

УДК 552.18

DOI 10.41748/0016-7894-2023-4-143-160

Условия формирования углеродных парагенезов в позднем докембрии

© 2023 г. | Д.Д. Кожанов¹, М.А. Большакова¹, Св.А. Сидоренко², Н.В. Пронина¹, К.А. Ситар¹, А.В. Мордасова¹, Я.А. Заглядин¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Москва, Россия; dmitriikozhanov@yandex.ru; m.bolshakova@oilmsu.ru; nvproncl@mail.ru; k.sitar@oilmsu.ru; a.mordasova@oilmsu.ru; mrkruken@mail.ru;

²ФГБУН Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия; sventlanasidorenko@yandex.ru

Поступила 20.06.2023 г.

Доработана 29.06.2023 г.

Принята к печати 03.07.2023 г.

Ключевые слова: докембрий; парагенезы; венд; органическое вещество; алмазы.

Аннотация: В данной статье показано, что во многих нефтегазоносных бассейнах мира области распространения осадочных толщ докембрия, обогащенных органическим веществом, совпадают с крупнейшими алмазоносными провинциями и рудными полями. Эти природные ассоциации — совокупность пород, обогащенных органическим веществом, самого органического вещества и его производных, алмазов, карбонатов и металлических руд названы углеродными парагенезами. Проблема выявления условий формирования подобных углеродных парагенезов в позднем докембрии представляется весьма актуальной. В статье дан анализ отложений кочешорской свиты верхнего венда (V₂к) Ефимовской площади как одного из потенциальных объектов для изучения углеродных парагенезов докембрия. В статье приведены фототаблицы по литологии и углепетрографии, графики по изотопному составу углерода и хромато-масс-спектрометрии битумоидов, экстрагированных из рассматриваемых отложений. По результатам рассмотрения собственных аналитических исследований и обзора многочисленных работ авторами статьи сделаны предположения о том, что процессы, послужившие формированию углеродных парагенезов, могут являться проявлением более глобального события в истории Земли, поспособствовавшего образованию крупных месторождений алмазов, руд и углеводородного сырья. Представленная схема такого процесса является одной из возможных непротиворечивых моделей, но требующей проведения дальнейших исследований.

Для цитирования: Кожанов Д.Д., Большакова М.А., Сидоренко Св.А., Пронина Н.В., Ситар К.А., Мордасова А.В., Заглядин Я.А. Условия формирования углеродных парагенезов в позднем докембрии // Геология нефти и газа. – 2023. – № 4. – С. 143–160. DOI: 10.41748/0016-7894-2023-4-143-160.

Финансирование: Работа выполнена по государственным заданиям МГУ по теме № АААА-А16-116033010113-2 и ИПНГ РАН по теме № 122022800264-9.

Settings for carbon parageneses formation in Late Precambrian

© 2023 | D.D. Kozhanov¹, M.A. Bol'shakova¹, Sv.A. Sidorenko², N.V. Pronina¹, K.A. Sitar¹, A.V. Mordasova¹, Ya.A. Zaglyadin¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; dmitriikozhanov@yandex.ru; m.bolshakova@oilmsu.ru; nvproncl@mail.ru; k.sitar@oilmsu.ru; a.mordasova@oilmsu.ru; mrkruken@mail.ru;

²Oil and Gas Research Institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; sventlanasidorenko@yandex.ru

Received 20.06.2023

Revised 29.06.2023

Accepted for publication 03.07.2023

Key words: Precambrian; parageneses; Vendian; organic matter; diamonds.

Abstract: In this work, the authors show that areas of occurrence of Precambrian sedimentary series rich in Organic Matter in many petroleum basins all over the world often coincide with the largest diamond-bearing provinces and ore fields. These natural associations are an aggregate composed of rocks rich in Organic Matter, Organic Matter itself, and its derivatives, diamonds, carbonates, and metal ores are called to be carbon parageneses. Therefore, the problem of identifying the conditions for the formation of these carbon parageneses in the Late Precambrian is highly relevant. The authors present the comprehensive analysis of the Upper Vendian Kocheshorsky Formation (V₂kc) in the Efimovsky site being one of the candidates for investigations of Precambrian carbon parageneses. There are lithology and coal petrography phototables, diagrams of carbon isotopic signature and chromatography-mass spectrometry of bitumoids extracted from the discussed deposits are shown in the paper. Based on the results of the authors' analytical studies and overview of numerous works, they made the following assumption: the processes that caused formation of carbon parageneses may be a manifestation of a more global event in the Earth's history, which contributed to formation of large diamond, ore and hydrocarbon accumulations. The presented scheme of formation of such a process is one of the possible consistent models that requires further investigations.

For citation: Kozhanov D.D., Bol'shakova M.A., Sidorenko Sv.A., Pronina N.V., Sitar K.A., Mordasova A.V., Zaglyadin Ya.A. Settings for carbon parageneses formation in Late Precambrian. *Geologiya nefi i gaza*. 2023;(4):143–160. DOI: 10.41748/0016-7894-2023-4-143-160. In Russ.

Funding: The work was carried out according to state assignments from Moscow State University on topic No. АААА-А16-116033010113-2 and from the Institute of Oil and Gas Engineering of the Russian Academy of Sciences on topic No. 122022800264-9.

Введение

Докембрийские толщи являются древнейшими из осадочных образований, а их изучение связано не только с поиском полезных ископаемых различного генезиса, но и с выявлением обстановок зарождения и формирования жизни на Земле. Интерес к проведению геолого-геохимических исследований и событийному анализу пород архея – протерозоя обусловлен, во-первых, длительностью накопления этих отложений (миллиарды лет), во-вторых, присутствием широкого спектра различных обстановок образования и преобразования этих удивительных толщ.

Породы позднего протерозоя (1,5–0,6 млрд лет) изучены довольно слабо, так как они по большей части залегают в основании осадочных бассейнов древнего заложения и расположены на значительных глубинах. Однако, как показывают отечественные и зарубежные публикации¹ [1, 2], осадочные и метаморфические образования докембрия несут информацию об эволюционных особенностях развития планеты Земля на раннем этапе ее формирования.

В данной статье авторы попытались осмыслить и описать одно из интереснейших геологических явлений позднего протерозоя – дегазацию мантии¹ и связанные с ней гидротермально-флюидно-эксплозивные процессы [3], следы которых наблюдаются практически на всех континентах земного шара. Эти процессы вероятно привели к формированию углеродсодержащих минералов, изменению ОВ и его производных, которое происходило в единых геодинамических обстановках (в данном случае – орогенеза и эпиплатформенного орогенеза).

Объектом исследования послужили алмазонасные и золотоносные углеродистые осадочные толщи докембрия и, в частности, кочешорские отложения верхнего венда Ефимовской площади Красновишерского Урала (рис. 1). Здесь находится два крупнейших месторождения алмазов [4, 5], а именно в северной половине средней части Урала (Ефимовское и Рассольнинское месторождения), где алмазы потенциально парагенетически связаны с высокоуглеродистыми формациями.

Цель статьи – рассмотреть случаи совместного нахождения месторождений алмазов, руд, твердых и жидких горючих полезных ископаемых в осадочных породах позднего протерозоя, а также предложить непротиворечивую модель их парагенетического образования.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ литологических и геохимических особенностей пород и ОВ кочешорских отложений Ефимовской площади;

- на различных примерах определить и описать части углеродных парагенезов;

- рассмотреть материалы по изучению флюидно-эксплозивных образований;

- описать возможную модель образования углеродных парагенезов;

- сделать заключение о процессах и этапах образования углеродистых парагенезов в позднем докембрии.

Краткая геологическая справка

В стратиграфическом отношении отложения кочешорской свиты (V_2k_c) приурочены к верхнему отделу вендской системы. В тектоническом плане объект относится к Полудово-Колчимскому надвигу Южного Притиманья (рис. 2).

Геологически территория начала свое формирование в зоне спрединга с образованием Полудовского рифта (RF_2-RF_3) – межконтинентального грабена на границе Волго-Уральского мегаблока. В рифее она представляла собой мелководно-морской бассейн (глубиной в среднем 20–50 м) с наличием относительно глубоководных условий (не более 200 м) накопления осадка в осевой части. Осадконакопление было в основном карбонатным, в исключительных случаях – терригенным, глинистым – снос осадочного материала происходил с Восточно-Европейской платформы [4, 5].

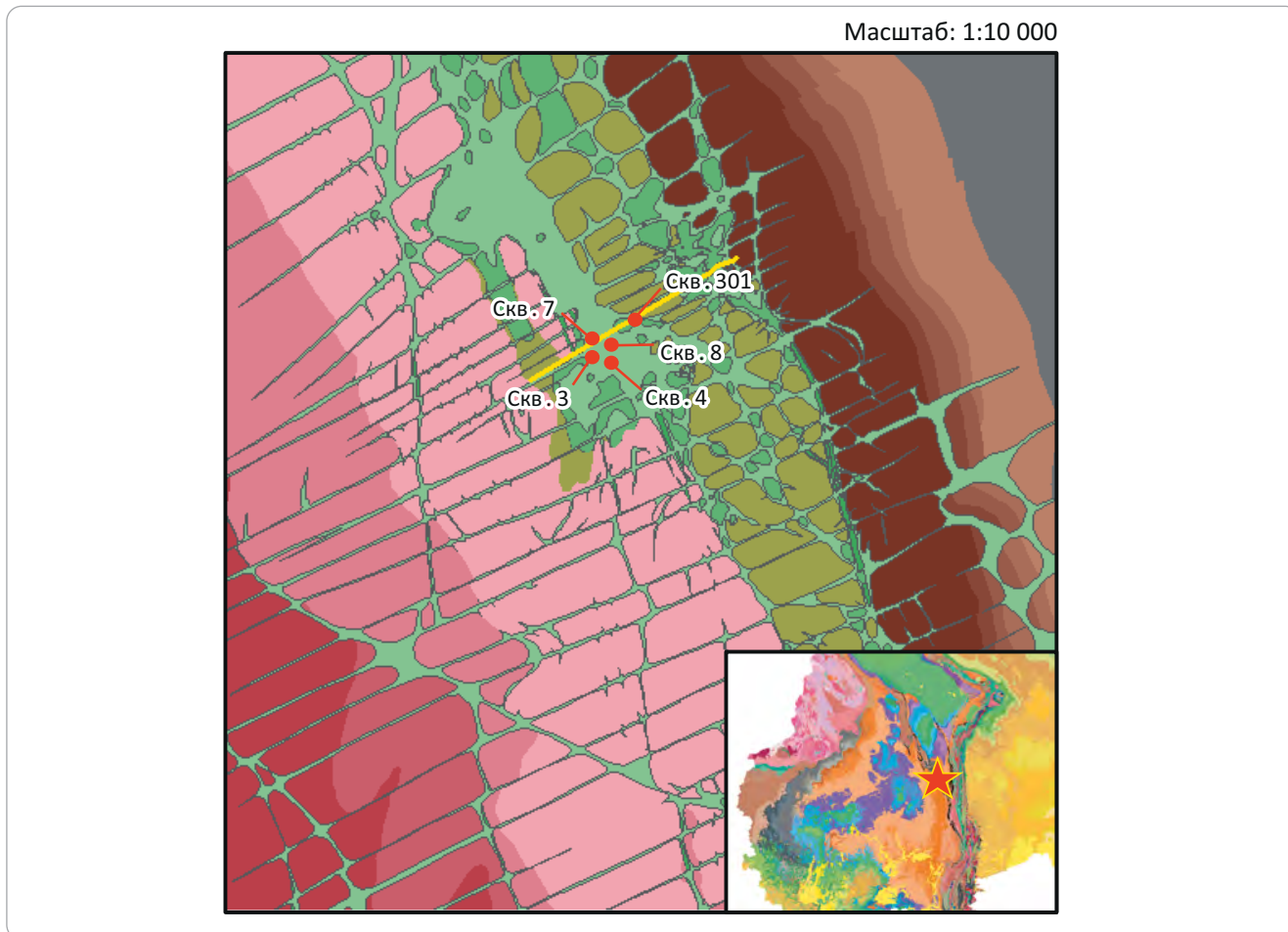
В раннем и позднем венде здесь развивается коллизионная обстановка с образованием Урало-Тиманского горно-складчатого сооружения и приуроченного к нему Предтиманского компенсированного краевого прогиба. Сами же кочешорские (V_2k_c) отложения представляли собой молассу, материалом для образования которой послужили продукты разрушения Тимана [4, 5, 8]. В тектоническом плане в конце протерозоя – начале палеозоя формируется Тиманская надвиговая зона сочленения Тимано-Печорской плиты и Восточно-Европейской платформы – закладываются листрические разломы, образуются складки. Эти процессы сопровождаются слабым региональным метаморфизмом (до MK_3).

