частей Уральского региона. Представлены материалы по палеотемпературно-катагенетическим исследованиям осадочного чехла. Построены прогнозные карты изменения катагенеза органических веществ палеозойских отложений в пределах стратиграфических подразделений рассматриваемой территории. Для восстановления геотемпературного режима недр и прогноза катагенетической зональности разреза выполнено одномерное бассейновое моделирование трех скважин, расположенных на южном и северном перспективных участках.

Прогноз геотермических и геохимических условий, имеющих сложное гетерогенное строение, представляет собой непростую задачу, связанную с недостаточным объемом информации по строению и составу отложений, недостатке сведений о геотермических условиях разрезов, противоречивостью геофизических данных и т.д. Проведенные исследования показали эффективность комплексирования фактических данных с расчетными методами при прогнозе геотермических и геохимических условий. Результаты, полученные авторами, позволили сделать вывод о достаточно высоких перспективах обнаружения нефтяных углеводородов в широком диапазоне палеозойской части разреза.

The actual problem of analyzing the conditions of oil and gas formation in poorly studied areas, such as the Mrakovskaya depression and the adjacent territory of the Shikhano-Ishimbai saddle (the southern part of the Pre-Ural trough and the West Urals outer folding zone) is considered. These territories, which have a complex heterogeneous geological structure and low exploration, are of undoubted interest from the point of view of potential oil and gas potential. The paper considers the main geological factors that determine the geothermal regime of the subsol of the southern part of the Pre-Ural trough and the West Urals outer folding zone. An extremely low and uneven density of geothermal observation points was noted in the wells of the Mrakovskaya depression and the Shikhano-Ishimbai saddle. Maps of predicted modern temperatures on deep sections of the study area, as well as geothermal gradients of various parts of the Urals region, were constructed and analyzed. Materials on paleotemperature-catagenetic studies of the sedimentary cover were presented. Predictive maps of changes in the catagenesis of sedimentary substances in Paleozoic deposits within the stratigraphic units of the territory under consideration were constructed. To restore the geotemperature regime of the subsol and predict the catagenetic zoning of the section, one-dimensional basin modeling of three wells located in the southern and northern promising areas was performed.

Prediction of geothermal and geochemical conditions with a complex heterogeneous structure is a difficult task associated with insufficient information on the structure and composition of deposits, lack of information about the geothermal conditions of sections, inconsistency of geophysical data, etc. The conducted studies showed the effectiveness of combining actual data with calculation methods in predicting geothermal and geochemical conditions. The results obtained by the authors made it possible to conclude that there were rather high prospects for the discovery of petroleum hydrocarbons in a wide range of the Paleozoic part of the section.

**Башкова Светлана Евгеньевна** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры региональной и нефтегазовой геологии, ученый секретарь; заместитель начальника отдела научного сопровождения параметрического и сверхглубокого бурения (тел.: +007 951 936 74 60, e-mail: sbashkova@mail.ru). Контактное лицо для переписки.

**Яковлев Юрий Александрович** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры гидрогеологии, советник Департамента геологии и нефтегазоносности (тел.: + 007 (912) 882 17 67, e-mail: yuyakovlev@yandex.ru).

**Капитанова Анастасия Сергеевна** – инженер второй категории (тел.: + 007 902 830 15 12, e-mail: kapitan19.95@mail.ru).

**Башков Андрей Николаевич** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии нефти и газа (тел.: +007 912 882 94 91, e-mail: bashkov41@yandex.ru).

**Svetlana E. Bashkova** (Author ID in Scopus: 37561140000) – PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Regional and Petroleum Geology, Scientific Secretary; Deputy Head of the Department of Scientific Support for Parametric and Ultra-Deep Drilling (tel.: +007 951 936 74 60, e-mail: sbashkova@mail.ru). The contact person for correspondence.

**Yury A. Yakovlev** (Author ID in Scopus: 57216374073) – PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Hydrogeology, Advisor to the Department of Geology and Petroleum Potential (tel.: + 007 (912) 882 17 67, e-mail: yuyakovlev@yandex.ru).

**Anastasia S. Kapitanova** – 2<sup>nd</sup> category Engineer (tel.: + 007 902 830 15 12, e-mail: kapitan19.95@mail.ru).

**Andrey N. Bashkov** – PhD in Geology and Mineralogy, Associate Professor of the Department of Geology of Oil and Gas (tel.: + 007 912 882 94 91, e-mail: bashkov41@yandex.ru).

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Прогноз геотермических и геохимических условий Мраковской депрессии и прилегающих территорий Шихано-Ишимбайской седловины / С.Е. Башкова, Ю.А. Яковлев, А.С. Капитанова, А.Н. Башков // Недропользование. – 2022. – Т.22, №1. – С.37–44. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.1.6

Please cite this article in English as:

Bashkova S.E., Yakovlev Y.A., Kapitanova A.S., Bashkov A.N. Forecast of the geoThermal and Geochemical Conditions of the Mrakovskaya Depression and the Adjacent Territories of the Shikhano-Ishimbayskaya Saddle. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2022, vol.22, no.1, pp.37-44. DOI: 10.15593/2712-8008/2022.1.6

**Введение**

Территории Предуральского прогиба и Западно-Уральская зона складчатости представляют несомненный интерес для оценки потенциальной нефтегазоносности. На Южном Урале в качестве наиболее перспективных районов могут рассматриваться Мраковская впадина и Шихано-Ишимбайской седловина.

Изучение катагенетических особенностей разреза включает последовательную оценку современного геотермического поля и основных факторов его формирования, палеогеотермических характеристик и расчета степени катагенеза на основе аналитических зависимостей. Логическим продолжением этих исследований является выполнение бассейнового моделирования, интегрально учитывающего историю формирования разреза, его преобразования, палеотемпературные и динамические условия.

**Основные геологические факторы формирования геотермического поля**

К настоящему времени накоплен значительный фактический материал по региональной геотермии разреза, прогнозным оценкам величины теплового поля, выполнено построение цифровых геотермических моделей литосферы Урала и Предуралья. Исследования нашли отражение в трудах Ю.А. Ежова, В.Е. Сальникова, Ю.И. Галушкина, В.Д. Хуторского, И.В. Головановой [1–18].

В качестве основных факторов формирования геотермического режима территории следует рассматривать следующее:

- особенности тектонического развития и осадконакопления [19–22];
- палеоклиматические условия как следствие глобальных тектонических и планетарных процессов [1, 11, 15, 16, 24–29].
- геолого-структурные и палеогеографические условия формирования макроеднородности теплопроводных свойств разреза, геотермических аномалий локальных структур и соляных диапиров [7, 16, 30].
- вероятность образования фрикционных источников тепла при формировании шарьяжно-надвиговых структур [18, 31–34].

Оценка величины тепловых потоков и эволюция теплового режима Южного Урала и прилегающей части Предуральского прогиба неоднократно рассматривались И.В. Головановой, Ю.А. Галушкиным, М.Д. Хуторским [1–4, 7, 18, 33].

В зависимости от качества исходных данных, методики исследований и представлений авторов количественные оценки теплового потока могут различаться. Так, по данным В.Е. Сальникова (1984) для изучаемого региона величина теплового потока оценивается от 23 до 33 мВт/м<sup>2</sup>. Восточная окраина Русской платформы в примыкании к Уралу характеризуется В.А. Шаповым (2006) как зона со значениями теплового потока 35–40 мВт/м<sup>2</sup>. По данным М.Д. Хуторского для изучаемого района характерны величины теплового потока в диапазоне 19–34 мВт/м<sup>2</sup> [18]. Более высокие значения теплового потока для Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости представлены в работах И.В. Головановой [7, 8, 11]. Для Мраковской депрессии тепловой поток по 11 измерениям оценивается в диапазоне 23–58 мВт/м<sup>2</sup> (средний 40 мВт/м<sup>2</sup>), а с учетом палеоклиматических поправок 40–50 мВт/м<sup>2</sup>. Для Шихано-Ишимбайской седловины (три измерения) аналогичные показатели соответствуют диапазону 33–37 мВт/м<sup>2</sup> (средний 35 мВт/м<sup>2</sup>) и 40–50 мВт/м<sup>2</sup> с учетом палеоклиматических поправок. Западно-Уральская зона складчатости и Предуральский прогиб вместе с восточной частью Волго-Уральской антеклизы относятся к обширной Уральской области с общими пониженными значениями теплового потока и локальными зонами (участками) его резкой дифференциации (от 23 до 58 мВт/м<sup>2</sup>), однако не входят в

Уральскую зону аномально низких значений теплового потока. В восточной части Мраковской депрессии выделяется локальная Исимовская аномальная зона с величиной теплового потока до 48–58 мВт/м<sup>2</sup> [7, 8, 11].

