

## Особенности сидеритовой минерализации в юрско-нижнемеловых глинисто-терригенных отложениях Западной Сибири

Л. Г. Вакуленко<sup>1</sup>, О. Д. Николенко<sup>1</sup>, А. Н. Пыряев<sup>2</sup>, П. А. Ян<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, e-mails: vakylenkolg@ipgg.sbras.ru; nikolenkood@ipgg.sbras.ru; yanpa@ipgg.sbras.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, e-mail: pyrayev@igm.nsc.ru

Поступила в редакцию 20.12.2024 г., принята к печати 18.02.2025 г.

**Объект исследования.** Сидерит юрских и нижнемеловых отложений Западно-Сибирского осадочного бассейна. **Цель.** Определить закономерные изменения структуры и состава сидеритовой минерализации в зависимости от обстановок седиментации и стадий преобразования вмещающих отложений. **Материалы и методы.** Исследовались проявления сидеритовой минерализации в разнофациальных юрских и нижнемеловых отложениях Западной Сибири. Морфология и состав выделений сидерита определялись методами оптической и электронной микроскопии с использованием энергодисперсионного спектрометрического микрозонда. В соляно-кислотных вытяжках методом ИСП-МС установлены содержания Fe, Mg, Ca, Mn, Al, Sr. Изотопный состав С и О в сидеритах определен с помощью масс-спектрометра изотопных отношений Finnigan<sup>TM</sup> MAT 253. **Результаты.** Установлено многообразие форм проявления сидерита, среди которых преобладают пелитоморфный и глобулярный, в меньшей степени – микро- и тонкокристаллический и сферолитовый. Сидериты континентальных вмещающих отложений более чистые по химическому составу, в то время как в морских зафиксированы повышенные содержания Са и Mg. В морских сидеритах отмечены незначительные вариации  $\delta^{13}\text{C}$  (от  $-5.5$  до  $+5.5\%$ ), а для континентальных характерен широкий диапазон значений  $\delta^{13}\text{C}$  (от  $-8.7$  до  $+13.5\%$ ). По изотопному составу кислорода сидерит континентальных отложений имеет более легкий состав ( $\delta^{18}\text{O}$  от  $13.5$  до  $+17.6\%$ ) по сравнению с прибрежно- и мелководно-морскими ( $\delta^{18}\text{O}$  от  $+22.3$  до  $+24.4\%$ ). При изучении структурно-морфологических разновидностей сидерита установлено, что раннедиагенетические генерации характеризуются более чистым составом, незначительно проявленные катагенетические – повышенным содержанием Са, Mn и Mg. Эту закономерность можно использовать при проведении стадийного анализа вмещающих пород. **Выводы.** Сидерит песчано-алевритовых и алевритоглинистых пород юры и нижнего мела Западной Сибири, образуясь под воздействием целого ряда факторов, в разных условиях раннего диагенеза, в меньшей степени позднего диагенеза–катагенеза, характеризуется широким спектром структурно-морфологических разновидностей, значительным диапазоном содержания изоморфных примесей и вариативностью изотопного состава. По ряду параметров (содержание Са, Mg, Sr,  $\delta^{18}\text{O}$ ) сидерит континентальных отложений отчетливо отличается от морских. Разносторонние прецизионные исследования будут способствовать приращению сидерита в качестве индикатора условий седиментации и постседиментационных изменений.

**Ключевые слова:** сидерит, геохимия, изотопы углерода и кислорода, юра–нижний мел, Западная Сибирь

### Источник финансирования

Исследования выполнены при финансовой поддержке ФНИ (FWZZ-2022-0007) и по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400171-5)

## Special aspects of siderite mineralization in the Jurassic-Lower Cretaceous clay-terrigenous deposits of Western Siberia

Lyudmila G. Vakulenko<sup>1</sup>, Ostap D. Nikolenko<sup>1</sup>, Alexander N. Pyraev<sup>2</sup>, Peter A. Yan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>A.A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, 3 Academician Koptyug av., Novosibirsk 630090, Russia, e-mails: vakylenkolg@ipgg.sbras.ru; nikolenkood@ipgg.sbras.ru; yanpa@ipgg.sbras.ru

<sup>2</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, 3 Academician Koptyug av., Novosibirsk 630090, Russia, e-mail: pyrayev@igm.nsc.ru