Материалы и методика исследований

При написании статьи были обобщены и проанализированы опубликованные материалы по докембрийским осадочным бассейнам с выявленной алмазонасностью и рудоносностью, приуроченным к углеродистым отложениям докембрия. Также в исследовании использовались собственные данные о кочешорских отложениях Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна (НГБ), литологическом составе пород (описание более 300 м керна), полученные на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (в том числе: описание шлифов (11 образцов), аншлифов (8 образцов), пиролитические исследования (90 образцов), анализ изотопного состава углерода (4 образца) и хромато-масс-спектрометрия хлороформенных экстрактов (4 образца)).

¹Сидоренко Св.А. Органическое вещество и биолитогенные процессы в докембрии: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – М., 1987. – 356 с. + прил.

Рис. 1. Положение скважин на геологической карте Рассольнинско-Дресвянского участка [6]
Fig. 1. Wells location on geological map of Rassol'ninsky-Dresvyansky site [6]



Были использованы данные, полученные при анализе керна пород кочешорской свиты верхнего венда (V_2k) Ефимовской площади (см. рис. 1). Проведены холодная экстракция пород хлороформом и разделение битумоида на группы (насыщенные и ароматические УВ) [9]. В дальнейшем полученные экстракты исследовались на приборе Delta V Advantage, хромато-масс-спектрометрия проводилась на газовом хроматографе Agilent 6890B, оснащенном масс-спектрометром Agilent 5977A MSD.

Оптическое изучение ОБ пород проводилось в лаборатории угля кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых геологического факультета МГУ на установке QD1302 (Craic Technologies) согласно следующим ГОСТам:

– 9414.2-2011. Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Ч. 2: метод подготовки образцов. Соответствует международному стандарту ISO 7404-2;

– 9411.3-2011. Методы петрографического анализа углей. Ч. 3. Методы определения мацерального состава. Соответствует международному стандарту ISO 7404-3.

Для описания шлифов использовался микроскоп Leica Basic DM EP.

Результаты и их обсуждение

Под углеродными парагенезами в данной статье авторы понимают естественные ассоциации углеродсодержащих минералов, ОБ и его производных, образованных в единой геодинамической обстановке (в рассматриваемом случае — в обстановках орогенеза и эпиплатформенного орогенеза).

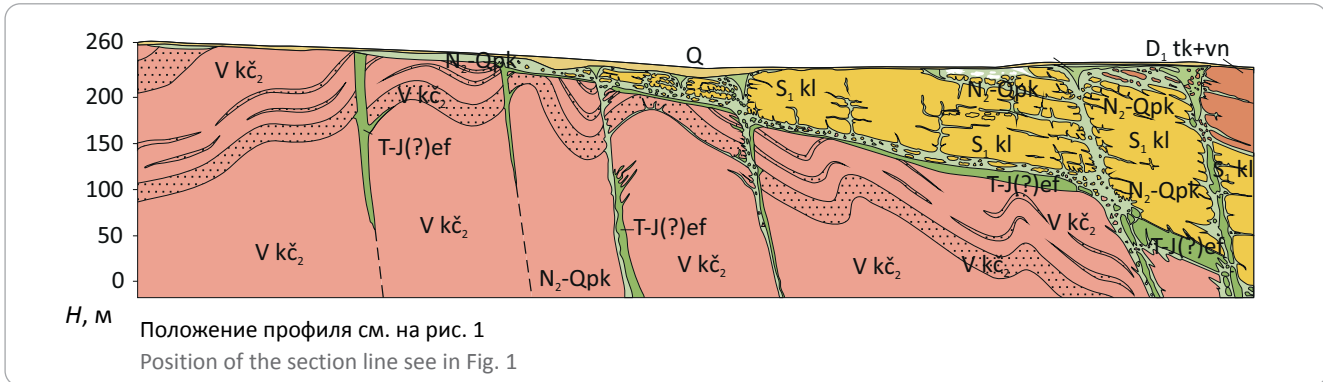
Далее отдельно рассмотрим элементы парагенезов. Сначала будет дана характеристика литологических типов пород изучаемых отложений (так как литология отражает условия формирования парагенеза), а затем рассмотрены его отдельные части по форме нахождения углерода — в составе органических (УВ, ОБ) или неорганических (алмазы, карбонаты, включения в рудных минералах) соединений. При этом характеристики ОБ будут рассмотрены на конкретном объекте — кочешорских отложениях Ефимовской площади Красновишерского района Урала, а рудные компоненты и алмазы описаны в целом по миру.

Литологическое описание кочешорских отложений Ефимовской площади

Кочешорские толщи представлены переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов. Черные углеродистые сланцы развиты локально



Рис. 2. Субширотный геологический разрез Красновишерской площади (по данным [7])
Fig. 2. Roughly EW trending geological section across Krasnovishersky site (according to [7])



(часто линзовидно), характеризуются пиритовой и биотит-мусковитовой минерализацией. Общая мощность кочешорских отложений достигает 630 м, возраст 569–590 млн лет [4, 5].

В породах широко встречаются трещины, заполненные кальцитом и кварцем разных стадий кристаллизации. Биотит нередко трансформирован, присутствуют структуры регенерации, хлоритизированные ассоциации обломков основных эффузивов. Породы были преобразованы под воздействием литостатического давления, фактора стресса и температуры, что выразилось в их общей хлоритизации и метаморфизме.

В фототаблице представлены описания шлифов наиболее типичных кочешорских песчаников, алевролитов и аргиллитов (рис. 3 А, В, С).

Углеродные парагенезы

Органическое вещество и УВ-соединения. Проведены исследования образцов для изучения остаточного ОВ, представленного в составе углеродистых прослоев (высокоуглеродистые отложения с графитизированным ОВ) кочешорской свиты верхнего венда.

Углететрографический анализ пород кочешорской свиты Ефимовской площади показал, что исследуемые образцы условно можно разделить на две группы. В первую группу (условно нефтематеринские толщи (НМТ)) вошли образцы 301.16 (скв. 301, 278,5 м), 301.24 (скв. 301, 283 м) и 8.12 (скв. 8, 75 м). Вторая группа представлена образцами 2.6 (скв. 2, 63 м) и 8.7 (скв. 8, 78 м) (см. рис. 1). Эта группа еще более условно может быть названа «коллектор».

Породы первой группы представляют собой аргиллиты с высоким содержанием ОВ и характеризуются следующими особенностями:

- ОВ присутствует в виде твердых битумов или остаточного ОВ и вторичных битумных пленок;
- степень преобразованности может быть оценена лишь по косвенным качественным показателям, и она относительно высокая (начальные подстадии апокатагенеза).

Мацеральный состав изучаемых отложений представлен в виде «твердых битумов» или оста-

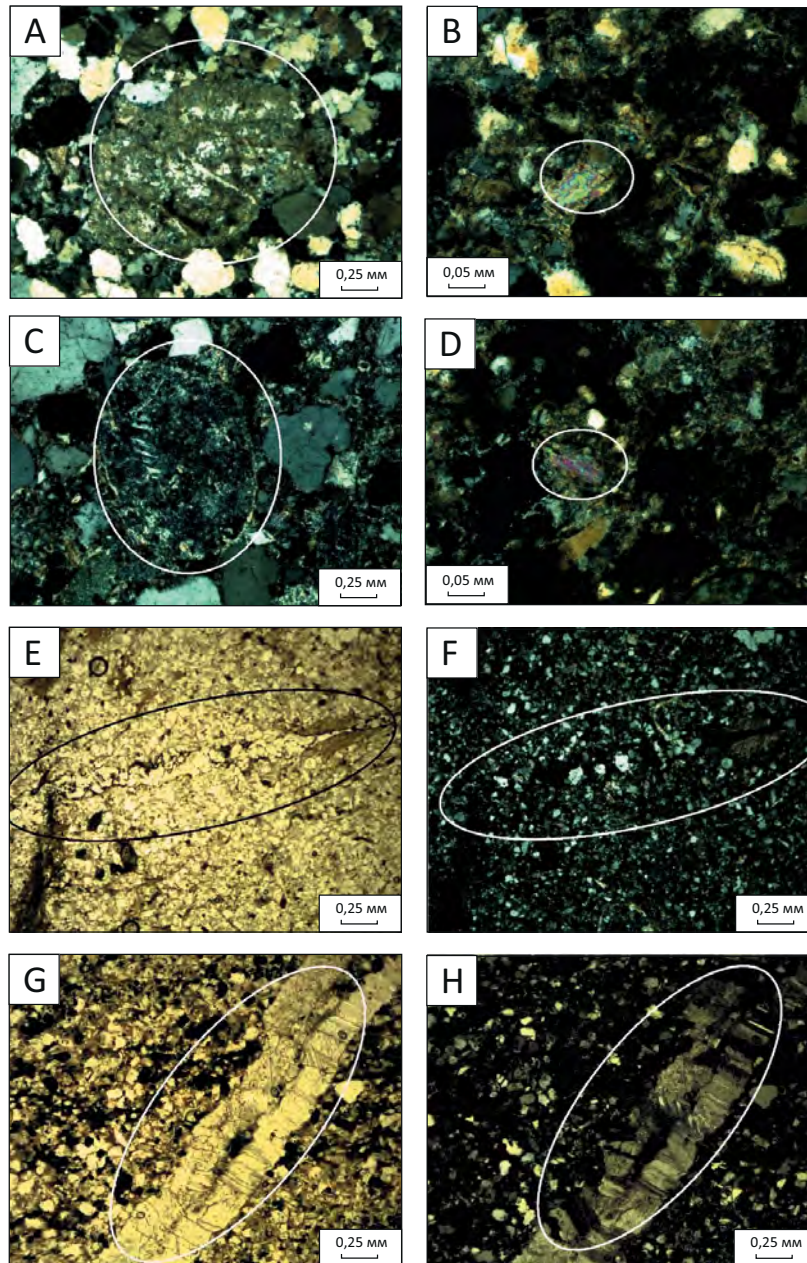
точного ОВ — твердых обуглероженных остатков ОВ после полной генерации ими жидких и газообразных продуктов. Эти образования встречаются в породе в виде мельчайших включений, располагающихся между минеральными зернами и слоями. Их оптические свойства из-за крайне малых размеров невозможно точно охарактеризовать и тем более измерить. Только в тех случаях, когда размер включения относительно большой, можно заметить, что в исследованных образцах они слабо анизотропны, что свидетельствует о наличии локальных участков, испытывавших значительные динамические напряжения.

В двух образцах (301.16 и 301.24) наблюдались участки включений твердых битумов, по морфологии зоны скопления напоминающие исходный битуминит, который полностью потерял целостность и четкие контуры (рис. 4). Размеры таких скоплений достигают 0,02 × 0,8 мм, они замещаются глобулами пирита, плотно покрывающими участки породы (см. рис. 4). Битумные пленки в прямом смысле являются пленками-оболочками, которые равномерно покрывают минеральный матрикс породы и придают ей коричневый цвет в отраженном свете. Это всегда подвижные (жидкие) новообразованные продукты, сопровождающие трансформацию ОВ. Их присутствие в породе свидетельствует о проходящем или уже прошедшем процессе нефтеобразования.

Два образца (см. рис. 4), условно отнесенные к коллекторам, представлены мелко-среднезернистыми песчаниками и алевролитами, содержат меньше ОВ, минеральный и гранулометрический состав их отличается от описанных выше образцов. Образец 2.6 представляет плохо сортированную породу с цементом, который был существенно изменен. В породе много мелких рудных и других минералов, придающих ей разные цвета. Органического вещества мало, оно встречается в виде битумных пленок (темно-коричневые изометричные пятна в общей матрице породы), возможно аллохтонных. Образец 8.7 представлен довольно однообразным сильно уплотненным песчаником (мало пор) с прослоями аргиллитов, содержащих ОВ. Толщина таких прослоев — до 0,02 мм.