Плотность пунктов геотермических наблюдений в скважинах Мраковской депрессии и Шихано-Ишимбайской седловины оценивается как низкая и крайне неравномерная, поскольку практически все измерения температур выполнены в скважинах на нефтяных площадях. В восточных районах этих структур, а также сопредельной зоны складчатого Урала пункты геотермических наблюдений в скважинах отсутствуют.

В основу анализа современного температурного поля изучаемого района вошли данные, представленные в работах Ю.А. Ежова и И.В. Головановой в виде региональных схем изотерм на кровле отложений, изотерм на срезах, геотермических профилей, одиночных и обобщенных термограмм.

Примером схем изотерм является карта температур, приведенных к кровле доманиковых отложений [35]. Она иллюстрирует отчетливую тенденцию резкого возрастания температур в Шихано-Ишимбайской седловине и, особенно, в Мраковской депрессии при увеличении глубины залегания отложений. Информативными также являются региональные карты изотерм на срезах [13]. Для района Мраковской депрессии показательным является геотермический профиль, проведенный через изучаемый район с прогнозом температур в сопредельных восточных структурах. В работах И.В. Головановой с соавт. [9, 11] представлены мелкомасштабные схемы прогнозных изотерм южной части Республики Башкортостан на срезах минус 2000, минус 5000 и минус 1000 м, рассчитанные с учетом исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока. При высокой общей дифференциации теплового поля повышенные температуры характерны для района Мраковской депрессии.

Построение карт прогнозных температур на срезах минус 500 м, минус 1000 м, минус 2000 м, минус 3000 м, минус 5000 м и минус 10000 м по геотермическим данным ИГ УНЦ РАН показало следующее: общий рост дифференцированности температурного поля с глубиной, вероятность наличия геотермической аномалии в районе Саратовской структуры вблизи западной границы южного перспективного участка в условиях предположительно высокой теплопроводной изоляции разреза, а также относительно низкий температурный фон в районах юго-западной границы северного перспективного участка, что может быть связано с повышенной теплопроводностью пермских соляных диапиров Воскресенского вала в верхней части разреза.

Показательными параметрами являются геотермические градиенты различных частей Уральского региона. По данным Ю.А. Ежова (1968), наиболее низкий средний геотермический градиент характерен для «охлажденных» структур центрального Урала (1,73 °С/100 м). В условиях высокой геотермической изоляции разреза Зауралья градиент достигает величины 4,77 °С/100 м. Для Предуралья средний градиент оценивается величиной 1,86 °С/100 м, что фактически соответствует платформенным условиям. Прогнозные величины интервальных геотермических градиентов изучаемой территории составляют 1,0–3,2 °С/100 м. В западных и центральных зонах средний геотермический градиент верхней части разреза (до минус 1000 м) соответствует относительно низкой средней величине 1,6 °С/100 м, что может предопределяться высокой теплопроводностью пермских галогенных отложений. В интервале минус 1000 – минус 5000 м средний градиент возрастает до 1,7–1,8 °С/100 м. Минимальная прогнозная величина среднего градиента предполагается в интервале ниже минус 5000 м (1,3 °С/100 м) и может быть связана только с повышенной теплопроводностью разреза на больших глубинах. Для юго-восточной зоны характерны более высокие средние геотермические градиенты, что может предопределяться повышенной геотермической изоляцией

разреза. Отличия юго-восточной зоны от западной и центральной зон прослеживаются на обобщенной термограмме фактических конечных температур в скважинах региона (рис. 1). В соответствии с полученными уравнениями, геотермический градиент в юго-восточной зоне может оцениваться в  $2,7\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ , а в западной и центральной зонах  $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ .

**Палеогеотермическая зональность отложений**

Особенности палеотемпературной зональности южной части Предуральского прогиба рассматривались в работах Горшкова [12]. По материалам палеотемпературно-катагенетической изученности в нижнепермских и нижнекаменноугольных отложениях южной части Предуральского прогиба выделяются зоны среднего и высокого катагенеза. Большая часть северного участка и весь южный находятся в зоне высоких катагенетических преобразований и палеотемператур. Для этой зоны характерно чешуйчато-надвиговое строение осадочного чехла, что подтверждается изучением разрезов скважин Таушской и Беркутовской площадей. Фаменско-турнейские отложения в зоне Зилаирского синклиория (зилайрская серия), шарьяжно надвинутые на более молодые комплексы отложений девона и карбона, преобразованы, вероятнее всего, до стадии апокатагенеза, а палеотемпературы могут составлять  $220\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Катагенез поднадвиговых (автохтонных) отложений среднего и нижнего карбона соответствует градиентам  $\text{МК}_2\text{--МК}_4$  и палеотемпературам  $140\text{--}210\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При определении отражательной способности витринита (ОСВ) на керне скважин, пробуренных в Западно-Уральской складчато-надвиговой зоне, и последующей интерпретации полученных результатов довольно часто отмечаются катагенетические несогласия и инверсионный характер катагенеза. Это чаще всего связано с пересечением скважиной шовных зон надвиговых дислокаций. Так, скважиной 7409 Беркутовской площади в интервале  $3848\text{--}3870\text{ м}$  вскрыты отложения верхнего карбона с катагенезом  $\text{МК}_2$ . Не исключено, что такой низкий катагенез на значительной глубине может указывать на то, что выше указанного интервала находится сместитель надвига, и на отложения нижнего карбона надвинуты толщи катагенетически более преобразованные.

В сложных условиях складчато-надвигового строения и наличия инверсионных движений при прогнозе катагенетической зональности вместе с применением метода ОСВ целесообразно использовать расчетные методы и программы по бассейновому моделированию.

В результате применения расчетных методов построены прогнозные карты изменения катагенеза органических веществ (ОВ) палеозойских отложений в пределах стратиграфических подразделений рассматриваемой территории (рис. 2). Наблюдается общая тенденция увеличения катагенетической преобразованности ОВ пород по площади в субмеридиональном направлении с севера на юг, и по разрезу от пермских до девонских отложений, достигая позднего мезокатагенеза ( $\text{МК}_4$ ). Для пермских отложений ОВ на значительной части территории находится на стадии протокатагенеза. Для башкирских и тульских отложений характерен широкий диапазон изменения катагенетической преобразованности ОВ от протокатагенеза ( $\text{ПК}_2$ ) до мезокатагенеза ( $\text{МК}_3$ ). Наименее катагенетически преобразовано ОВ на севере территории на Кургашлинской, Урузбаевской, Хлебодаровской, Иштугановской площадях. В районе Таушской и Саратовской площадях ОСВ достигает  $1,0\text{ }\%$  ( $\text{МК}_3$ ). Для турнейских отложений ОВ на большей части территории преобразовано до подстадии  $\text{МК}_1$ .

Доманиковые отложения на всей изучаемой территории находятся в мезокатагенезе ( $\text{МК}_1\text{--МК}_4$ ). Для кыновско-пашийских отложений ОВ в южных районах находится на поздней стадии мезокатагенеза ( $\text{МК}_4$ ), ОСВ более  $1,5\text{ }\%$ . Менее катагенетически преобразованное ОВ характерно для северных и центральных районов, катагенез ОВ не превышает подстадии  $\text{МК}_1$  (Урузбаевская, Хлебодаровская, Кургашлинская и др. площади). Для западных и частично центральных районов ОВ преобразовано до подстадий  $\text{МК}_2\text{--МК}_3$  (Кинзебулатовская, Тейрукская, Салиховская, Воскресенская и др.).