Received 20.12.2024, accepted 18.02.2025

**Для цитирования:** Вакуленко Л.Г., Николенко О.Д., Пыряев А.Н., Ян П.А. (2025) Особенности сидеритовой минерализации в юрско-нижнемеловых глинисто-терригенных отложениях Западной Сибири. *Литосфера*, **25**(4), 848-860. <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-4-848-860>. EDN: TXLEHK

**For citation:** Vakulenko L.G., Nikolenko O.D., Pyraev A.N., Yan P.A. (2025) Special aspects of siderite mineralization in the Jurassic-Lower Cretaceous clay-terrigenous deposits of Western Siberia. *Lithosphere (Russia)*, **25**(4), 848-860. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/2500-302X-2025-25-4-848-860>. EDN: TXLEHK

**Research subject.** Siderite of Jurassic and Lower Cretaceous sediments of the West Siberian sedimentary basin. **Aim.** To determine the patterns of the structure and composition of siderite mineralization and its dependence on sedimentation conditions and stages of changes of surrounding rocks. **Materials and methods.** Siderite mineralization in different Jurassic and Lower Cretaceous facies of Western Siberia has been studied. The morphology of siderite was determined by optical and electron microscopy using an energy dispersive spectrometric microprobe. The contents of Fe, Mg, Ca, Mn, Al, Sr were determined in hydrochloric acid extracts using the ICP-MS method. The isotopic composition of C and O in siderites was determined using the FinniganTM MAT 253 isotope ratio mass spectrometer. **Results.** A variety of siderite forms has been established. Pelitomorphic and globular siderite predominate, to a lesser extent micro-, fine-crystalline and spherulite. The siderites of continental sediments are cleaner in chemical composition, and increased Ca and Mg contents are recorded in marine sediments. Minor variations of  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-5.5\text{...}+5.5\text{‰}$ ) were noted in marine siderites, and a wide range of  $\delta^{13}\text{C}$  values ( $-8.7\text{...}+13.5\text{‰}$ ) is typical for continental ones. According to the isotopic composition of oxygen, siderite of continental sediments has a distinctly (depleted isotope) composition ( $\delta^{18}\text{O} - +13.5\text{...}+17.6\text{‰}$ ) compared with coastal and shallow-water marine ( $\delta^{18}\text{O} - +22.3\text{...}+24.4\text{‰}$ ). When studying the structural and morphological varieties of siderite, it was found that the early diagenetic generations are characterized by a cleaner composition, while the slightly manifested catagenetic ones are characterized by an increased content of Ca, Mn, and Mg. This pattern can be used when conducting a stadium analysis of enclosing rocks. **Conclusions.** Siderite of sandy-siltstone and siltstone-clay rocks of the Jurassic and Lower Cretaceous of Western Siberia were formed under the influence of a number of factors under different conditions and at different stages of diagenesis. They are characterized by a wide range of structural and morphological varieties, a significant range of isomorphic impurities and variability of isotopic composition. According to a number of parameters (content of Ca, Mg, Sr,  $\delta^{18}\text{O}$ ), siderite of continental sediments is distinctly different from marine sediments. Versatile precision studies will facilitate the use of siderite as an indicator of sedimentary environments and post-sedimentation changes.

**Keywords:** siderite, geochemistry, carbon and oxygen isotopes, Jurassic-Lower Cretaceous, Western Siberia

#### Funding information

The research was carried out according to the State assignment on the topics INGG SB RAS (FWZZ-2022-0007) and IGM SB RAS (No. 122041400171-5)

## ВВЕДЕНИЕ

Рассматривая эволюцию конкрециеобразования, А.В. Македонов (1986) отмечал появление сидеритовых конкреций в докембрии, неравномерное развитие их в фанерозое с максимумами сидеритообразования в раннем карбоне, поздней перми, минимумом в раннем триасе и новыми максимумами в мезозое и кайнозое. Присутствие сидерита в глинисто-терригенных толщах разного возраста зафиксировано в многочисленных публикациях (Тимофеева, 1963; Феофилова, 1972; Гаврилов, 1982; Ветошкина, 2006; и др.), где обсуждаются структурно-морфологические особенности сидеритовой минерализации, процессы и условия ее образования. Однако до сих пор сохраняется дискуссионность генезиса сидерита с доминированием в последние десятилетия точки зрения на ведущую роль в нем биохимических процессов (Ветошкина, 2005; Расулов, 2006; Гептнер и др., 2016; Антошкина и др., 2017; и др.). Также обсуждается вопрос приуроченности сидеритообразования к определенным стадиям литогенеза осадков/пород.