Рис. 3. Фототаблица с основными литологическими разновидностями пород кочешорской свиты Ефимовской площади, выявленными по результатам описания шлифов

Fig. 3. Phototable containing main lithological varieties of Kocheshorsky rocks identified as a result of thin section descriptions, the Efimovsky site

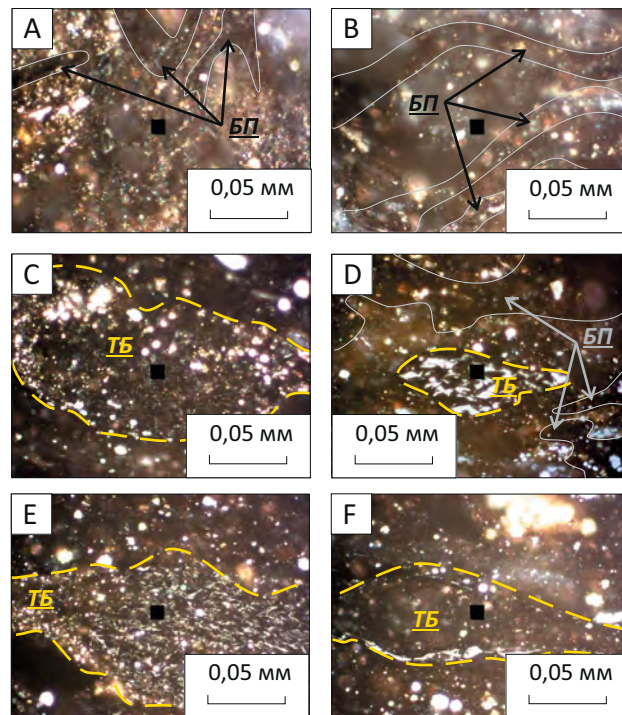


A — пелитизация калиевого полевого шпата; образец 8.10 (песчаник, 78–82 м, скв. 8, Красновишерская площадь), николи x; B — кальцитизация калиевого полевого шпата; образец 2.3 (алеврит, аргиллит, 76–77 м, скв. 2, Красновишерская площадь), николи x; C — пелитизация калиевого полевого шпата; образец 8.11 (аргиллитовый песчаник, 82–86 м, скв. 8, Красновишерская площадь), николи x; D — кальцитизация калиевого полевого шпата; образец 2.3 (алевритовый аргиллит, 76–77 м, скв. 2, Красновишерская площадь), николи x; E — трещины, выполненные кварцем; образец 2.3 (алевритовый аргиллит, 76–77 м, скв. 2, Красновишерская площадь), николи II; F — трещины, выполненные кварцем; образец 2.3 (алевритовый аргиллит, 76–77 м, скв. 2, Красновишерская площадь), николи II; G — трещины, выполненные кальцитом; образец 4.2 (алевритовый аргиллит, 76–77 м, скв. 4, Красновишерская площадь), николи II; H — трещины, выполненные кальцитом; образец 4.2 (алевритовый аргиллит, 76–77 м, скв. 4, Красновишерская площадь), николи x

A — pelitization of potassium feldspar; sample 8.10 (sandstone, 78–82 m, 8 Well, Krasnovishersky site), \times nicols; B — calcitization of potassium feldspar; sample 2.3 (silt, claystone, 76–77 m, 2 Well, \times nicols); C — pelitization of potassium feldspar; sample 8.11 (argillaceous sandstone, 82–86 m, 8 Well, Krasnovishersky site), \times nicols; D — calcitization of potassium feldspar; sample 2.3 (silty claystone, 76–77 m, 2 Well, Krasnovishersky site), \times nicols; E — quartz-filled cracks; sample 2.3 (silty claystone, 76–77 m, 2 Well, Krasnovishersky site), II nicols; F — quartz-filled cracks; sample 2.3 (silty claystone, 76–77 m, 2 Well, Krasnovishersky site), II nicols; G — calcite-filled cracks; sample 4.2 (silty claystone, 76–77 m, 4 Well, Krasnovishersky site), II nicols; H — calcite-filled cracks; sample 4.2 (silty claystone, 76–77 m, 4 Well, Krasnovishersky site), \times nicols



Рис. 4. Фототаблица образцов коллекции аншлифов кочешорской свиты верхнего венда, выделенных в группы
Fig. 4. Phototable containing grouped samples from the polished section collection, the Upper Vendian Kocheshorsky Fm



А, В — коллектор, С–F — нефтегазоматеринская толща (в проходящем свете при 50-кратном увеличении).

ТБ — твердые битумы, БП — битумные пленки

A, B — reservoir, C–F — source rock (in transmitted light, 50-fold increase).

TB — solid bitumen, BP — bitumen films

Поскольку измерить показатель отражения по какому-либо мацералу не представлялось возможным, авторы статьи предполагают, что уровень катагенеза исследованных пород довольно высок и находится на стадии апокатагенеза. Вывод основывается на анизотропии твердых включений ОБ, названных «твердыми битумами», и отсутствии люминесцентного свечения битумных пленок. Для рассеянного ОБ такое состояние характерно после прохождения главной фазы нефтеобразования и позднее.

Схожие выводы были получены и при пиролитическом анализе образцов методом Rock-Eval. Было показано, что изучаемые породы характеризуются значительными содержаниями $S_{орг}$ — до 3,95 % (в среднем 0,43 %), высокой зрелостью ОБ (T_{max} до 600 °C), крайне низкими показателями S_1 (до 0,03 мг УВ/г породы) и S_2 (до 0,13 мг УВ/г породы).

При этом водородный индекс также крайне низкий (до 50 мг УВ/г ТОС), это может свидетельствовать о том, что изучаемое ОБ инертно и находится на завершающих стадиях преобразования.

Учитывая тот факт, что максимальная концентрация пиролизуемого углерода (PC) равна 0,02 %, определение исходного типа ОБ (III–IV) по пиролизу представляется сомнительным (особенно в связи с тем, что в составе микрофоссилий этих отложений

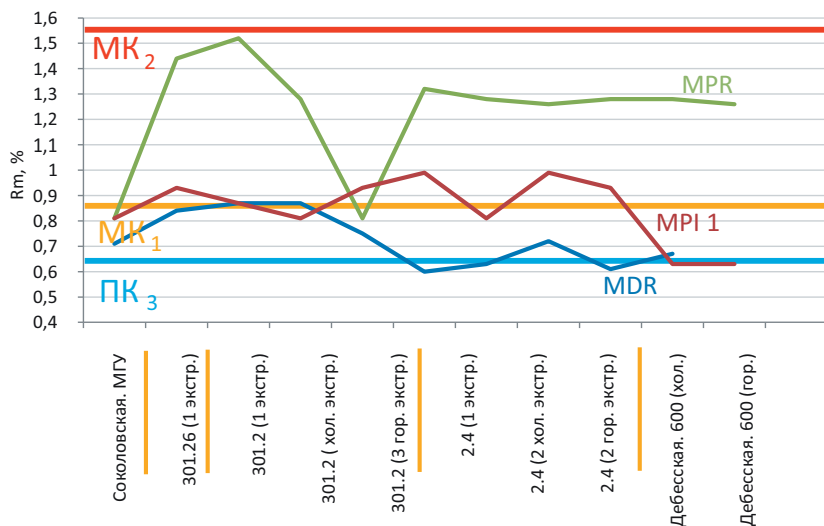
были идентифицированы синезеленые водоросли, а также зоопланктон [10]: *Protosphaeridium densum* Tim., *Trachysphaeridium partialum* (Schep.), *Bavlinella faveoleta* Tim., *Leiomargineta simplex* Naum.). По всей видимости, исследуемые образцы являются ярким примером отложений, описанных МакКирди [11], в которых весь органический углерод в процессе термической деструкции был графитизирован или, по крайней мере, метаморфизован.

Совершенно удивительным при этом кажется то, что, несмотря на явную преобразованность и отсутствие пика S_1 , при экстракции образцов 301.2 (1), 301.26 (2), 2.4 (3) авторы статьи получили жидкие битумоиды (коэффициент битуминозности β — до 2 %). Исследования полученных экстрактов позволяют сделать предположения относительно генезиса растворимой части ОБ кочешорских отложений, а также уровня их термической зрелости (преобразованности нефтематеринских толщ).

Заметим, что анализ катагенетической преобразованности ОБ и УВ-пород кочешорской свиты Ефимовской площади дает весьма противоречивые результаты. Так, петрографическое изучение аншлифов определяет уровень катагенеза исследованных пород как довольно высокий (стадия начального апокатагенеза), за счет чего твердые включения ОБ становятся анизотропными, нелюминесцирующими. Схожие данные дают и показатели T_{max} (хотя

Рис. 5. Стадии катагенетической преобразованности нефтематеринской породы, рассчитанные по формулам: $MPR = [2-MP]/[1-MP]$; $MPI\ 1 = 1.5 \cdot ([2-MP] + [3-MP])/([P] + [1-MP] + [9-MP])$; $MDR = [4-MDBT]/[1-MDBT]$ (по Matthias Radke [13])

Fig. 5. Stages of source rock catagenetic transformation; the following expressions were used in calculations: $MPR = [2-MP]/[1-MP]$; $MPI\ 1 = 1.5 \cdot ([2-MP] + [3-MP])/([P] + [1-MP] + [9-MP])$; $MDR = [4-MDBT]/[1-MDBT]$ (according to Matthias Radke [13])



Показатель Rm (mean vitrinite reflectance) рассчитывался по графикам (Matthias Radke, 1988). Градации катагенеза определены по данным В.Т. Фролова [14]

Rm index (mean vitrinite reflectance) was calculated using diagrams (Matthias Radke, 1988). Catagenesis gradations were determined according to V.T. Frolova [14]

в этом случае к оценке зрелости стоит относиться с осторожностью, в связи с невысокими пиками S_2 . При этом молекулярный состав битумоидов свидетельствует о преобразованности ОВ до градаций MK_1 – MK_2 , т. е. о его значительно меньшей зрелости (рис. 5). Для наглядности на этом рисунке также приведены данные по протерозойским нефтям западных районов Волго-Уральского НГБ (Соколовское месторождение – V_2kr , Дебесское месторождение – V_2kr), благодаря чему видно, что экстракты отложений кочешорской свиты Ефимовской площади преобразованы значительно сильнее.

Указанная особенность может быть результатом воздействия на нефтепроизводящую (нефтепроизводившую(?)) породу высокого горного (тектонического) давления. При этом сам процесс можно описать следующим образом: погружение породы – генерация жидких УВ (быстрая за счет особенностей типа докембрийского ОВ – относительно краткосрочная генерация) – региональный метаморфизм (в условиях высокого горного (тектонического) давления) – разделение ОВ на две фазы: жидкую и твердую. После этого твердое (остаточное) ОВ метаморфизуется в составе минеральной матрицы, а жидкая часть ОВ за счет меньшей сжимаемости (а) мигрирует, (б) метаморфизуется до керита [12]. Вероятно, процесс происходит при высоком горном давлении (с существенным вкладом тектонической составляющей), которому принадлежит основная роль, и относительно слабом влиянии температурного фактора.

Анализируемые битумоиды схожи между собой по характеру изотопно-фракционных кривых и могут рассматриваться как типичные для преобразованного сапропелевого докембрийского ОВ ($\delta^{13}C$ варьирует от $-29,3$ до $-30,38$ ‰) (рис. 6).

По результатам биомаркерного анализа насыщенной и ароматической фракций экстрактов изучаемых отложений, исходное ОВ определяется как морское, накопленное в относительно мелководных условиях в зонах карбонатно-глинистой седиментации (по соотношению диа- к регулярным стеранам ($dia29(S + R)/bb29(S + R)$), которое изменяется в пределах 1–2,5).

Формирование ОВ происходило за счет органических остатков бактериальных сообществ. Это подтверждается проведенным ранее [1] анализом распределения *n*-алканов, а также высокими значениями отношения показателей $t28 + t29/Ts$ (> 1) и низкими $t19/t23$ (значительно меньше 1). При этом ОВ всех образцов характеризуется как зрелое/относительно зрелое (301.2 после экстракции; 2.4 после экстракции) и относительно зрелое (301.2, 301.26).