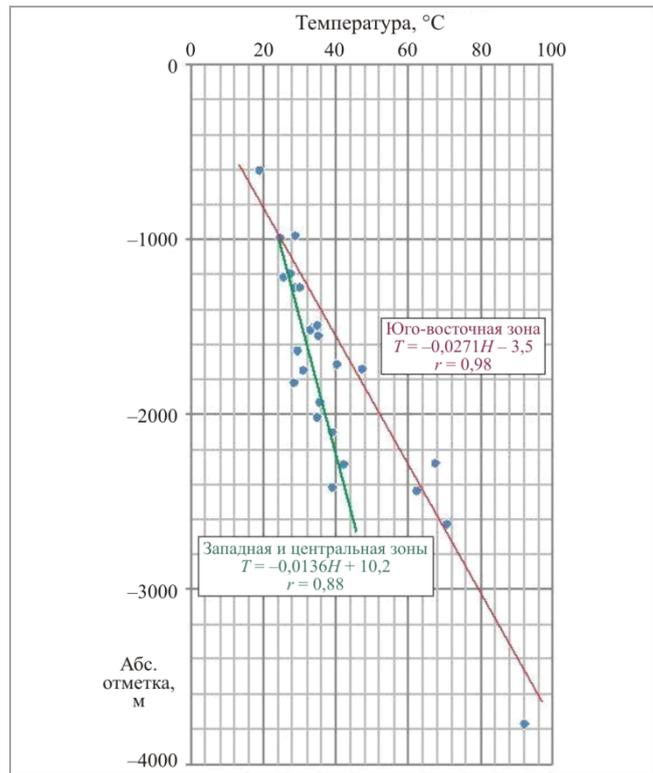


Рис. 1. Термограмма по фактическим конечным замерам температур в скважинах Шиханско-Белебеевской седловины и Мраковской депрессии (по материалам ИГ УНЦ РАН)

**Бассейновое моделирование**

Моделирование процессов нефтегазообразования и восстановления геотемпературного режима недр проводилось в программе PetroMod, которая позволяет реконструировать палеотемпературы, степень катагенеза, потенциал генерации углеводородов (УВ) материнских свит и др. в сложных надвиговых структурах с объединением нескольких разрезов [1]. Для зоны максимальных палеотемператур 1D-бассейновое моделирование проводилось по разрезу поисковой скважины Таушской 2, расположенной в Мраковской впадине, для зоны средней степени катагенетической преобразованности – по разрезам скважин Тейрукской 2 (Шихано-Ишимбайская седловина) и Урузбаевской 11 (Мраковская впадина). Верификация моделей, проведенная по фактическим замерам температур в скважинах, прогнозным современным температурам, отражательной способности витринита ( $R^*$ ) и пластовому давлению показала удовлетворительные результаты (рис. 3, а). На глубине  $1686\text{ м}$  в разрезе скважины Таушской 2 между автохтоном ( $R\text{--}P_1$ ) и аллохтоном ( $C_1v\text{--}P_1$ ) фиксируется катагенетическое несогласие, которое является следствием Таушко-Ургинского надвига (рис. 3, б).

Исследование формирования осадочного чехла показало, что основное осадконакопление проходило в три этапа: рифейское, поздневендское и силурийско-позднепалеозойское. На рубеже «пермь – триас» в районе скважин Таушской 2 и Урузбаевской 11 проявились Таушко-Ургинский и Урузбаевский надвиги. После интенсивного погружении базальных терригенных отложений нижнего рифея в эволюции геотемпературного режима наблюдается увеличение пластовых температур до  $180\text{--}185\text{ }^{\circ}\text{C}$  в подошве осадочного чехла. К завершению рифейского цикла температура в кровле калтагинской свиты составляла  $120\text{--}190\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На этапе выстуживания в раннем венде наблюдается небольшое снижение температур ( $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а затем резкое возрастание температур в позднем венде. К этому времени температура в кровле рифея составляла около  $75\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

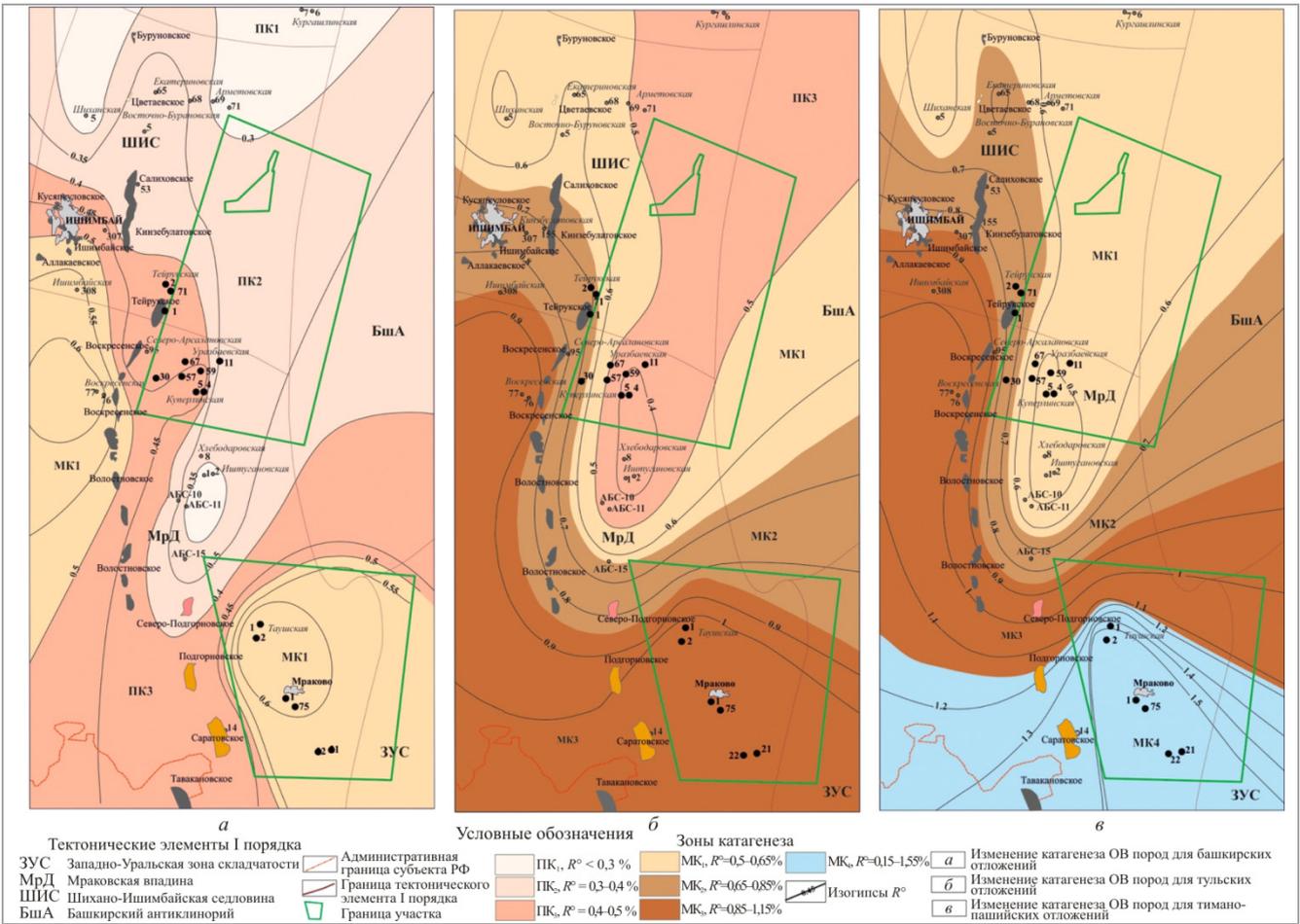


Рис. 2. Прогнозные карты изменения катагенеза органических веществ пород Мраковской впадины и Шихано-Ишимбайской седловины