В юрско-нижнемеловом разрезе Западной Сибири среди аутигенных минералов, формировавшихся на постседиментационных этапах, карбонаты играют ведущую роль. Но если наиболее распространенному кальциту и более редкому доломиту обычно уделяют пристальное внимание по причине их сильного влияния на фильтрационно-емкостные

свойства алевритопесчаных коллекторов, то карбонаты железистого ряда практически не обсуждаются. Между тем чувствительность структурно-морфологических особенностей сидерита, его химического и изотопного состава к физико-химическим параметрам среды образования, а также значительная распространенность сидерита в глинистых породах открывают широкие возможности использования результатов петрографических и геохимических исследований сидеритсодержащих пород для реконструкции условий их осадконакопления и постседиментационного преобразования.

В процессе собственных многолетних исследований и анализа опубликованных работ (Перозио, Мандрикова, 1967; Перозио, 1971; Баженов и др., 1994; Недоливко и др., 2001; и др.) мы отмечали сидеритовую минерализацию в разнофациальных отложениях юрского и нижнемелового разреза, проявленную на большей части Западно-Сибирского осадочного бассейна. Наибольшее развитие она получила в областях континентального и переходного (дельтового, заливно-лагунного) типов седиментогенеза с характерной для отложений различной степенью угленосности. В частности, для нижней-средней юры это – Обь-Иртышская и Обь-Тазовская, для келловей–верхней юры – Чулымо-Тасеевская и Омско-Чулымская фациальные области. Отсутствует сидерит в относительно глубоководноморской верхнеюрской баженовской свите.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА  
ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу работы положены результаты исследований юрско-нижнемеловых глинисто-терригенных разрезов Западно-Сибирского осадочно-го бассейна (рис. 1), выполненных авторским коллективом в разные годы (кern порядка 400 скважин). Обязательным этапом был петрографический анализ, который проводился с использованием микроскопа Olympus BX60 и программного обеспечения "Петрог\_5.0". Для уточнения состава и морфологии выделений сидерита указанные исследования сочетались с методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа TEXSCAN MIRA, оснащенного энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 (115 спектров). Детальные изотопно-геохимические исследования сделаны для 21 образца, содержащего разные структурно-морфологические типы сидерита. На первом этапе методом ИСП-МС определен состав соляно-кислотных вытяжек: содержания Fe, Mg, Ca, Mn, Al, Sr. Изотопный состав С и О в сидеритах определялся в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН

с помощью масс-спектрометра изотопных отношений Finnigan™ MAT 253 (Германия), снабженно-го приставкой пробоподготовки GasBench II, термостатом для разложения проб при температуре 70°C и автосемплером для автоматического режима измерения последовательности образцов. Измерения и обработка данных проводились в программном комплексе ISODAT 3.0. Результаты анализа изотопного состава углерода и кислорода карбонатов представлены относительно стандартов VPDB (изотопный состав углерода) и VSMOW (изотопный состав кислорода). Погрешность измерений стандартов не превышала 0.1 при анализе изотопного состава углерода, 0.2‰ – при анализе состава кислорода. Физико-химические анализы выполнялись в Аналитическом центре МИИ ИГМ СО РАН (г. Новосибирск).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Детальные исследования показали весьма разнообразные формы проявления сидеритовой минерализации в юрских и нижнемеловых разрезах. В алевритопесчаных породах сидерит пелитоморфный, участками слабо перекристаллизован до мик-