Интересно, что при анализе отношения стеранов $C_{27} : C_{28} : C_{29}$ исследуемые образцы обладают признаками гумусового ОВ, так как в их составе нередко преобладают стераны C_{29} , при этом условия седиментации определяются как преимущественно лагунные, нередко континентальные (рис. 7). Однако данную особенность можно также расценивать как специфическую для отложений, накопленных в докембрийское время [1].

Таким образом, учитывая обстановку формирования кочешорских отложений [4, 5], авторы статьи предполагают, что ОВ изучаемых углеродистых толщ является преимущественно сингенетичным вмещающим породам, исходный тип ОВ – сапро-



Рис. 6. Изотопно-фракционные кривые экстрактов пород кочешорской свиты (V_2 кс) Ефимовской площади
Fig. 6. Isotopic-fraction curves of rock extracts, Kocheshorsky Fm (V_2 кx), Efimovsky site

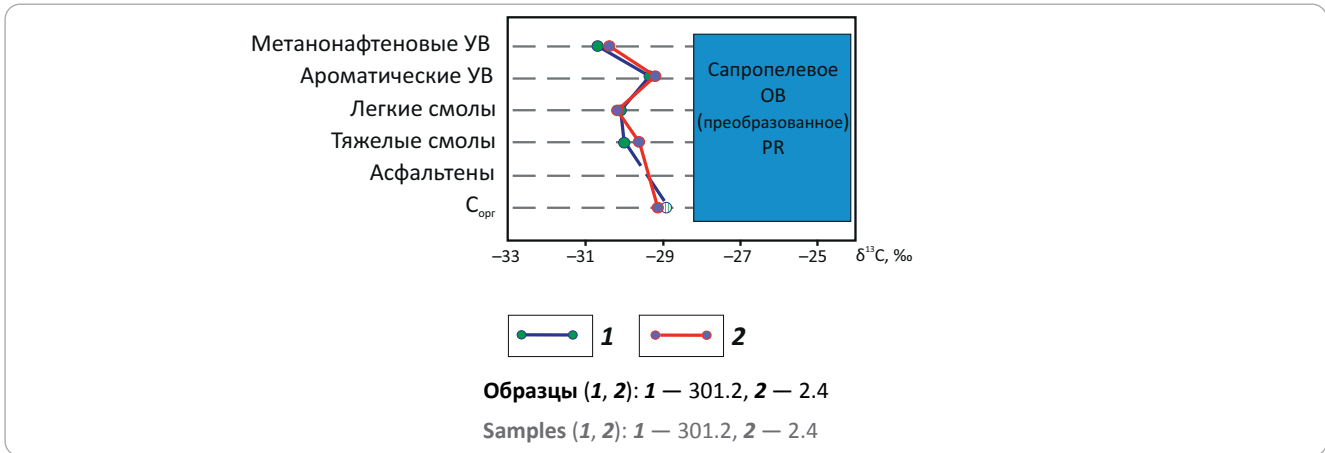
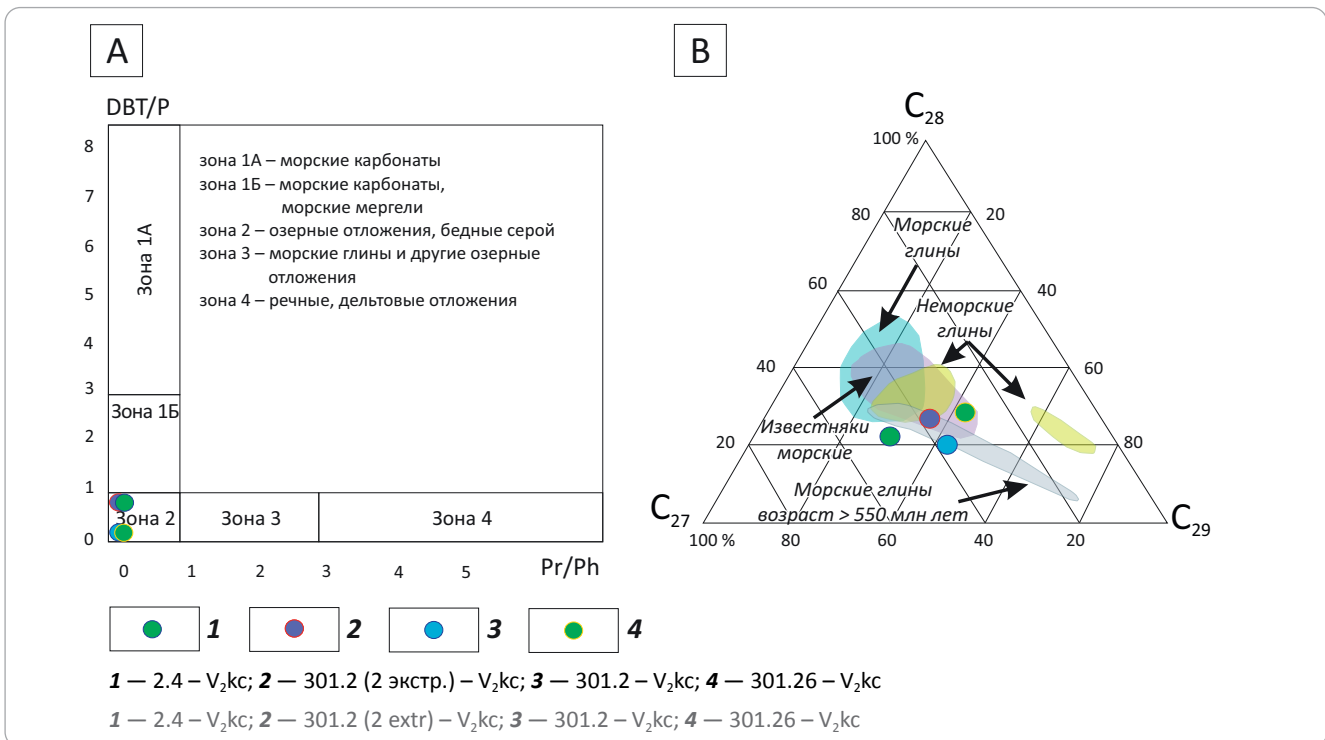


Рис. 7. Диаграмма отношения дибензотиофенов к фенантрену (DBT/P) к Pr/Ph (A), тригонометрия распределения стерановых УВ (C_{27} , C_{28} , C_{29}) исследованных экстрактов (B)
Fig. 7. Diagram of dibenzothiophene to phenanthrene ratio (DBT/P) to Pr/Ph (A), triangular diagram of HC steranes (C_{27} , C_{28} , C_{29}) distribution in the examined extracts (B)



пелевый. При этом, если рассматривать отложения кочешорской свиты в качестве исходно нефтематеринских, реализовавших свой нефтегенерационный потенциал, стоит заметить, что изначально они обладали всеми необходимыми параметрами для генерации УВ: исходное TOC_0 (максимальное) и HI_0 (максимальный) при пересчете (по С.Г. Неручеву [15]) на катагенетически непреобразованное состояние могли составлять 12 % и 600 мг УВ/г TOC соответственно.

Говоря об углеродных парагенезах, изучаемых на примере кочешорских отложений верхнего венда Ефимовской площади, необходимо рассмотреть

основные генетические особенности карбонатных образований (прожилков, гнезд и т. д.) и алмазов, идентифицированных в этих и подобных им толщах.

Карбонатные и карбонатитовые образования. Следует сказать, что публикации о свойствах, генезисе и изотопном составе углерода и кислорода карбонатных образований кочешорской свиты на данный момент немногочисленны. Наиболее полной в этом отношении является монография И.И. Чайковского [16], в которой приведены результаты анализа изотопного состава С и О, кимберлитовых карбонатитов и связанных с ними карбонатных ликвационных выделений.

Так, в работе этого автора описаны случаи обнаружения нетипичного относительно легкого изотопного состава углерода и тяжелого кислорода в алмазонасных кимберлитовых карбонатах (например, трубка Удачная) и докембрийских осадочно-метаморфизованных комплексах Восточной Сибири. Было отмечено, что указанные особенности преимущественно характерны для центральных областей кратона, что И.И. Чайковский связывает со значительной мощностью осадочного чехла, а следовательно, с благоприятными условиями для изотопного обмена углерода кимберлитового расплава и углерода вмещающих пород.

Дополняя предположения автора о том, что «...увеличение содержания ^{12}C и ^{18}O в алмазонасных породах связывалось с привнесом углекислоты, образованной в результате окисления ОВ», следует также отметить тот факт, что в интракратонных областях изучаемых объектов начиная с позднего протерозоя имело место широкое развитие осадочных бассейнов рифтового типа. Следовательно, в наиболее погруженных частях, при наличии в разрезе вмещающих отложений НМТ, могли возникать условия для изотопного обмена между органическим/карбонатным углеродом, углеродом кимберлитового расплава и его ликвационных выделений.

На примере объектов Южного Притиманья И.И. Чайковским было установлено, что «...гнезда карбонатов, локализованные в экзоконтактах тел пирокластитов, наследуют соотношения, характерные для вмещающих доломитов и известняков», а также то, что «...новообразованные карбонаты в уральских пирокластитах имеют значительно более «легкий» изотопный состав».

При этом процессы кристаллизации карбонатов, по всей видимости, происходили при температурах от 53 до 92 °С (при $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 0 \text{ ‰}$), о чем свидетельствует изотопный состав кислорода кальцитовых прожилок из кочешорских отложений Ефимовской площади. Важно отметить, что в указанных породах развиты две системы залеченных трещин: первичная — кварцевая и наложенная — кальцитовая, в связи с чем температура первичной кристаллизации могла быть значительно выше.

Рудные образования, связанные с углеродными парагенезами. Ранее установлено, что во флюидогенных брекчиях встречается несколько основных ассоциаций химических элементов [3, 6], формирующих ареалы аномальных концентраций: Fe-Au-Cu-U (месторождение Олимпик-Дам, Австралия) и Mo-Cu-порфиновые (месторождение Коксай, Казахстан), а также зоны с оловянным (месторождение Хинганское, Дальний Восток) и золотым (месторождение Дельмачикское, Восточное Забайкалье) оруденением. Интересно, что практически все они образуют устойчивые парагенезы с ОВ, представленным углеродистыми образованиями [6].

По результатам спектрального анализа углеродистых пород кочешорской свиты Ефимовского участка [10] элементы, входящие в состав этих

отложений, не всегда ограничиваются группами, которые были описаны выше, здесь фиксируются высокие концентрации Mn, Ge, Zn, Pb, Ag, Sb, Bi, Sr, W, Ga, Yb, Ce, что может свидетельствовать о многофазности и полигенности их накопления.

Углеродистые образования, подобные кочешорским с концентрациями микроэлементов выше кларковых, были также выявлены в отложениях рифей-вендского осадочного комплекса и приуроченных к ним вулканогенно-метаморфогенных образований Башкирского мегантиклинория (Белорусский метаморфический комплекс, Ларинский гранитно-гнейсовый купол, Амурское месторождение, Улуелгинско-Кудашмановская зона).

Многочисленными исследованиями [17–20] было установлено, что формирование рудоносности, а нередко, и золотоносности (выявленной на объектах Башкирского мегантиклинория) происходило в условиях флюидной гидротермальной проработки первично-высокоуглеродистых толщ, что также приводило к метаморфизму ОВ вмещающих отложений. Сами породы представляют собой единую терригенно-углеродистую формацию и представлены высокоуглеродистыми черными сланцами, прорванными кварцевыми прожилками, находящимися в ассоциации с пиритом и тонкими слюдястыми частицами.

Органическое вещество золоторудных объектов Башкирского мегантиклинория представлено тонкорассеянными формами, пронизывающими всю массу породы и концентрирующимися в виде пятен, линз, полосчатых, шнурообразных и комковатых выделений. В геохимическом плане изучаемая толща обогащена органическим углеродом ($\text{C}_{\text{орг}}$ до 2,5 %), который наиболее часто входит в состав графита и керита, т. е. ОВ различной степени метаморфизма — от 300 до 500 °С. Характер флюидно-газовых включений, представленных CH_4 , в кварцевых жилах — восстановительный. В изотопном отношении УВ указанных образований тяжелые, обогащенные $\delta^{13}\text{C}$.