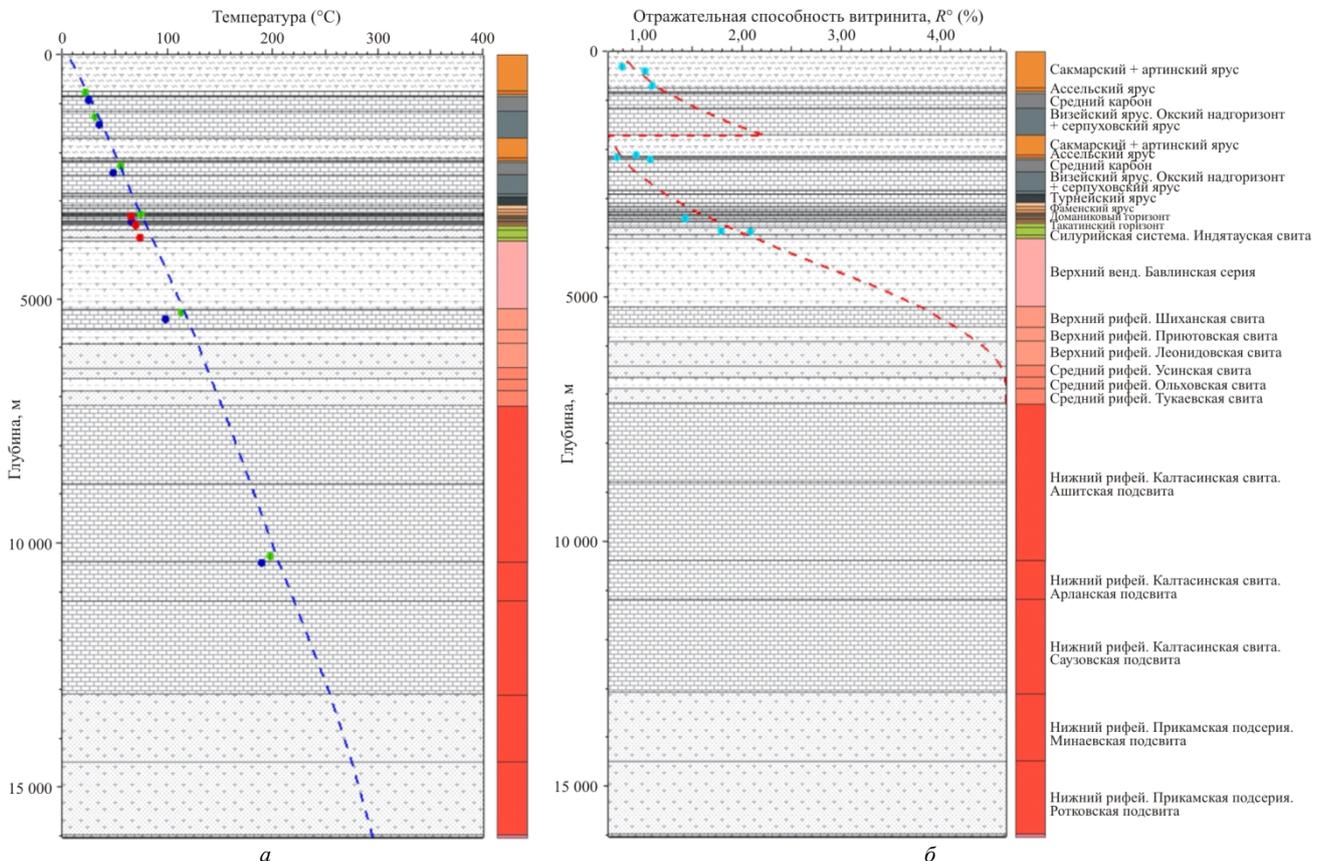


Рис. 3 Калибровка результатов моделирования в разрезе скважины Таууской 2: а – по температуре; б – по отражательной способности витринита (R°)

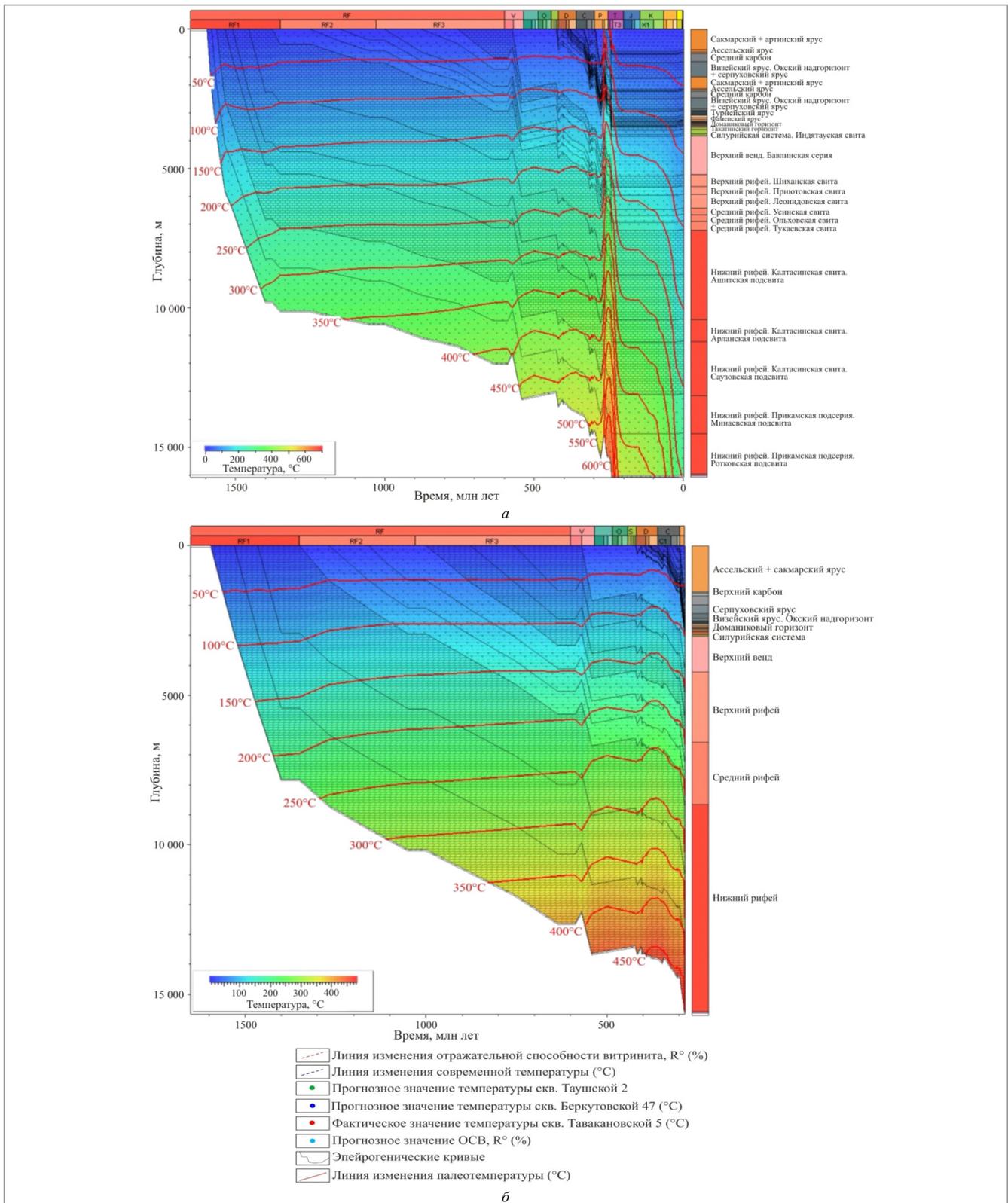


Рис. 4. Модель погружения и прогрева: а – по разрезу скважины Таушской 2; б – аллохтона скважины Уразбаевской 11 (до периода надвиговых дислокаций)

Третий этап интенсивного возрастания температур в районе скважин Таушской 2 и Уразбаевской 11 прослеживается в раннедевонско-фаменское время, за этот период температура в кровле рифея возросла еще примерно на 25 °С, температура в силурийско-девонской части разреза к окончанию фаменского времени не превышала 35–40 °С. Моделирование эволюции геотемпературного режима по разрезу скважины Тейрукской 2 на этом этапе показало, что резкое увеличение

температур наблюдается только со второй половины каменноугольного периода. К завершению пермского этапа осадконакопления максимальные пластовые температуры в кровле калтасинской свиты составили 225–275 °С, в кровле пашийско-кыновской толщи терригенного девона – 88–100 °С, в кровле доманикового горизонта – 86–118 °С. На рубеже мезозоя и кайнозоя наступил стабильный этап развития, характеризующийся постепенным выстуживанием отложений (рис. 4, а).