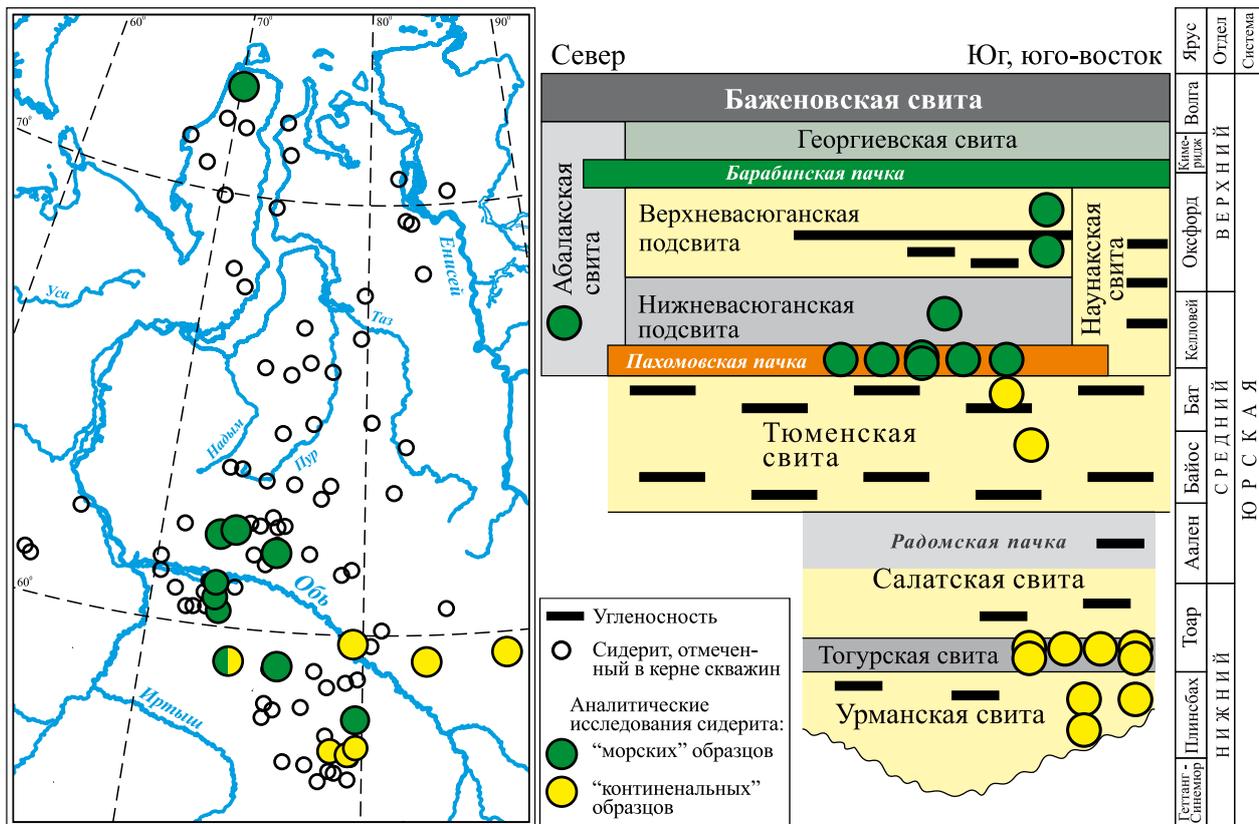


Рис. 1. Расположение изученного материала по площади и в юрском разрезе Западной Сибири.

Fig. 1. The location of the studied material by area and in the section of Western Siberia.

ро-, иногда тонкокристаллического. Встречается в основном в виде сгустков и пятен, формируя поровый тип цемента (рис. 2а). Часто он концентрируется совместно с растительным детритом, подчеркивая слоистость пород и образуя фитоморфозы по отдельным фрагментам растительности (рис. 2б). Редко сидерит формирует пленочный тип цемента (рис. 2в). Кроме того, пелитоморфный, а иногда рисовидный микро- и тонкокристаллический сидерит развивается по биотиту и некоторым литокластам (обломкам сланцев, алевритоглинистых пород, эффузивов). Содержание его в цементе алевритопесчаных пород варьируется от долей мас. % до 7–10 мас. %, редко увеличиваясь до 25–30 мас. %. Наиболее обогащена этим минералом пахомовская пачка (пласт Ю<sub>2</sub><sup>0</sup>) – базальный пласт келловейской трансгрессии, который, благодаря своему своеобразному облику и значительной латеральной распространенности, предложен рядом исследователей в качестве субрегионального маркирующего горизонта (Нежданов, 1984). Несмотря на свою маломощность, он хорошо проявлен в керне, благодаря, в частности, сидеритизации пород в виде рыжих пятен и конкреций разнообразной формы, размеров и различной степени обособленности (Вакуленко и др., 2008). Часто они развиваются по ихнофоссилиям – следам жизнедеятельности донных организмов. Еще одной особенностью указанного пласта является наличие прослоев с кальцит-сидеритовыми оолитами, в которых ядрами часто служит терригенный материал.