В связи с этим, при изучении докембрийских золотоносных комплексов Башкирии, рядом ученых [17–20] постулируется осадочно-гидротермально-метаморфогенная модель формирования месторождений золота, суть которой состоит в следующем:

- на первом этапе происходит осадконакопление с хемогенной сорбцией золота углеродисто-глинистыми отложениями (ранний рифей);
- на второй стадии отмечается метаморфизм пород при погружении, активизация элизионных поровых растворов и перераспределение их в вышележащие отложения (средний и поздний рифей);
- далее в процессе динамометаморфизма, вызванного тектоническими движениями и формированием складчатости, перераспределяется минеральное вещество (поздний венд – ранний палеозой);

– завершающей стадией является оформление золото-кварцевых залежей в условиях контактового и зонального метаморфизма при формировании магматических куполов и гранитных массивов (завершающая стадия — поздний венд – ранний палеозой).

Некоторые из положений, высказанные на основе изучения объектов Башкирского мегантиклинория, могут быть дополнены исходя из анализа геологического строения и истории формирования месторождения Витватерсранд (ЮАР), где почти 40 % обнаруженного золота также связано с углеродистыми прослоями, расположенными в толще архейских осадочных пород. Заметим, что данное месторождение было выбрано неслучайно, так как его образование также связано с совокупностью осадочных и гидротермально-метаморфогенных процессов [21].

Согласно данным, приведенным в статье [21], указанное месторождение сформировано в результате наложения гидротермально-метаморфических процессов на толщу осадочных пород, накопленных в пределах палеорусл. Предполагается, что первичное ОВ было накоплено в мелководно-морских условиях, затем преобразовано под воздействием водных потоков и метаморфизовано до графита. Последующий метаморфизм и наложенные гидротермальные процессы привели к преобразованию толщи и формированию ее золотоносности.

Интересно заметить, что в рудах Витватерсранда, помимо углерода, представленного графитом, присутствуют также нефтяные и битуминозные включения, которых в породе обычно значительно больше, чем собственно керогена (что исключает возможность захвата УВ *in situ* из нелигифицированного осадка данные изотопного анализа также подтверждают миграционную природу этих УВ). Авторы [22] связывают это явление с воздействием на отложения пульсационного гидротермального потока, что позволяет задуматься о возможности совместной миграции нефти, газа и гидротермального флюида. Единовременно и взаимосвязано происходило и выпадение из раствора твердых углеродистых частиц, на что указывают образованные под воздействием этого процесса минеральные агрегаты, в которых нитевидное золото заключено между столбчатыми зернами графита.

Исходя из этого, можно предположить, что образование золотоносности (а в целом и металлоносности) докембрийских углеродистых осадочных толщ не всегда происходило в процессе осадконакопления. На взгляд авторов статьи, необходимо изучить особенности формирования подобных месторождений (докембрийских алмазоносных и металлоносных углеродистых комплексов) на предмет синхронности миграции и аккумуляции продуктов гидротермально-углеводородных растворов для установления их (продуктов) парагенетической связи.

В этой связи следует также обратить внимание на то, что ранее [23] на одном из объектов Урала была показана принципиальная возможность существования обратной реакции с выпадением из жидких алифатических УВ в виде твердой фазы (самородного углерода-графита), протекающей исключительно в восстановительной среде с единовременным образованием жидких и газообразных УВ и металлоорганических комплексов. Возможность проявления такого процесса при формировании Улуелгинско-Кудашмановской зоны показана в публикации [24].

Судя по составу выявленных в пределах изучаемого объекта (Улуелгинско-Кудашмановская зона) газов (CH_4 , CO_2), окислительно-восстановительная обстановка инъекционных вод не всегда была однообразна. По всей видимости, при прохождении флюида через карбонатные породы могли возникнуть обстановки, близкие к окислительным, при которых мигрирующая смесь обогащалась свободным CO_2 . И напротив, в то время, когда движение гидротермального флюида и УВ шло совместно, обстановки были близкими к восстановительным. При этом, на взгляд авторов статьи, разница химического режима инъецирующих вод могла отразиться на будущей «специализации» вмещающей толщи: рудоносной (восстановительная) или алмазоносной (окислительная).

Вывод о генетическом родстве графита и УВ Улуелгинско-Кудашмановской зоны сделан априори, на основе предположения об образовании CH_4 прямым синтезом (что было экспериментально подтверждено для метана) [24].

Алмазы. В качестве одного из возможных процессов образования алмазов в толще осадочного чехла можно рассматривать флюидно-эксплозивный процесс, который имеет место при миграции гидротермального флюида в условиях повышенных температур и давлений.

Процессы образования алмазов, их химизм и геологические особенности детально изучены в работах И.И. Чайковского [16], О.В. Коротченковой [25], Л.Н. Шарпенко [3], Л.И. Лукьяновой [7] и др.

Считается, что образование алмазов происходило в нестабильных термодинамических условиях с чередованием этапов их «обрастания» и растворения. В результате чего алмазы морфологически своеобразны — они становятся кривогранными (практически округлыми) [8, 16]. Алмазы формировались при избыточных (декомпрессионных) давлениях в условиях резкой дегазации гидротермального флюида, а также за счет дополнительного давления, обусловленного привнесом H_2O и CO_2 из вмещающих пород и грунтовых вод (в связи с чем, в отличие от рудных образований, обстановка среды являлась скорее окислительной). Эти процессы обычно импульсные и связаны с периодами раскрытия и закрытия проводящих разломов. В целом, как было замечено И.И. Чайковским (2001), этот

процесс напоминает образование импактных алмазов.

Одним из важнейших показателей определения генезиса углерода минералов является анализ его изотопного состава. Так, для алмазов мантийного происхождения показатель $\delta^{13}\text{C}$ варьирует от -2 до -10 ‰ (Чайковский И.И., 2001). Однако показано (рис. 8), что в ряде объектов (Карбонадо (Бразилия); трубки Мир и Удачная (Якутия); Архангельское месторождение (Архангельская область); Уральская алмазоносная провинция (Пермский край, Коми)) были обнаружены алмазы, а также аметисты, гранаты (с УВ-включениями), изотопный состав углерода которых значительно легче ($\delta^{13}\text{C}$ до -26 ‰). Такой легкий изотопный состав углерода противоречит выводам, полученными ранее [16, 26, 27] об исключительно мантийном источнике углерода как самих алмазов, так и вмещающих их отложений.

В этой связи кажутся интересными выводы, полученные в работе [28]. В них отмечено наличие значительного количества легкого (осадочного) углерода ($\delta^{13}\text{C}$ до -28 ‰) в алмазах сверхглубинного континентального происхождения. Нахождение в мантии органического углерода эти авторы связывают с его поступлением из зон субдукции.

Примечательно, что данная генетическая группа характерна именно для древних континентов (кратонов), так как их литосфера, как правило, более мощная (до 300 км), способная существовать достаточно длительное время.

В связи с этим трудно не согласиться с авторами работы [28] в том, что данная особенность может свидетельствовать о частично органическом источнике углерода этих алмазов, однако наличие в кристаллах жидких и газообразных УВ-включений не позволяет сделать вывод об их исключительно глубинном происхождении. По всей видимости, захват этих компонентов происходил уже в верхних частях литосферы, где и осуществлялся дальнейший изотопный обмен. Указанные находки могут напрямую свидетельствовать о наличии парагенезов, связанных с углеродом осадочного происхождения.

Еще в 1966 г. А.П. Виноградовым была выдвинута гипотеза об ином (отличном от кимберлитов) источнике углерода, названном «карбонадо», за счет которого указанные минеральные агрегаты и отдельные кристаллы могут приобретать различные специфические особенности [29].

Одной из ключевых особенностей является то, что алмазы карбонадо, из-за наличия графитовых «рубашек», являются темноокрашенными. Согласно экспериментам, проведенным В.М. Сониным с соавторами, графитизация алмаза происходит в окислительных обстановках при участии в процессе H_2O , CO_2 и O_2 за счет его первоочередного стравливания и последующего окисления с образованием на поверхности кристалла аморфного углерода, который также выпадает в матрицу вмещающей породы [30].

Также обращает на себя внимание тот факт, что все представленные в данной работе алмазные объекты приурочены к крупным зонам нефтенакпления в протерозойских комплексах земного шара. При этом их алмазоносность так или иначе связана с углеродистыми (графитовыми) сланцами рифея – венда, что, по-видимому, может указывать на происходившее в это время глобальное событие, связанное с образованием углеродных парагенезов.

Таким образом, появляется ряд проблемных вопросов.

1. Какие процессы обусловили возникновение углеродных парагенезов?
2. С чем связано наличие изотопно легкого углерода в карбонатных образованиях, алмазах и графите вмещающих их пород?
3. Почему представленные процессы геохронологически приурочены к PR_2 ?
4. Как эти события могли отразиться на развитии Земли и эволюции ее органического мира?

Для того чтобы частично ответить на них, авторы статьи попытались описать непротиворечивую, на их взгляд, модель, отражающую основные парагенетические, а также геолого-геохимические и эволюционные особенности изучаемых объектов.

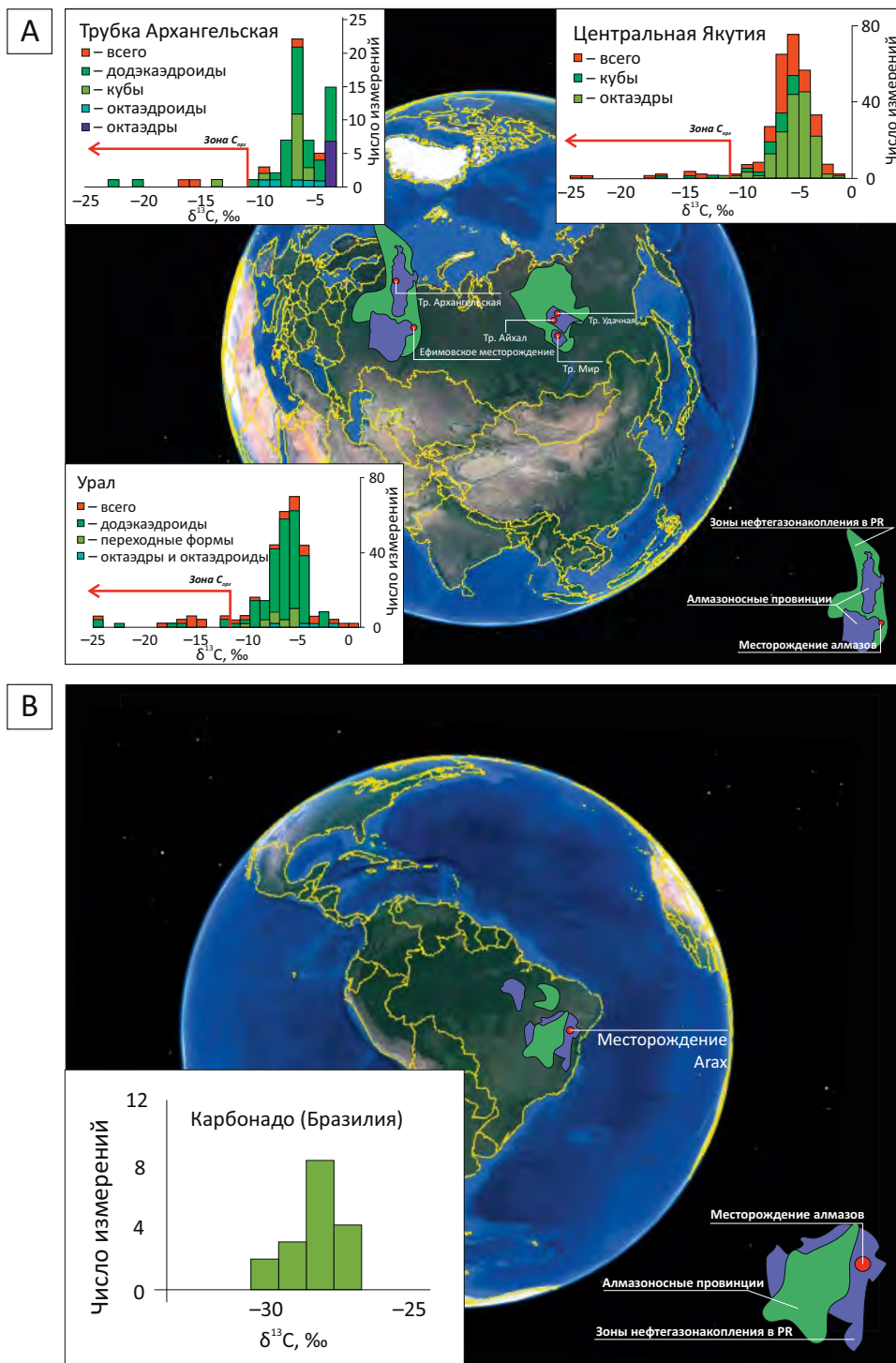
Проблема формирования углеродных парагенезов позднего докембрия