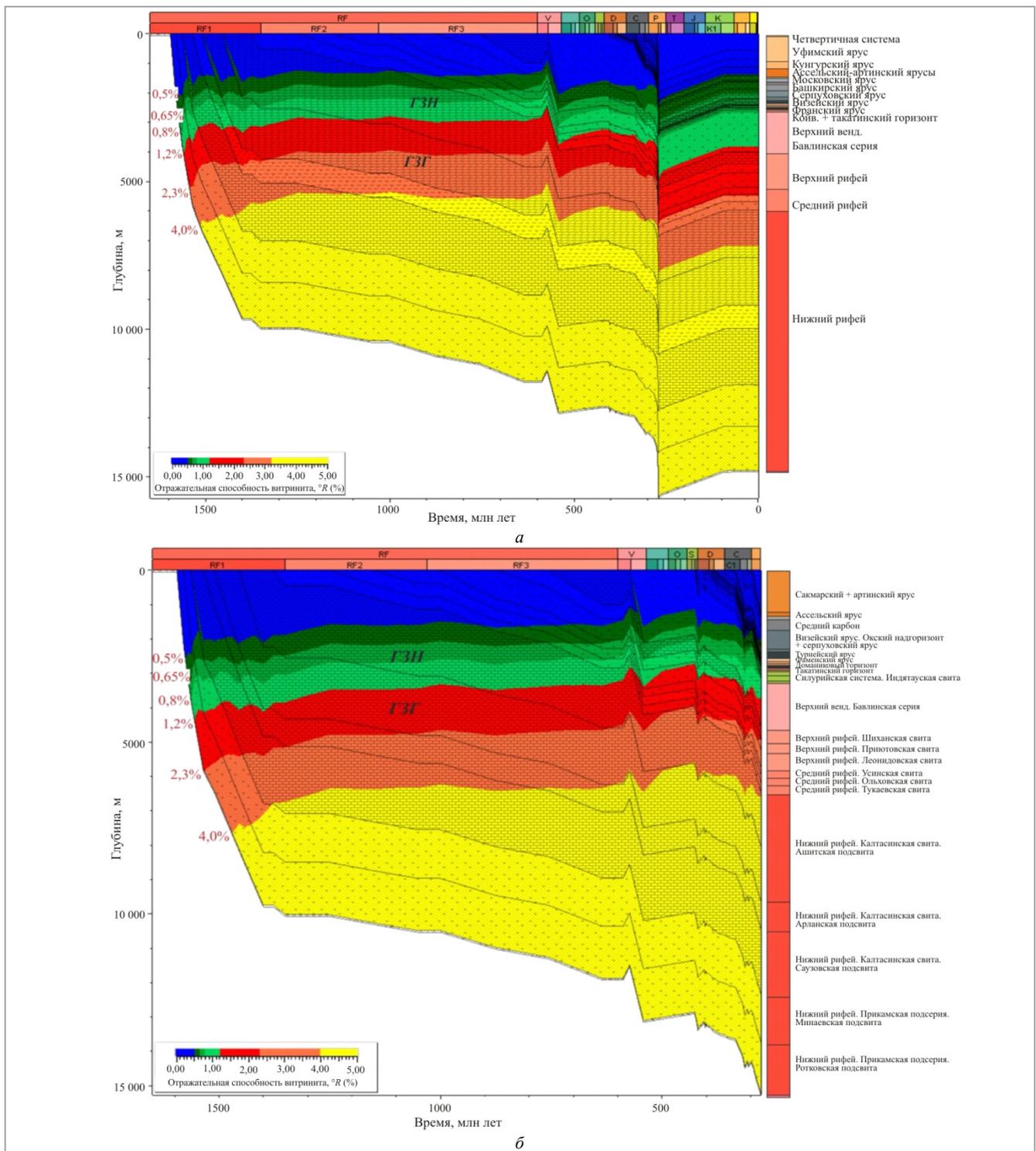


Рис. 5. Модель эволюционно-катагенетической зональности: а – по разрезу скважины Тейрукской 2; б – аллохтона скважины Таууской 2 (до периода надвиговых дислокаций)

По результатам бассейнового моделирования аллохтонных частей разрезов с применением палинпастических реконструкций (рис. 4, б) значительных изменений в распределении пластовых температур до раннепермского времени не наблюдалось. Максимальный прогрев доманикового горизонта по разрезам аллохтонов изучаемых площадей до начала складчато-надвиговых дислокаций в артинское время составлял 87–117 °С, в пашийско-кыновских отложениях – 83–113 °С, температуры в кровле калтасинской свиты повысились до 252–265 °С. Максимальные палеотемпературы зафиксированы во время проявления надвигов, что характерно для многих сильнодислоцированных зон.

Реконструкция катагенетической зональности скважины Тейрукская 2 (рис. 5) показала, что нижний рифей прошел

стадию мезокатагенеза и погрузился в главную зону газообразования (ГЗГ) еще в раннерифейское время. Нижняя часть верхнего венда длительного времени из-за отсутствия прироста температур в начале палеозоя находилась в зоне МК<sub>1</sub>, только во время складчато-надвиговых перемещений при повышенном тепловом потоке в пермское время подошва венда на глубине около 2300 м прогрелась до подстадии МК<sub>3</sub>, кровля венда в это время только погрузилась в зону МК<sub>1</sub>. Подошва терригенного девона и доманикового горизонта вступили в ГЗН на рубеже «пермь – триас». По результатам моделирования степень катагенеза палеозойской части разреза после надвиговых перемещений не превысила подстадию МК<sub>1</sub>. Соответственно, до проявления надвиговой тектоники, а именно, в раннепермское время нефтегазоматеринские

породы домикакового горизонта, терригенного девона автохтонов могли продуцировать нефтяные УВ, в то время как более погруженные отложения нижнего рифея при благоприятных условиях могли генерировать газы. В районе скважины Тейрукской 2 в начале пермского этапа осадконакопления наблюдается резкое возрастание катагенетической зрелости по всему разрезу, подошва венда достигает градиции катагенеза МК<sub>2</sub>, палеозойская часть разреза остается в зоне протокатагенеза. Но уже после накопления мощной терригенной толщи пород уфимского яруса (270 млн лет) низы венда вступают в ГЗГ ( $R^c - 1,20-1,23$  %), подошва домикакового горизонта достигает степени катагенеза МК<sub>2</sub> ( $R^c - 0,66$  %), фаменско-башкирская часть разреза остается в зоне МК<sub>1</sub>, вышележащие отложения – в зоне протокатагенеза (см. рис. 5, а).

Результаты моделирования по разрезам аллохтонов показали, что до начала развития надвигообразований в протокатагенезе оставались только верхи визейского яруса, башкирские, верхнекаменноугольные и пермские отложения. К завершению палеозойского цикла в предполагаемых нефтегазоматеринских породах аллохтонов домикакового горизонта, терригенного девона создавались благоприятные условия для генерации тяжелой и средней нефти (см. рис. 5, б).