В глинистых породах, по оценке Н.М. Недоливко с соавторами (2001), среди диагенетических карбонатов юрских разрезов юго-востока Западной Сибири сидерит составляет от 74 до 90%. По нашим наблюдениям, самый распространенный пелитоморфный, реже микрокристаллический, иногда микро- и тонкокристаллический сидерит, кроме сгустков и пятен, формирует прослой мощностью до 0.1–0.2 м, конкреции разнообразной формы и размеров, а также фитоморфозы. В перекристаллизованных микро- и тонкокристаллических участках кристаллы сидерита имеют удлинненную, рисовидную или округлоромбоздрическую форму (рис. 2г). Довольно часто сидерит отмечался в виде округлых микроглобулек размером 0.01–0.03 мм различного строения: у одних – большое практически непрозрачное темное ядро и узкая светлая оболочка, у других – небольшое, слабовыраженное ядро и светлая оболочка, часто со сферолитовым погасанием (рис. 2д, е).

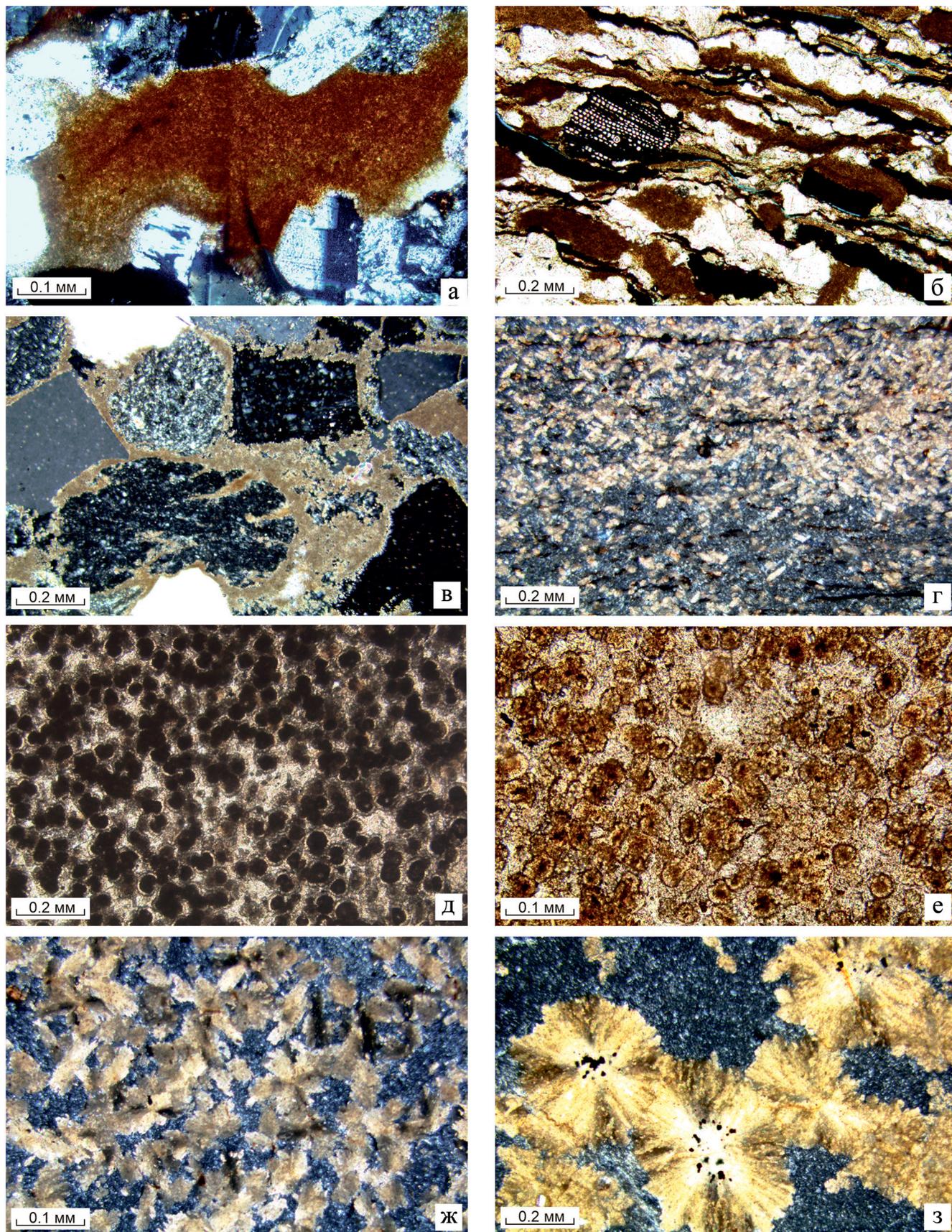
Кроме того, в глинистых толщах встречаются выделения сидерита в виде сферолитов как минимум двух разновидностей. Первая разновидность аналогична охарактеризованной Г.Н. Пероziо (1971) под названием “яснозернистый сферолитовый сидерит (двух- и трехлепестковые образования, брусочки, снопики)” (рис. 2ж). Вторая разно-