В данной статье в качестве базовой модели образования углеродных парагенезов будет рассмотрена флюидно-эксплозивная модель. По мнению Л.Н. Шарпенко с соавторами, формирование отложений такого типа обладает следующими отличительными особенностями:

- высокая подвижность и физико-химическая агрессивность флюидных потоков из магматических очагов различной глубинности. По пути следования к приповерхностной зоне земной коры растворы обогащаются компонентами различного генезиса;
- полигенное происхождение металлоносной составляющей флюида, что обеспечивается различными по составу и глубинности источниками флюидов;
- обогащением флюидов на уровне образования брекчий компонентами вмещающих пород, а также грунтовых вод;
- преобладание при формировании брекчий эксплозивно-декомпрессионного минералообразования, способствующего «выпадению» (физико-химической садке) из флюида рудных компонентов различного происхождения;
- полифазное, полиимпульсное формирование брекчий, обеспечивающее с каждой последующей эксплозией изменение состава флюида и обогащение брекчиевых пород новыми рудными компонентами или новыми их концентрациями;



Рис. 8. Схематическая карта расположения алмазоносных (по А.С. Якубчук [29]) углеродистых отложений с положением зон нефтепроявлений [1] в протерозойском комплексе Южной Америки (вариации $\delta^{13}\text{C}$ представлены по [24])
Fig. 8. Schematic map (according to A.S. Yakubchuk [29]) of diamond-bearing carbonaceous deposits and oil show zones [1] occurrence in Proterozoic sequence of southern America ($\delta^{13}\text{C}$ variations are shown according to [24])



– смена постепенно ослабевающих флюидных эксплозий в ряде случаев с пневматолитовым и гидротермально-метасоматическим минералообразованием приводит к формированию сложных по происхождению рудных залежей, как правило, богатых и поликомпонентных [3].

Несмотря на то, что процессы флюидогенного минералообразования описаны достаточно подробно [3, 6, 8] и подкреплены конкретными примерами, участие УВ не определено в них совсем. В то время как их роль в общей системе флюидно-эксплозивного процесса, вероятно, одна из главных, на

что указывают факты выделения изотопно легкого углерода в таких отложениях, а также сопряженность с НГБ, изучаемых алмазоносных и рудоносных. На взгляд авторов статьи, описанные характеристики флюидогенного процесса стоит дополнить.

Во-первых, основные этапы рифтогенеза, когда происходило заложение осадочных бассейнов древних континентов, относятся к байкальской фазе складчатости, поэтому приуроченность графитизированных алмазоносных и рудоносных комплексов к отложениям позднего протерозоя становится закономерной, так как подобные образования возникают в основном на бортовых и краевых структурах авлакогенов [3].

Во-вторых, процесс, по всей видимости, был не одномоментным, а скорее пульсационным, происходящим в различные эпохи формирования Уральско-Тиманского (Урало-Тиманского и Тиманского) горно-складчатого сооружения. В частности, в Волго-Уральском бассейне данные процессы происходили на рубеже раннего – среднего рифея, среднего – позднего рифея, позднего рифея – раннего венда², позднего венда. Как отмечал В.Н. Пучков, все стадии были связаны с поднятиями и эрозией, т. е. с разгерметизацией флюидной системы, что привело к миграции и переотложению растворенных компонентов [8].

Учитывая вышеизложенное, авторами статьи было принято решение рассматривать образования тиллитовидных толщ на примере терминального рифея Волго-Урала в свете флюидогенной теории происхождения [31]: во-первых, в связи с их приуроченностью к тектонически-активным зонам, а во-вторых, в связи с их парагенезом с магматогенными породами основного комплекса (базальты, metabазальты) [8].

Интересно, что возраст вмещающих (в том числе) углеродистых отложений закономерно омолаживается по направлению к северу (Суранское – Белорецкое – Улуелгинское – Кедровское – Ефимовское) (рис. 9), что вероятно связано с поэтапным развитием Урало-Тиманского палеоокеана. В это же время происходит раскрытие разломов и миграция флюидов из очага вверх по разрезу. Скорее всего,

²Отметим, что, на взгляд авторов статьи, одни из самых интересных событий докембрия (с точки зрения развития жизни, изменения климата и водного режима) происходили здесь на позднерифей-ранневендском этапе, который большинством ученых связывается с Лапландским оледенением. Ледниковая теория, однако, подверглась жесткой критике со стороны А.П. Казака [31], который в своей статье «Подтверждение неледникового происхождения нижневендских тиллитов в свете новых неотектонических представлений» опровергает имеющиеся доказательства ледниковой природы этих толщ (несоответствие предполагаемых структурных планов; наличие геохимических ассоциаций, не свойственных для данного типа отложений; преобладание в составе тиллитов обломков глубокопогруженных толщ и др.), а также связывает образование этих отложений именно с флюидно-эксплозивными процессами.

минерализация вмещающих толщ была здесь многоэтапной, накопительной [8].

При этом составы интрузивных тел и сопутствующих им флюидно-газовых потоков (в региональном плане) были также изменчивы и связаны с дегазацией интрузивных тел (мантии (?)), при которой из системы сначала выделялись соединения кремнезема (формирующие состав цемента и образующие на алмазах силикатные рубашки [32]), затем, при достижении декомпрессионного уровня давления и резкой дегазации, происходило вскипание H_2O и CO_2 с образованием на первично-магматогенной затравке углеродистой алмазной рубашки и дальнейшим выходом CO_2 на дневную поверхность³ («углекислое дыхание»)¹.

При этом сама углекислота вместе с выделяющейся водой, жидкими и газообразными УВ создавала среду для транспортировки ряда микроэлементов, сконцентрированных ранее в углеродистом материале вмещающих толщ.

Учитывая приуроченность изучаемых объектов к прибортовым зонам авлакогенов (т. е. к зонам аккумуляции УВ [33]), указанные процессы вполне могут быть сопряжены с миграцией УВ (в частности, CH_4 – «УВ дыхание»¹), а при воздействии на мигрирующий флюид гидротермальных потоков еще и с выпадением вторичного графита и связанных с ним минеральных/органических образований.

Таким образом, указанные процессы послужили формированию углеродных парагенезов, включающих в себя углеродсодержащие минералы, ОВ и его производные.

По собранным авторами статьи данным, углеродные парагенезы могли формироваться на окраинах древних кратонов Евразии и Южной Америки (см. рис. 8). Процессы, способствовавшие их образованию, могут быть интерпретированы как проявление глобального события в истории Земли, в результате которого были образованы крупные месторождения алмазов, руд, УВ-сырья. При подобного рода дегазации и предположительно значительном выбросе CH_4 и CO_2 в атмосферу, описанные процессы могли быть причиной глобального вымирания эдиакарской фауны, происходившего на рубеже позднего протерозоя – раннего палеозоя, что согласуется с ранее выдвинутыми положениями А.В. Сидоренко [34].

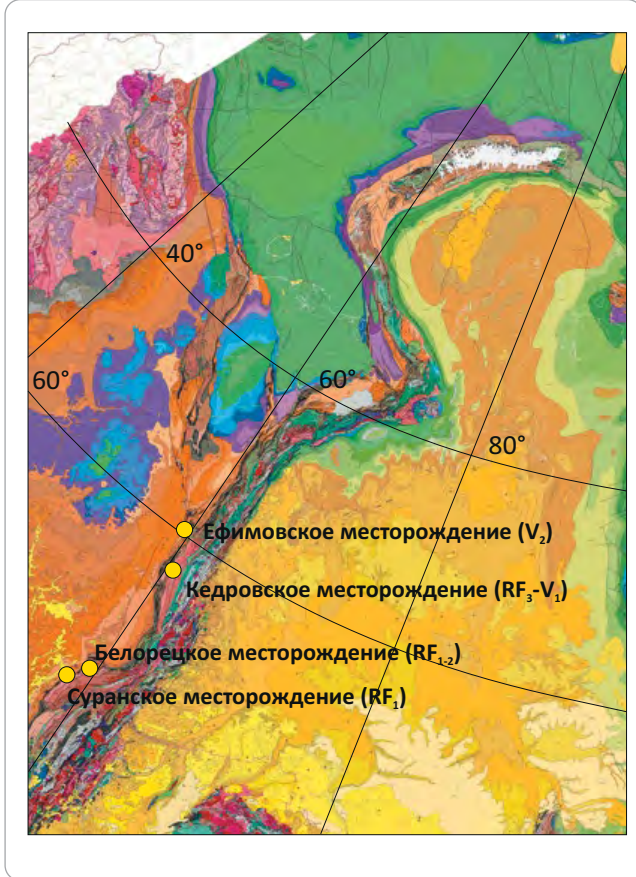
Заключение

Таким образом, представлена одна из возможных моделей формирования углеродных парагенезов в позднем протерозое при наличии в системе углерода как неорганического, так и органического

³По расчетам Св.А. Сидоренко¹, объемы метаморфогенной углекислоты, которые были выделены при рекристаллизации и метаморфизме протерозойских отложений, более чем достаточны для образования рудообразующих гидротермальных растворов.

Рис. 9. Схематическая карта расположения месторождений руд и алмазов в углеродистых рифей-вендских образованиях западного склона Урала

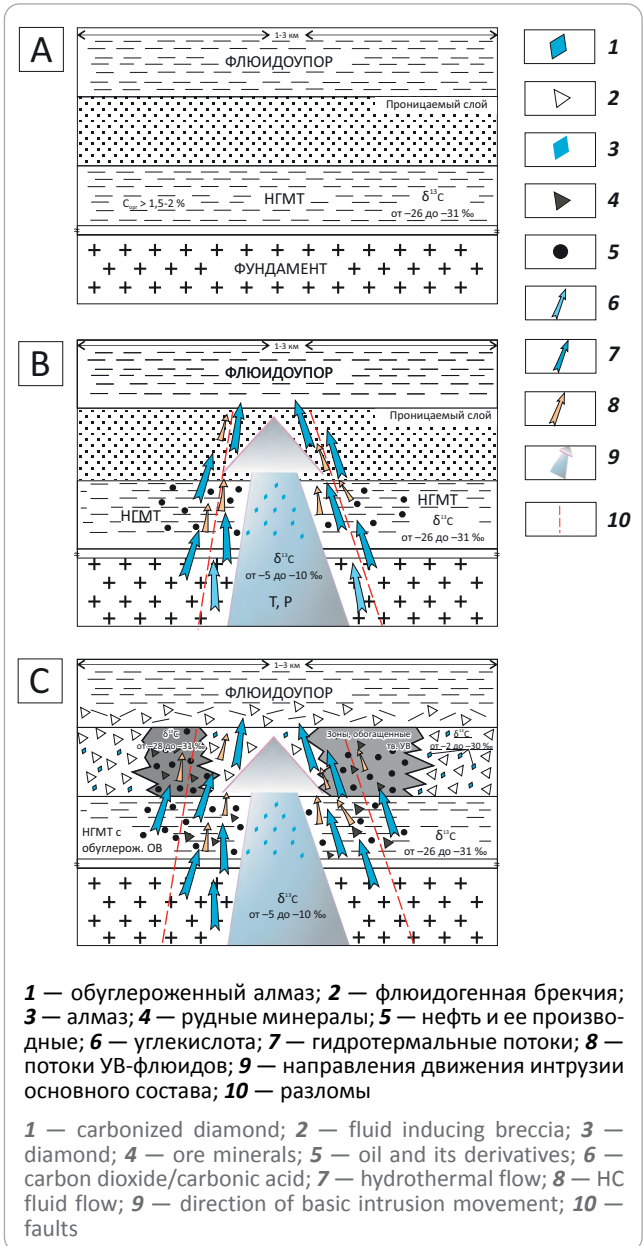
Fig. 9. Schematic map of ore and diamond field occurrence in the Riphean-Vendian carbonaceous formations of the western slope of Urals



происхождения. Предлагаемую концепцию можно описать в следующем порядке: накопление осадочных пород (рис. 10 А), внедрение интрузивного тела – формирование гидротермальных потоков (см. рис. 10 В) – «контактовый метаморфизм» за счет внедрения интрузии и гидротерм в карбонатные и терригенно-глинистые нефтематеринские толщи – совместная гидротермально-углеводородная миграция твердо-газово-жидкой фазы (см. рис. 10 В) – достижение декомпрессионного уровня температуры и давления – формирование флюидно-эксплозивных брекчий при флюидоразрыве (см. рис. 10 С).