### Заключение

Таким образом, результаты изучения геотермических и геохимических условий южной части Предураляского прогиба и Западно-Уральской зоны складчатости, несмотря на ограниченность исходной информации, позволили получить ряд важных выводов для прогноза нефтегазоносности малоизученных районов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [36–49]:

### Библиографический список

1. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. – М.: Научный мир, 2007. – 456 с.
2. Галушкин Ю.И., Яковлев Г.Е. Природа аномального теплового режима литосферы Тагило-Магнитогорской зоны Урала и Башкирского свода // Докл. АН. – 2002. – Т. 383, № 1. – С. 99–104.
3. Галушкин Ю.И., Яковлев Г.Е. Эволюция теплового режима литосферы Башкирского Предураля и сравнение с современным режимом Тагило-Магнитогорской зоны Урала // Геотектоника. – 2003. – № 6. – С. 28–42.
4. Галушкин Ю.И., Яковлев Г.Е., Куприн В.Ф. Эволюция катагенеза и реализации углеводородного потенциала органического вещества рифейских и вендских отложений Западного Башкортостана: численные оценки // Геохимия. – 2004. – № 1. – С. 82–93.
5. Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Демезко Д.Ю. Реконструкция климата на Урале по геотермическим данным // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 12. – С. 1776–1785.
6. Голованова И.В. Изучение аномалий теплового поля Южного Урала и Предураля // Ядерная геофизика. Геофизические методы исследования литосферы. Геотермия: Первые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2001. – С. 15–17.
7. Голованова И.В. Тепловое поле Южного Урала и его связь с тектоническими факторами // Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. – М.: Наука, 1993. – С. 48–55.
8. Голованова И.В. Тепловое поле Южного Урала. – М.: Наука, 2005. – 189 с.
9. Голованова И.В., Масагутов Р.Х. Тепловое поле Башкирского Предураля // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: науч. чтения памяти Ю.П. Булашевича. – Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2009. – С. 104.
10. Новый вариант карты теплового потока Урала, построенный с учетом влияния палеоклимата / И.В. Голованова, В.Н. Пучков, Р.Ю. Сальманова, Д.Ю. Демезко // Доклады АН. – 2008. – Т. 422, № 3. – С. 394–397.
11. Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Тагирова Ч.Д. Методика расчета глубинных температур с учетом исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 9. – С. 1426–1435. DOI: 10.15372/GIG20140908
12. Горшков В.И. Региональная палеотермальная зональность нефтегазоносных платформенных отложений // Закономерности формирования и размещения нефтяных и газовых месторождений. – М., 1978. – С. 167–179.
13. Ежов Ю.А. Основные черты геотермии Урала и сопредельных территорий // Глубинное строение Урала. – М.: Наука, 1968. – С. 314–324.
14. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. – Уфа: ГИЛЕМ, 2000. – 146 с.
15. Сальников В.Е., Голованова И.В. Новые данные о распределении теплового потока на Урале // Геология и геофизика. – 1990. – № 12. – С. 129–135.
16. Сальников В.Е. Геотермический режим Южного Урала. – М.: Наука, 1984. – 88 с.
17. Тепловой режим недр СССР / под ред. Ф.А.Макаренко. – М, 1970. – 220 с.
18. Хуторский М.Д. Тепловой поток, модель строения и эволюции литосферы Южного Урала и Центрального Казахстана // Геотектоника. – 1985. – № 3. – С. 77–88.
19. Белокоп Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. – Пермь: ИПК «Звезда», 2001. – 108 с.
20. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. О механизме соляной складчатости в Предураляском, Прикаспийском и Преддонском прогибах // Геологический сборник № 6. Информационные материалы. ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2007. – С. 68–73.
21. Казанцева Т.Т. Среднедевонский домикаит Башкирии. Структурное и стратиграфическое положение // Геологический сборник № 10. Информационные материалы. ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2013. – С. 80–87.
22. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. – М.: Наука, 1974. – 231 с.
23. Богачкин А.В., Меркулов О.И., Носова С.А. Вариации палеоклимата докембрийской Европы в контексте геологического моделирования // Недр Поволжья и Прикаспия. – 2018. – Вып. 95. – С. 51–62.
24. Величко А.А. Изменение климата и ландшафтов за последние 65 млн. лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена). – М.: ГЕОС, 1999. – 260 с.
25. Величко А.А. Структура термических изменений палеоклиматов мезокайнозоя по материалам изучения Восточной Европы // Климаты Земли в геологическом прошлом. – М.: Наука, 1987. – С. 5–43.
26. Сальников В.Е., Голованова И.В. Новые данные о распределении теплового потока на Урале // Геология и геофизика. – 1990. – № 12. – С. 129–135.
27. Ясаманов Н.А. Древние климаты земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 294 с.
28. Ясаманов Н.А. Климаты рифейской и вендского времени // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 1994. – № 2.
29. Donnelly T.H., Jackson M.J. Sedimentology and geochemistry of a mid-Proterozoic lacustrine unit from northern Australia // Sediment. Geol. – 1988. – Vol. 58, iss. 2–4. – P. 145–169. DOI: 10.1016/0037-0738(88)90067-X
30. Ковнер С.С. Термические аномалии Ишимбайских месторождений // Докл. АН СССР. – 1949. – Т. 6, № 3. – С. 329–332.
31. Происхождение тепловых аномалий горы Янгантау на Южном Урале / Р.И. Нигматуллин, Т.Т. Казанцева, М.А. Камалетдинов, Ю.В. Казанцев // Ежегодник. – 1997. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1999. – С. 110–119.
32. Парфенюк О.И. Тепловые эффекты процесса деформаций при надвиге (результаты численного моделирования) // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2008. – № 6. – С. 68–73.
33. Хуторский М.Д., Поляк Б.Г. Геотермические модели геодинамических обстановок разного типа // Геотектоника. – 2014. – № 1. – С. 77–96.
34. Brewer J. Thermal effects of trust faulting // Earth Planet Sci. Lett. – 1981. – Vol. 56. – P. 233–244. DOI: 10.1016/0012-821X(81)90130-8
35. Масагутов Р.Х., Миняев В.Н., Илеманова О.Д. Комплексное геолого-геохимическое изучение домикаковых отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (на примере Башкортостана) // Геология и разработка месторождений с трудноизвлекаемыми запасами: материалы XVII Науч.-практ. конф. – 2017. – С. 65–78.
36. Абдрахманов Р.Ф., Пучков В.Н. Особенности газогидро-геотермальных явлений горы Янгантау и прилегающих территорий // Литосфера. – 2003. – № 4. – С. 65–77.
37. Маслов А.В., Крупицын М.Т., Гареев Э.З. Литологические, литохимические и геохимические индикаторы палеоклимата (на примере рифея Южного Урала) // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 5. – С. 502–525.
38. Armstrong A.K., Wruicke C.T. Depositional environment of the carbonate members of the Middle Proterozoic Mescal Limestone, Apache Group, central and southern Arizona // New Mexico Geology. – 1990. – Vol. 12, № 3. – 65 p.
39. Bethke C.M., Lee Ming-Kuo, Park Jungho. Basin modeling with Basin2. Release 5.0.1. Hydrogeology Program. – University of Illinois, 2007. – 210 p.