видность встречена на некоторых уровнях юрско-го разреза и представлена округлыми сферолитами размером от 0.1–0.2 до 0.5–0.7 мм с хорошо выраженной радиально-лучистой структурой (рис. 2з). Подобный сидерит описан и в работах по тогурской свите юго-востока Западной Сибири (Пешехонов, 1975; Баженов и др., 1994).

Сидерит, как известно, характеризуется значительным диапазоном содержания изоморфных примесей Ca, Mg, Mn. По составу соляно-кислотных вытяжек в рассматриваемой коллекции западно-сибирских сидеритов прибрежно- и мелководно-морские сидериты (верхи тюменской, васюганская свита, пласт Ю<sub>2</sub><sup>0</sup>) обогащены Ca (CaCO<sub>3</sub> – 5.8–33.4 мас. %) и Mg (MgCO<sub>3</sub> – 8.5–23.3 мас. %) и относятся к сидероплезитам – Ca-сидероплезитам – сидеродотам (FeCO<sub>3</sub> – 53.7–80.2 мас. %), по Г.И. Теодоровичу (1958) (табл. 1). В континентальных сидеритах (урманская, тогурская, тюменская свиты) содержание примесей значительно снижается (FeCO<sub>3</sub> – 71.6–91.9 мас. %). Также сидерит в морских и переходных отложениях обогащен стронцием (SrCO<sub>3</sub> – 0.03–0.43, среднее – 0.14 мас. %) по сравнению с континентальными (0.01–0.17, среднее – 0.05 мас. %).

При более детальном изучении выделенных структурно-морфологических разновидностей сидерита на СЭМ также установлено изменение их состава (табл. 2). Так, в центральных, более однородных и чистых, участках сферолитов часто фиксируется повышенные содержания Fe, пониженные – Ca, Mn и почти полное отсутствие Mg и P по сравнению с радиально-лучистой зоной (рис. 3а). Также незначительное содержание примесей характерно для двух-трехлепестковых сферолитов: содержание FeCO<sub>3</sub> – 93.5, CaCO<sub>3</sub> – 4.5, MnCO<sub>3</sub> – 0.7 мас. %, в половине спектров отмечается примесь Mg (MgCO<sub>3</sub> – 1.3 мас. %) и P (рис. 3б). Несколько разновидностей сидерита, различающихся по составу, зафиксированы в сканирующем микроскопе в песчаниках. Наиболее чистый сидерит (FeCO<sub>3</sub> – 94.2 мас. %) – тонкокристаллический, поровый, содержит небольшую примесь Mn (MnCO<sub>3</sub> – 4.3 мас. %) и Ca (CaCO<sub>3</sub> – 2.7 мас. %) (рис. 3в). В более позднем тонкокристаллическом рисовидном и неправильно-ромбоздрическом сидерите, формировавшемся, вероятно, в катагенезе по литокластам и в межзерновом пространстве по каолиническому цементу, заметно снижено содержание Fe (FeCO<sub>3</sub> – 63.0 мас. %) при существенном увеличении примесей Mg (MgCO<sub>3</sub> – 26.8 мас. %), в меньшей степени Ca (CaCO<sub>3</sub> – 9.4 мас. %), и низком содержании Mn (MnCO<sub>3</sub> – 0.7 мас. %) (рис. 3г). Обогащен примесью Mg (MgCO<sub>3</sub> – 20.1 мас. %) и катагенетический сидерит, развивающийся по биотиту. Содержание FeCO<sub>3</sub> в нем 70.9 мас. %, CaCO<sub>3</sub> – 7.3 и MnCO<sub>3</sub> – 1.7 мас. % (рис. 3д).