Указанные процессы могли происходить многократно как в позднем протерозое, так и в дальнейшем – при унаследованном раскрытии разломов, в Волго-Уральском субрегионе – в D₃-C₁, P-T, N, о чем свидетельствуют находки подобных образо-

Рис. 10. Общая схема образования углеродных парагенезов
Fig. 10. General schematic of carbon paragenesis formation



1 – обуглероженный алмаз; 2 – флюидогенная брекчия; 3 – алмаз; 4 – рудные минералы; 5 – нефть и ее производные; 6 – углекислота; 7 – гидротермальные потоки; 8 – потоки УВ-флюидов; 9 – направления движения интрузии основного состава; 10 – разломы

1 – carbonized diamond; 2 – fluid inducing breccia; 3 – diamond; 4 – ore minerals; 5 – oil and its derivatives; 6 – carbon dioxide/carbonic acid; 7 – hydrothermal flow; 8 – HC fluid flow; 9 – direction of basic intrusion movement; 10 – faults

ваний в отложениях указанных стратиграфических интервалов [10, 17–20].

Важно заметить, что, несмотря на единые процессы преобразования и миграции углерода изучаемых минеральных и УВ-комплексов, образование их связано исключительно с магматическими очагами (для минеральных) и нефтяными системами (для УВ) соответственно.

Литература

1. Конторович А.Э., Трофимук А.А., Башарин А.К., Беляев С.Ю., Фрадкин Г.С. Глобальные закономерности нефтегазоносности докембрия Земли // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. – № 8. – С. 6–42.
2. Craig J., Biffi U., Galimberti R.F., Ghori K.A.R., Gorter J.D., Hakhoon N., Le Heron D.P., Thurow J., Vecoli M. The palaeobiology and geochemistry of Precambrian hydrocarbon source rocks // Marine and Petroleum Geology. – 2013. – № 40. – P. 1–47. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2012.09.011.

3. Шарпенко Л.Н., Лукьянова Л.И., Петров О.В. Геолого-петрологическая модель формирования алмазоносных флюидоэксплозивных брекчиевых структур (Уральский тип) // Литосфера. – 2018. – № 5. – С. 743–757. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757.
4. Пактовский Ю.Г. Геологическое развитие территории Южного Притиманья в позднем протерозое // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского : сб. науч. тр. – Пермь : Пермский гос. ун-т, 2019. – № 22а. – С. 216–223.
5. Пактовский Ю.Г. Стадийность геологического развития территории Южного Притиманья в позднем протерозое // Вестник Пермского Университета. Геология. – 2019. – Т. 18. – № 2. – С. 108–124. DOI: 10.17072/psu.geol.18.2.108.
6. Шарпенко Л.Н., Кухаренко Е.А., Костин А.Е. Эндогенные рудоносные брекчиевые образования: методические рекомендации по выявлению эндогенных брекчиевых образований различных генетических типов и оценке их потенциальной рудоносности применительно к задачам Госгеолкарт. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2018. – 104 с.
7. Лукьянова Л.И., Остроумов В.Р., Рыбальченко А.Я., Морозов Г.Г., Петров О.В., Тетерин И.П., Чайковский И.И. и др. Алмазоносные флюидно-эксплозивные образования Пермского Приуралья. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2020. – 239 с.
8. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
9. Гусева А.Н., Соболева Е.В. Практикум по геохимии горючих ископаемых. Учебное пособие. – М. : Изд-во МГУ, 1989. – 136 с.
10. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист О-40 (Пермь). Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2014.
11. McKirdy D.M., Hahn J.H. The Composition of Kerogen and Hydrocarbons in Precambrian Rocks // Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere : мат-лы науч. конф-ции (Берлин, 1–5 сентября 1980 г.). – Гейдельберг, 1982. – Р. 123–154. DOI:10.1007/978-3-642-68463-0_8.
12. Шуმიлова Т.Г., Тетерин И.П., Морозов Г.Г. Углеродистое вещество вишерских алмазоносных углеродистых пород // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: мат-лы науч.-практ. конф. – Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 2000. – С. 97–98.
13. Radke M. Application of aromatic compounds as maturity indicators in source rocks and crude oils // Marine and Petroleum Geology. – 1988. – Т. 3. – № 5. – Р. 224–236. DOI: 10.1016/0264-8172(88)90003-7.
14. Фролов В.Т. Литология. Кн. 1: Учебное пособие. – М. : Изд-во МГУ, 1992. – 336 с.
15. Справочник по геохимии нефти и газа / Под ред. С.Г. Неручева. – СПб. : Недра, 1998. – 576 с.
16. Чайковский И.И. Петрология и минералогия интрузивных алмазоносных пирокластитов Вишерского Урала. – Пермь : Изд-во Перм. ун-та., 2001. – 324 с.
17. Беликова Г.И., Мороз Т.Н. Некоторые аспекты изучения углеродистого вещества черносланцевых толщ (на примере пород Улуелгинско-Кудамашской зоны, Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал) // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академия наук Республики Башкортостан. – 2018. – № 25. – С. 59–68.
18. Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Ковалев С.С. Геохимия и изотопные характеристики углерода черносланцевых толщ Улуелгинско-Кудамашмановской зоны (западный склон Южного Урала) // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академия наук Республики Башкортостан. – 2011. – № 16. – С. 20–32.
19. Сначев В.И. Прогнозные ресурсы золота в углеродистых отложениях Ларинского гранитно-гнейсового купола (Южный Урал) // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академия наук Республики Башкортостан. – 2015. – № 21. – С. 96–106.
20. Сначев А.В. Уточненный вариант оценки прогнозных ресурсов золота в углеродистых отложениях Белорецкого метаморфического комплекса (Башкирский мегантиклинорий) // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академия наук Республики Башкортостан. – 2016. – № 22. – С. 19–26.
21. Mossman D.J., Minter W.E.L., Dutkiewicz A., Hallbauer D.K., George S.C., Hennigh Q., Reimer T.O., Horscroft F.D. The indigenous origin of Witwatersrand «carbon» // Precambrian Research. – 2008. – № 164. – Р. 173–186. DOI:10.1016/j.precamres.2008.04.008.
22. Gray G.J., Lawrence S.R., Kenyon K., Cornford C. Nature and origin of “carbon” in the Archean Witwatersrand basin // Journal of the Geological Society. – 1998. – Т. 155. – № 1. – С. 39–59. DOI: 10.1144/gsjgs.155.1.0039.
23. Котов И.В., Донских А.В., Каплунов Л.Д. Образование графита при разложении некоторых органических жидкостей в условиях повышенных P-T параметров // Вестник ЛГУ. Серия 7. Геология. – 1989. – Т. 1. – № 7. – С. 77–80.
24. Ковалев С.С., Мичурин С.В., Канипова З.А., Крупенин М.Т. Термокриометрия и флюидоносность жильного кварца из рифейских углеродсодержащих сланцев Башкирского мегантиклинория // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академия наук Республики Башкортостан. – 2016. – № 22. – С. 28–37.
25. Чайковский И.И., Коротченкова О.В. Эксплозивные минеральные фазы алмазоносных вишеритов Западного Урала // Литосфера. – 2012. – № 2. – С. 125–140.
26. Петров О.В., Лукьянова Л.И., Проскурнин В.Ф. Проблема поисков коренных источников алмазов в зонах сочленения платформ и складчатых областей // Региональная геология и металлогения. – 2012. – № 50. – С. 64–72.
27. Якубчук А.С. От Кенорлэнда до современных континентов: тектоника и металлогения // Геотектоника. – 2019. – № 2. – С. 3–32. DOI: 10.31857/S0016-853X201923-32.
28. Doucet L.S., Li Zheng-Xiang, Dien Hamed Gamal El. Oceanic and super-deep continental diamonds share a transition zone origin and mantle plume transportation // Scientific Reports. – 2021. – № 11. – 11 с. DOI: 10.1038/s41598-021-96286-8.
29. Виноградов А.П., Кропотова О.И., Орлов Ю.Л., Гриненко В.А. Изотопный состав кристаллов алмаза и карбонадо // Геохимия. – 1966. – № 12. – С. 1395–1397.
30. Сонин В.М., Чепуров А.И., Жимулев Е.И., Чепуров А.А., Соболев Н.В. Поверхностная графитизация алмаза в расплаве K₂CO₃ при высоком давлении // Доклады академии наук. – 2013. – № 5. – С. 556–559. DOI: 10.7868/S0869565213240201.
31. Казак А.П., Копылова Н.Н., Толмачева Е.В., Якобсон К.Э. Флюидно-эксплозивные образования в осадочных комплексах. – СПб. : ГГУП «Минерал», 2008. – 42 с.

32. Айлер Р. Химия кремнезема. Ч. 1. – М. : Мир, 1982. – 416 с.
32. Ailer R. Khimiya kremnezema. Chast' 1 [Silica chemistry. Part 1]. Moscow : Mir, 1982. 416 p. In Russ.
33. Кожанов Д.Д., Большакова М.А., Хопта И.С., Мордасова А.В., Ступакова А.В., Заглядин Я.А., Борисова М.С., Завьялова А.П., Чапахина В.В., Сахабов Т.Р. Геолого-геохимические условия формирования нефтегазоносности рифей-вендских отложений северной части Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. – 2021. – Т. 2. – 23. – С. 73–86. DOI: 10.18599/grs.2021.2.7.
34. Сидоренко А.В. Геология докембрия. – Л. : Наука, 1989. – 272 с.
35. Соколов Б.А., Абля Э.А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. – М. : ГЕОС, 1999. – 76 с.