40. Blount J.G. The geochemistry, petrogenesis, and geochronology of the Precambrian meta-igneous rocks of Sierra Del Cuervo and Cerro El Carrizalillo. – Chihuahua, Mexico: Austin, University of Texas, 1993. – 242 p.  
 41. Bruhn R.L., Picard M.D., Isby J.S. Tectonics and sedimentology of Uinta Arch, western Uinta Mountains, and Uinta Basin // *Paleotectonics and sedimentation in the Rocky Mountain Region* / ed. J.A. Petersom; American Association of Petroleum Geologists Memoir 41. – 1986. – P. 333–352. DOI: 10.1306/M41456C16  
 42. Callahan D.M. Paleotectonic reconstruction and provenance analysis of the synorogenic Precambrian Hazel Formation. – Van Horn, Trans-Pecos Texas: Dallas, University of Texas, 1992. – 104 p.  
 43. Collen J.D., Newman R.H. Porosity development in deep sandstones, Taranak Basin // *J. Southeast Asian. Reg. Sci.* – 1991. – № 5. – P. 449–452. DOI: 10.1016/0743-9547(91)90060-B  
 44. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // *Chemical Geol.* – 1993. – Vol. 104, iss. 1–4. – P. 1–37. DOI: 10.1016/0009-2541(93)90140-E  
 45. Frakes L.A. Climates throughout geological time. – Amsrerdam: Elsevier, 1979. – 310 p.  
 46. Garjzsi A.V., Von Bergen D. Stylolitic porosity in carbonates: a critical factor for deep hydrocarbon production // *Jow Pert. Yeol.* – 1987. – Vol. 10, № 3. – P. 267–282. DOI: 10.1111/j.1747-5457.1987.tb00946.x  
 47. Huntoon P.W. Proterozoic structural geology of the grand canyon // *Grand canyon geology* / eds. S.S. Beus, M. Morals. – 1990. – P. 261–309.  
 48. Taylor T.R. The influens of calcite dissolution on reservoir porosity in Miocene sandstones picaroon // *J. Sediment Pert.* – 1990. – Vol. 60, № 3. – P. 322–334. DOI: 10.1306/212F9192-2B24-11D7-8648000102C1865D  
 49. Vance R.K., Condie K.C. Geochemistry of footwall alteration associated with the early Proterozoic United Verde massive sulfide deposit, Arizona // *Economic Geology.* – 1987. – Vol. 82, № 3. – P. 571–586. DOI: 10.2113/gsecongeo.82.3.571