Изученность изотопного состава углерода и кислорода западносибирских сидеритов в настоящее



**Рис. 2.** Фотографии структурно-морфологических типов сидерита в шлифах.

а – пелитоморфный поровый цемент; б – пелитоморфный поровый цемент, концентрирующийся послойно совместно с растительным детритом; в – пелитоморфный пленочный цемент; г – тонкокристаллический рисовидный; д – микроглобулярный с большим ядром; е – микроглобулярный с широкой радиально-лучистой зоной; ж – сферолитовый “двух-трехлепестковый”; з – сферолитовый с хорошо выраженной радиально-лучистой структурой; а, б–г, ж, з – николи скрещены; д, е – николи параллельны.

**Fig. 2.** Optical photomicrographs of structural and morphological types of siderite in thin sections.

а – pelitomorphic pore cement; б – pelitomorphic pore cement concentrated in layers with plant detritus; в – pelitomorphic film cement; г – fine-crystalline rice-like; д – micro globular with a large core; е – microglobular with a widely radial-radiant zone; ж – spherulitic “two- or three-petal”; з – spherulitic with a well-defined radial-radiant structure; а, б–г, ж, з – crossed nicols; д, е – without analyser.

время очень незначительна и требует наращивания базы данных. Результаты наших исследований демонстрируют довольно заметную разницу изотопного состава радиофациальных сидеритов (рис. 4). Прибрежно- и мелководно-морские их разновидностей характеризуются утяжеленным составом кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$  от +22.3 до +24.4‰ VSMOW), отличающим их от континентальных и субконтинентальных ( $\delta^{18}\text{O}$  от +13.5 до +17.6‰), формировавшихся в пресноводных условиях (см. табл. 1). Наиболее облегчен по углероду сидерит, образующий псевдоморфозы по обильным остаткам корней растений в континентальной глинистой тогурской свите ( $\delta^{13}\text{C} = -8.7\text{‰}$ ), что свидетельствует о значительном участии изотопно-легкой органической (биогенной) углекислоты в его формировании. Максимально утяжеленный углерод (+13.5‰) определен в глинистых отложениях урманской свиты также континентального генезиса, в которых в целом наблюдается некоторое утяжеление изотопного состава углерода. В сидеритах васюганского горизонта преимущественно морского генезиса отмечены менее значительные вариации  $\delta^{13}\text{C}$  – от –5.5 до +5.5‰, что соответствует их формированию в морском бассейне в раннем диагенезе (см. табл. 1).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

При детальном микроскопическом исследовании оказалось, что в мезозойских отложениях Западной Сибири довольно широко распространены микроглобулярные образования, аналогичные описанным в сидеритах Русской плиты, Приуралья, Северного Вьетнама (Ветошкина, 2005, 2006; Гептнер и др., 2016; Антошкина и др., 2017; и др.), для которых обосновывается гипотеза их принадлежности к биоморфным структурам микробного происхождения. Очевидно, для Западно-Сибирского бассейна эта точка зрения также актуальна, но требует более целенаправленных детальных исследований.

Проявления сферолитов сидерита, называемых в зарубежных публикациях “сферосидеритами”, рассмотрены в целом ряде работ (Феофилова, 1972; Ludvigson et al., 1998; Ufnar et al., 2001, 2004; Krajewski et al., 2010; и др.), содержащих

данные по их минералогическому, геохимическому, изотопному составу, а также выводы по условиям и обстановкам формирования. Исследователи отмечают, что сферосидериты приурочены преимущественно к глинистым почвенным горизонтам заболочивающихся континентальных обстановок, реже приливного побережья. Они формируются в раннем диагенезе в восстановительных условиях, при активном участии метеорных вод. Данные по составу изотопов кислорода сферосидеритов используются при реконструкции палеоклимата. По химико-минералогическому составу сферосидериты наиболее чистые – обогащены железом, с минимальным содержанием примесей. Случаи повышения степени замещения  $\text{Fe}^{2+}$  на  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  свидетельствуют о смешивании метеорных и морских вод. Л.В. Пешехонов (1975), изучавший юрские сферолитовые сидериты нефтегазоносных отложений Западной Сибири, предлагал использовать некоторые особенности их структуры для оценки степени постседиментационных изменений вмещающих отложений. Определяющим в этом случае было его представление о появлении сферолитовой структуры в результате перекристаллизации пелитоморфной.