References

1. Kontorovich A.Eh., Trofimuk A.A., Basharin A.K., Belyaev S.Yu., Fradkin G.S. Global regularities of the earth's Precambrian petroleum potential. *Russian geology and geophysics*. 1996;37(8):6–42. In Russ.
2. Craig J., Biffi U., Galimberti R.F., Ghori K.A.R., Gorter J.D., Hakhoon N., Le Heron D.P., Thurow J., Vecoli M. The palaeobiology and geochemistry of Precambrian hydrocarbon source rocks. *Marine and Petroleum Geology*. 2013;(40):1–47. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2012.09.011.
3. Sharpenok L.N., Luk'yanova L.I., Petrov O.V. Geopetrological model of formation diamond-bearing fluid-explosive breccia structures (Urals type). *Litosfera*. 2018;(5):743–757. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-5-743-757. In Russ.
4. Paktovskii Yu.G. Geological development of the territory of South Cis-Tyman in the Late Proterozoic stage. In: Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnye chteniya pamyati P.N. Chirvinskogo : sb. nauch. tr. Perm' : Permskii gos. un-t, 2019;(22a):216–223. In Russ.
5. Paktovskii Yu.G. Staging of geological development of an area of the Southern Cis-Timan in the Late Proterozoic. *Vestnik Permskogo Universiteta. Geologiya*. 2019;18(2):108–124. DOI: 10.17072/psu.geol.18.2.108. In Russ.
6. Sharpenok L.N., Kukhareno E.A., Kostin A.E. Ehndogennye rudonosnye brekchievye obrazovaniya: metodicheskie rekomendatsii po vyavleniyu ehndogennykh brekchievykh obrazovaniy razlichnykh geneticheskikh tipov i otsenke ikh potentsial'noi rudonosnosti primenitel'no k zadacham Gosgeol'kart [Endogenous ore-bearing breccia formations: guidelines for identifying endogenous breccia formations of various genetic types and assessing their potential ore content in relation to the tasks of the State Geological Map]. Saint Petersburg : VSEGEI, 2018. 104 p. In Russ.
7. Luk'yanova L.I., Ostroumov V.R., Rybal'chenko A.Ya., Morozov G.G., Petrov O.V., Teterin I.P., Chaikovskii I.I. et al. Almazonosnye flyuidno-ehsplozivnyye obrazovaniya Permskogo Priural'ya [Diamond-bearing fluid-explosion formations of the Perm District, Urals]. Saint Petersburg : VSEGEI, 2020. 239 p. In Russ.
8. Puchkov V.N. Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and Cis-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa : DizainPoligraFServis, 2010. 280 p. In Russ.
9. Guseva A.N., Soboleva E.V. Praktikum po geokhimii goryuchikh iskopaemykh. Uchebnoe posobie [Workshop on the geochemistry of fossil fuels. Study guide]. Moscow: Izd-vo MGU, 1989. 136 p. In Russ.
10. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Ural'skaya seriya – List O-40 (Perm'). Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1.000.000 (third generation). Ural series — Sheet O-40 (Perm). Explanatory letter]. Saint Petersburg : Izd-vo SPb kartfabriki VSEGEI, 2014. In Russ.
11. McKirdy D.M., Hahn J.H. The Composition of Kerogen and Hydrocarbons in Precambrian Rocks. In: Mineral Deposits and the Evolution of the Biosphere: mat-ly nauch. konf-tsii (Berlin, 1–5 September 1980). Heidelberg : Springer; 1982. pp. 123–154. DOI:10.1007/978-3-642-68463-0_8.
12. Shumilova T.G., Teterin I.P., Morozov G.G. Uglerodistoe veshchestvo visherskikh almazonosnykh uglerodistykh porod [Carbonaceous material of the Vishersky diamond bearing carbonaceous rocks]. In: Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala: mat-ly nauch.-prakt. konf. Perm' : Izd-vo Perm. un-ta, 2000. pp. 97–98. In Russ.
13. Radke M. Application of aromatic compounds as maturity indicators in source rocks and crude oils. *Marine and Petroleum Geology*. 1988;3(5):224–236. DOI: 10.1016/0264-8172(88)90003-7.
14. Frolov V.T. Litologiya. Kn. 1: Uchebnoe posobie [Lithology. Book. 1: Study guide]. Moscow: Izd-vo MGU, 1992. 336 p. In Russ.
15. Spravochnik po geokhimii nefiti i gaza [Handbook of Oil and Gas Geochemistry]. In: Nerucheva S.G., ed. Saint Petersburg : Nedra, 1998. 576 p. In Russ.
16. Chaikovskii I.I. Petrologiya i mineralogiya intruzivnykh almazonosnykh piroklastitov Visherskogo Urala [Petrology and mineralogy of intrusive diamondiferous pyroclastites of the Vishera Urals]. Perm' : Izd-vo Perm. Un-ta, 2001. 324 p. In Russ.
17. Belikova G.I., Moroz T.N. Nekotorye aspekty izucheniya uglerodistogo veshchestva chernoslantsevnykh tolshch (na primere porod Uluelginsko-Kudamashskoi zony, Bashkirskii megantiklinorii, Yuzhnyi Ural) [Some aspects of the study of the black shale strata carbonaceous matter (on the example of the rocks of the Uluelga-Kudamash zone, Bashkir meganticlinorium, South Urals)]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnnykh resursov Akademiya nauk Respubliki Bashkortostan*. 2018;(25):59–68. In Russ.
18. Kovalev S.G., Vysotskii I.V., Kovalev S.S. Geokhimiya i izotopnye kharakteristiki ugleroda chernoslantsevnykh tolshch Uluelginsko-Kudashmanovskoi zony (zapadnyi sklon Yuzhnogo Urala) [Geochemistry and carbon isotope characteristics of black shale strata of the Uluelga-Kudashmanovskaya zone (western slope of the Southern Urals)]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnnykh resursov Akademiya nauk Respubliki Bashkortostan*. 2011;(16):20–32. In Russ.
19. Snachev V.I. Prognoznye resursy zolota v uglerodistykh otlozheniyakh Larinskogo granitno-gneisovogo kupola (Yuzhnyi Ural) [Predicted gold resources in carbonaceous deposits of the Larinsky granite-gneiss dome (Southern Urals)]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnnykh resursov Akademiya nauk Respubliki Bashkortostan*. 2015;(21):96–106. In Russ.
20. Snachev A.V. Utochnennyi variant otsenki prognosnykh resursov zolota v uglerodistykh otlozheniyakh Beloretskogo metamorficheskogo kompleksa (Bashkirskii megantiklinorii) [An updated version of the estimate of predicted gold resources in carbonaceous deposits of the Beloretsk metamorphic complex (Bashkir meganticlinorium)]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnnykh resursov Akademiya nauk Respubliki Bashkortostan*. 2016;(22):19–26. In Russ.

21. Mossman D.J., Minter W.E.L., Dutkiewicz A., Hallbauer D.K., George S.C., Hennigh Q., Reimer T.O., Horscroft F.D. The indigenous origin of Witwatersrand «carbon». *Precambrian Research*. 2008(164):173–186. DOI:10.1016/j.precamres.2008.04.008.
22. Gray G.J., Lawrence S.R., Kenyon K., Cornford C. Nature and origin of “carbon” in the Archean Witwatersrand basin. *Journal of the Geological Society*. 1998;155(1):39–59. DOI: 10.1144/gsjgs.155.1.0039.
23. Kotov I.V., Donskikh A.V., Kaplunov L.D. Obrazovanie grafita pri razlozhenii nekotorykh organicheskikh zhidkostei v usloviyakh povyshennykh P-T parametrov [Formation of graphite during the decomposition of some organic liquids under conditions of elevated P-T parameters]. *Vestnik LGU. Seriya 7. Geologiya*. 1989;1(7):77–80. In Russ.
24. Kovalev S.S., Michurin S.V., Kanipova Z.A., Krupenin M.T. Termokriometriya i flyuidonosnost' zhil'nogo kvartsa iz rifeiskikh uglerodsoderzhashchikh slantsev Bashkirskogo megantiklinoriya [Thermal cryometry and fluid content of vein quartz from Riphean carbonaceous shales of the Bashkir meganticlinorium]. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov Akademiya nauk Respubliki Bashkortostan*. 2016;(22):28–37. In Russ.
25. Chaikovskii I.I., Korotchenkova O.V. Explosive mineral phases from Western Urals diamondiferous visherites. *Lithosphere*. 2012;(2):125–140. In Russ.
26. Petrov O.V., Luk'yanova L.I., Proskurnin V.F. Problema poiskov korenykh istochnikovalmazov v zonakh sochleneniya platform i skladchatykh oblastei [The problem of searching for primary sources of diamonds in the junction zones of platforms and folded areas]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. 2012;(50):64–72. In Russ.
27. Yakubchuk A.S. From Kenorland to modern continents: tectonics and metallogeny. *Geotektonika*. 2019(2):3–32. DOI: 10.31857/S0016-853X201923-32. In Russ.
28. Doucet L.S., Li Zheng-Xiang, Dien Hamed Gamal El. Oceanic and super-deep continental diamonds share a transition zone origin and mantle plume transportation. *Scientific Reports*. 2021;(11):11 p. DOI: 10.1038/s41598-021-96286-8.
29. Vinogradov A.P., Kropotova O.I., Orlov Yu.L., Grinenko V.A. Izotopnyi sostav kristallov almaza i karbonado [Isotopic composition of diamond and carbonado crystals]. *Geokhimiya*. 1966;(12):1395–1397. In Russ.
30. Sonin V.M., Chepurov A.I., Zhimulev E.I., Chepurov A.A., Sobolev N.V. Surface graphitization of diamond in K₂CO₃ melt at high pressure. *Doklady Earth Sciences*. 2013;451(2):858–860. DOI: 10.1134/S1028334X13080126.
31. Kazak A.P., Kopylova N.N., Tolmacheva E.V., Yakobson K.Eh. Flyuidno-ehksplozivnye obrazovaniya v osadochnykh kompleksakh [Fluid-explosive formations in sedimentary complexes]. Saint Petersburg : GGUP “Mineral”, 2008. 42 p. In Russ.
32. Ailer R. Khimiya kremnezema. Chast' 1 [Silica chemistry. Part 1]. Moscow : Mir, 1982. 416 p. In Russ.
33. Kozhanov D.D., Bol'shakova M.A., Khopta I.S., Mordasova A.V., Stupakova A.V., Zaglyadin YA.A., Borisova M.S., Zav'yalova A.P., Chupakhina V.V., Sakhabov T.R. Geology and geochemistry of Riphean-Vendian petroleum system (the Northern part of the Volga-Ural Basin). *Georesursy*. 2021;2(23):73–86. DOI: 10.18599/grs.2021.2.7. In Russ.
34. Sidorenko A.V. Geologiya dokembriya [Precambrian geology]. Leningrad: Nauka, 1989. 272 p. In Russ.
35. Sokolov B.A., Ablya E.A. Fluid-dynamic model of oil and gas generation. Moscow: GEOS; 1999. 76 p. In Russ.

Информация об авторе

Кожанов Дмитрий Дмитриевич

Аспирант

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

119234 Москва, Ленинские горы, д. 1

e-mail: dmitriikozhanov@yandex.ru

ORCID ID: 0000-0002-2641-918X

Большакова Мария Александровна

Кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

119234 Москва, Ленинские горы, д. 1

e-mail: m.bolshakova@oilmsu.ru

ORCID ID: 0000-0001-9240-291X

Сидоренко Светлана Александровна

Доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник

ФГБУН «Институт проблем нефти и газа РАН»,

119333 Москва, ул. Губкина, д. 3

e-mail: sventlanasidorenko@yandex.ru

ORCID ID: 0009-0004-0563-574X

Information about authors

Dmitriy D. Kozhanov

Post-graduate student

Lomonosov

Moscow State University,

1, Leninskiye gory, Moscow, 119234, Russia

e-mail: dmitriikozhanov@yandex.ru

ORCID ID: 0000-0002-2641-918X

Maria A. Bol'shakova

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading researcher

Lomonosov

Moscow State University,

1, Leninskiye gory, Moscow, 119234, Russia

e-mail: m.bolshakova@oilmsu.ru

ORCID ID: 0000-0001-9240-291X

Svetlana A. Sidorenko

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading researcher

Oil and Gas Research Institute Russian Academy of Sciences

3, ul. Gubkina, Moscow, 119333

e-mail: sventlanasidorenko@yandex.ru

ORCID ID: 0009-0004-0563-574X

Пронина Наталия Владимировна

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова,
119234 Москва, Ленинские горы, д. 1
e-mail: nvproncl@mail.ru
ORCID ID: 0009-0007-0266-4934

Ситар Ксения Александровна

Кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова,
119234 Москва, Ленинские горы, д. 1
e-mail: k.sitar@oilmsu.ru
ORCID ID: 0000-0003-1386-8442

Мордасова Алина Владимировна

Кандидат геолого-минералогических наук,
научный сотрудник
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова,
119234 Москва, Ленинские горы, д. 1
e-mail: a.mordasova@oilmsu.ru
ORCID ID: 0000-0003-2472-3652

Заглядин Ярослав Александрович

Магистр
Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова,
119234 Москва, Ленинские горы, д. 1
e-mail: mrkruken@mail.ru
ORCID ID: 0009-0003-9372-8868

Nataliya V. Pronina

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Leading researcher
Lomonosov
Moscow State University,
1, Leninskiye gory, Moscow, 119234, Russia
e-mail: nvproncl@mail.ru
ORCID ID: 0009-0007-0266-4934

Ksenia A. Sitar

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Senior researcher
Lomonosov
Moscow State University,
1, Leninskiye gory, Moscow, 119234, Russia
e-mail: k.sitar@oilmsu.ru
ORCID ID: 0000-0003-1386-8442

Alina V. Mordasova

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Researcher
Lomonosov
Moscow State University,
1, Leninskiye gory, Moscow, 119234, Russia
e-mail: a.mordasova@oilmsu.ru
ORCID ID: 0000-0003-2472-3652

Yaroslav A. Zaglyadin

Magister
Lomonosov
Moscow State University,
1, Leninskiye gory, Moscow, 119234, Russia
e-mail: mrkruken@mail.ru
ORCID ID: 0009-0003-9372-8868