References

1. Galushkin Iu.I. Modelirovanie osadochnykh basseinov i otsenka ikh neftegazonosnosti [Modeling of sedimentary basins and assessment of their oil and gas potential]. Moscow: Nauchnyi mir, 2007, 456 p.  
 2. Galushkin Iu.I., Iakovlev G.E. Priroda anomal'nogo teplovogo rezhima litosfery Tagilo-Magnitogorskoi zony Urala i Bashkirskogo svoda [The nature of the anomalous thermal regime of the lithosphere of the Tagil-Magnitogorsk zone of the Urals and the Bashkir arch]. *Doklady AN*, 2002, vol. 383, no. 1, pp. 99-104.  
 3. Galushkin Iu.I., Iakovlev G.E. Evoliutsia teplovogo rezhima litosfery Bashkirskogo Preluralia i sravneniy s sovremennym rezhimom Tagilo-Magnitogorskoi zony Urala [Evolution of the thermal regime of the lithosphere of the Bashkir Cis-Urals and comparison with the modern regime of the Tagil-Magnitogorsk zone of the Urals]. *Geotektonika*, 2003, no. 6, pp. 28-42.  
 4. Galushkin Iu.I., Iakovlev G.E., Kuprin V.F. Evoliutsiia katagenezia i realizatsiia uglevodorodnogo potentsiala organicheskogo veshchestva rifeiskikh i vendiskikh otlozhenii Zapadnogo Bashkortostana: chislennyye otsenki [Evolution of Catagenesis and Realization of the Hydrocarbon Potential of Organic Matter in the Riphean and Vendian Deposits of Western Bashkortostan: Numerical Estimates]. *Geokhimiia*, 2004, no. 1, pp. 82-93.  
 5. Golovanov I.V., Sal'matova R.Iu, Demezhko D.Iu. Rekonstruktsiia klimata na Urale po geotermicheskim dannym [Climate reconstruction in the Urals from geothermal data]. *Geologiya i geofizika*, 2012, vol. 53, no. 12, pp. 1776-1785.  
 6. Golovanova I.V. Izuchenie anomalii teplovogo polia Iuzhnogo Urala i Predural'ia [Study of anomalies in the thermal field of the Southern Urals and Pre-Urals]. *Iadernaia geofizika. Geofizicheskie metody issledovaniia litosfery. Geotermiia: Pervyye nauchnye chteniia pamiati Iu.P. Bulashevicha*. Ekaterinburg: IGF UrO RAN, 2001, pp. 15-17.  
 7. Golovanova I.V. Teplovoe pole Iuzhnogo Urala i ego sviaz' s tektonicheskimi faktorami [Thermal field of the Southern Urals and its relationship with tectonic factors]. *Geotermiia seismichnykh i aseismichnykh zon*. Moscow: Nauka, 1993, pp. 48-55.  
 8. Golovanova I.V. Teplovoe pole Iuzhnogo Urala [Thermal field of the Southern Urals]. Moscow: Nauka, 2005, 189 p.  
 9. Golovanova I.V., Masagutov R.Kh. Teplovoe pole Bashkirskogo Predural'ia [Thermal field of the Bashkir Pre-Urals]. *Geodinamika. Glubinnoe stroenie. Teplovoe pole Zemli. Interpretatsiia geofizicheskikh polei: nauchnye chteniia pamiati Iu.P. Bulashevicha*. Ekaterinburg: IGF UrO RAN, 2009, 104 p.  
 10. Golovanova I.V., Puchkov V.N., Sal'matova R.Iu., Demezhko D.Iu. Novyy variant karty teplovogo potoka Urala, postroyennyy s uchetom vliyaniia paleoklimata [A new version of the map of the heat flow of the Urals, built taking into account the influence of paleoclimate]. *Doklady AN*, 2008, vol. 422, no. 3, pp. 394-397.  
 11. Golovanova I.V., Sal'matova R.Iu, Tagirova Ch.D. Metodika rascheta glubinnyykh temperatur s uchetom ispravlennykh na vlianiie paleoklimata znachenii teplovogo potoka [Method for deep-temperature estimation with regard to the paleoclimate influence on the heat flow]. *Geologiya i geofizika*, 2014, vol. 55, no. 9, pp. 1426-1435. DOI: 10.15372/GIG20140908  
 12. Gorskikh V.I. Regional'nai paleotermal'nai zonal'nost' neftegazonosnykh platformnykh otlozhenii [Regional paleothermal zonality of oil and gas bearing platform deposits]. *Zakonomenosti formirovaniia i razmeshcheniia neftiannykh i gazovykh mestorozhdenii*. Moscow, 1978, pp. 167-179.  
 13. Ezhov Iu.A. Osnovnyye cherty geotermii Urala i soproedel'nykh territorii [The main features of geothermy in the Urals and adjacent territories]. *Glubinnoe stroenie Urala*. Moscow: Nauka, 1968, pp. 314-324.  
 14. Puchkov V.N. Paleogeodinamika Iuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa: GILEM, 2000, 146 p.  
 15. Sa'lnikov V.E., Golovanova I.V. Novyye dannyye o raspredelenii teplovogo potoka na Urale [New data on the distribution of heat flow in the Urals]. *Geologiya i geofizika*, 1990, no. 12, pp. 129-135.  
 16. Sa'lnikov V.E. Geotermicheskii rezhim Iuzhnogo Urala [Geothermal regime of the Southern Urals]. Moscow: Nauka, 1984, 88 p.  
 17. Teplovoy rezhim nedr SSSR [The thermal regime of the USSR soil]. Ed. F.A. Makarenko. Moscow, 1970, 220 p.  
 18. Khutorskii M.D. Teplovoy potok, model' stroeniia i evoliutsii litosfery Iuzhnogo Urala i Tsentral'nogo Kazakhstana [Heat flow, model of structure and evolution of the lithosphere of the Southern Urals and Central Kazakhstan]. *Geotektonika*, 1985, no. 3, pp. 77-88.  
 19. Belokon' T.V., Gorbachev V.I., Balashova M.M. Stroenie i neftegazonosnost' rifeisko-vendiskikh otlozhenii vostochno Russkoi platformy [Structure and oil and gas potential of the Riphean-Vendian deposits in the east of the Russian Platform]. Perm: IPK "Zvezda", 2001, 108 p.  
 20. Kazantsev Iu.V., Kazantseva T.T. O mekhanizme solianoi skladchatosti v Predural'skom, Prikaspiiskom i Preddonetskom progibakh [On the mechanism of salt folding in Pre-Urals, Pre-Caspian and Pre-Donetsk troughs]. *Geologicheskii sbornik № 6. Informatsionnye materialy. IG UNTS RAN*. Ufa, 2007, pp. 68-73.  
 21. Kazantseva T.T. [Middle Devonian Domanik of Bashkiriya. Structural and stratigraphic position]. *Geologicheskii sbornik № 10. Informatsionnye materialy. IG UNTS RAN*. Ufa, 2013, pp. 80-87  
 22. Kamaletdinov M.A. Pokrovnyye struktury Urala [Integumentary structures of the Urals]. Moscow: Nauka, 1974, 231 p.  
 23. Bogachkin A.V., Merkulov O.I., Nosova S.A. Variatsii paleoklimata dokemboiskoi Evropy v kontekste geologicheskogo modelirovaniia [Paleoclimate variations of Precambrian Europe in the context of geological modeling]. *Nedra Povolzh'ia i Prikaspiia*, 2018, iss. 95, pp. 51-62.  
 24. Velichko A.A. Izmenenie klimata i landshaftov za poslednie 65 mln. let (kainozoi: ot paleotsena do golotsena) [Changes in climate and landscapes over the past 65 million years (Cenozoic: from the Paleocene to the Holocene)]. Moscow: GEOS, 1999, 260 p.  
 25. Velichko A.A. Struktura termicheskikh izmenenii paleoklimatov mezokainozoi po materialam izucheniia Vostochnoi Evropy [The Structure of Thermal Changes in Paleoclimates of the Meso-Cenozoic Based on the Materials of the Study of Eastern Europe]. *Klimat Zemli v geologicheskoy proshlom*. Moscow: Nauka, 1987, pp. 5-43.  
 26. Sa'lnikov V.E., Golovanova I.V. Novyye dannyye o raspredelenii teplovogo potoka na Urale [New data on the distribution of heat flow in the Urals]. *Geologiya i geofizika*, 1990, no. 12, pp. 129-135.  
 27. Iasamanov N.A. Drevnie klimaty zemli [Ancient climates of the earth]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, 294 p.  
 28. Iasamanov N.A. Klimaty rifeiskogo i vendiskogo vremeni [Riphean and Vendian climates]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geologiya*, 1994, no. 2.  
 29. Donnelly T.H., Jackson M.J. Sedimentology and geochemistry of a mid-Proterozoic lacustrine unit from northern Australia. *Sediment. Geol.*, 1988, vol. 58, iss. 2-4, pp. 145-169. DOI: 10.1016/0037-0738(88)90067-X  
 30. Kovner S.S. Termicheskie anomalii Ishimbaiskikh mestorozhdenii [Thermal anomalies of the Ishimbay deposits]. *Doklady AN SSSR*, 1949, vol. 6, no. 3, pp. 329-332.  
 31. Nigmatullin R.I., Kazantseva T.T., Kamaletdinov M.A., Kazantsev Iu.V. Proiskhozhdienie teplovyykh anomalii gory Iangantau na Iuzhnom Urale [Origin of thermal anomalies of the Yangantau mountain in the South Urals]. *Ezhegodnik - 1997*. Ufa: IG UNTS RAN, 1999, pp. 110-119.  
 32. Parfeniuk O.I. Teplovyye efekty protessa deformatsii pri nadvige (rezultaty chislennogo modelirovaniia) [Thermal effects of the process of deformations during thrust (results of numerical simulation)]. *Izvestiia vuzov. Geologiya i razvedka*, 2008, no. 6, pp. 68-73.  
 33. Khutorskii M.D., Poliak B.G. Geotermicheskie modeli geodinamicheskikh obstanovok raznogo tipa [Geothermal models of different types of geodynamic settings]. *Geotektonika*, 2014, no. 1, pp. 77-96.  
 34. Brewer J. Ternal effects of trust faulting. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1981, vol. 56, pp. 233–244. DOI: 10.1016/0012-821X(81)90130-8  
 35. Masagutov R.Kh., Minkaev V.N., Ilemenova O.D. Kompleksnoe geologo-geokhimicheskoe izuchenie domanikovyykh otlozhenii Volgo-Ural'skoi neftegazonosnoi provintsii (na primere Bashkortostana) [Comprehensive geological and geochemical study of Domanik deposits of the Volga-Ural oil and gas province (on the example of Bashkortostan)]. *Geologiya i razrabotka mestorozhdenii s trudnoizvlekaemymi zapasami. Materialy XVII Nauchno-prakticheskoi konferentsii*, 2017, pp. 65-78.  
 36. Abdrakhmanov R.F., Puchkov V.N. Osobennosti gazogidro-geotermal'nykh iavlenii gory Iangantau i priliegaiushchikh territorii [Features of gas-hydro-geothermal phenomena of Yangantau Mountain and adjacent territories]. *Litosfera*, 2003, no. 4, pp. 65-77.  
 37. Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z. Litologicheskie, litokhimicheskie i geokhimicheskie indikatory paleoklimata (na primere rifeia Iuzhnogo Urala) [Lithological, lithochemical and geochemical indicators of paleoclimate (on the example of the Riphean of the Southern Urals)]. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2003, no. 5, pp. 502-525.  
 38. Armstrong A.K., Wrucke C.T. Depositional environment of the carbonate members of the Middle Proterozoic Mescal Limestone, Apache Group, central and southern Arizona. *New Mexico Geology*, 1990, vol. 12, no. 3, 65 p.  
 39. Bethke C.M., Lee Ming-Kuo, Park Jungho. Basin modeling with Basin2. Release 5.0.1. Hydrogeology Program. University of Illinois, 2007, 210 p.  
 40. Blount J.G. The geochemistry, petrogenesis, and geochronology of the Precambrian meta-igneous rocks of Sierra Del Cuervo and Cerro El Carrizalillo. Chihuahua, Mexico: Austin, University of Texas, 1993, 242 p.  
 41. Bruhn R.L., Picard M.D., Isby J.S. Tectonics and sedimentology of Uinta Arch, western Uinta Mountains, and Uinta Basin. *Paleotectonics and sedimentation in the Rocky Mountain Region*. Ed. J.A. Petersom. American Association of Petroleum Geologists Memoir 41, 1986, pp. 333-352. DOI: 10.1306/M41456C16  
 42. Callahan D.M. Paleotectonic reconstruction and provenance analysis of the synorogenic Precambrian Hazel Formation. Van Horn, Trans-Pecos Texas: Dallas, University of Texas, 1992, 104 p.  
 43. Collen J.D., Newman R.H. Porosity development in deep sandstones, Taranak Basin. *J. Southeast Asian. Reg. Sci.*, 1991, no. 5, pp. 449-452. DOI: 10.1016/0743-9547(91)90060-B  
 44. Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geol.*, 1993, vol. 104, iss. 1-4, pp. 1-37. DOI: 10.1016/0009-2541(93)90140-E  
 45. Frakes L.A. Climates throughout geological time. Amsrerdam: Elsevier, 310 p.  
 46. Garjzsi A.V., Von Bergen D. Stylolitic porosity in carbonates: a critical factor for deep hydrocarbon production. *Jow Pert. Yeol.*, 1987, vol. 10, no. 3, pp. 267–282. DOI: 10.1111/j.1747-5457.1987.tb00946.x  
 47. Huntoon P.W. Proterozoic structural geology of the grand canyon. *Grand canyon geology*. eds. S.S. Beus, M. Morals, 1990, pp. 261-309.  
 48. Taylor T.R. The influens of calcite dissolution on reservoir porosity in Miocene sandstones picaroon. *J. Sediment Pert*, 1990, vol. 60, no. 3, pp. 322-334. DOI: 10.1306/212F9192-2B24-11D7-8648000102C1865D  
 49. Vance R.K., Condie K.C. Geochemistry of footwall alteration associated with the early Proterozoic United Verde massive sulfide deposit, Arizona. *Economic Geology*, 1987, vol. 82, no. 3, pp. 571-586. DOI: 10.2113/gsecongeo.82.3.571

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.  
 Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.