В целом комплекс условий, необходимый для формирования сидерита, следующий: умеренная насыщенность осадков органикой, нейтральные или слабощелочные значения рН (до 7.2–7.6), обстановка восстановительная, от пресной до опресненно-солончатой, повышенная концентрация ионов  $\text{Fe}^{2+}$  в иловых водах, высокое содержание в осадке  $\text{CO}_2$  и удаление из системы сульфидной S, относительно повышенная скорость седиментации (Тимофеева, 1963; Curtis, Spears, 1968; Гаврилов, 1982; и др.). В данной работе авторы, вслед за большинством исследователей, считают, что сидеритовая минерализация приурочена в основном к восстановительному этапу стадии диагенеза, при этом, по Ю.О. Гаврилову (1982), время его образования (ранний или поздний диагенез) зависит от набора условий и обстановок в каждом конкретном случае. В раннем-среднем катагенезе формируется тонкокристаллический ромбоэдрический (округленно-ромбоэдрический, неправильно-ромбоэдрический, удлиненно-ромбоэдрический, называемый

**Таблица 1.** Изотопный и геохимический состав изученных сидеритов Западной Сибири, мас. %  
**Table 1.** Stable isotope and geochemical composition of the studied siderites of Western Siberia, wt %

№ п. п.	Образец	Вмещающая порода	Привязка образца	Структура сидерита	FeCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	MnCO <sub>3</sub>	SiCO <sub>3</sub>	δ <sup>13</sup> C <sub>VPDB</sub>	δ <sup>18</sup> O <sub>VSMOW</sub>	δ <sup>18</sup> O <sub>VPDB</sub>
1	ЗТ1/291	Алевроаргиллит	Урманская свита (J1p)	Пелитоморфная	78.4	7.8	11.4	2.3	0.03	1.3	13.6	-16.8
2	ЗТ1/295вм	Аргиллит	То же	—	88.1	6.7	4.6	0.6	0.03	5.5	13.5	-16.9
3	ВСТ3/273	—	—	Пелитоморфная ступсовая	91.9	3.6	1.4	3.0	0.02	13.5	16.9	-13.6
4	ЗТ1/251а	Алевроаргиллит	Тогурская свита (J1t)	Тонкокристаллическая (фитоморфозы)	88.5	3.5	6.3	1.7	0.05	-8.7	16.8	-13.7
5	ЗТ1/267	Аргиллит	То же	Пелитоморфная микроглобулярная	81.2	7.4	9.8	1.5	0.03	0.2	15.2	-15.2
6	К16/03	—	—	Сферолитовая	90.5	5.3	3.6	0.4	0.09	3.6	17.6	-12.9
7	К16/10	—	—	Лепестковые сферолиты	87.6	6.5	2.8	2.8	0.17	-0.6	19.2	-11.3
8	К141/69	—	—	Пелитоморфная микроглобулярная	73.2	10.2	14.8	1.7	0.07	1.7	15.6	-14.8
9	ЮП-1/93	—	—	Пелитоморфная	89.1	1.7	3.3	5.9	0.01	8.0	17.7	-12.8
10	ЗС11/99	Алевропесчаник	Тюменская свита (J2b-bt)	Пелитоморфная (цемент)	71.6	5.5	21.1	1.8	0.01	-2.4	13.8	-16.6
11	Т258/48а	Песчанисто-алевритоглинистая порода	Кровля тюменской свиты (J2bt)	То же	74.8	11.6	11.0	2.4	0.08	-0.2	22.3	-8.3
12	Т258/48в	Алевропесчаник	Пахомовская пачка (J2bt-k)	То же	63.5	25.3	10.0	1.0	0.20	-1.7	24.2	-6.5
13	В4045/03	Песчанисто-алевритоглинистая порода	То же	То же	72.1	13.6	13.5	0.7	0.07	-0.5	24.4	-6.3
14	ЮК101/33	То же	—	Пелитоморфная и мелкосферолитовая	67.6	18.8	13.0	0.5	0.08	3.2	27.7	-3.1
15	В4045/01	Алевропесчаник	—	Пелитоморфная ступсовая	69.9	14.3	14.9	0.7	0.08	-0.4	24.4	-6.4
16	СП213/31	Глинисто-песчаная порода	—	Пелитоморфная	70.4	14.1	14.2	0.9	0.43	5.4	27.5	-3.3
17	УБ2002/96	Алевроаргиллит	—	—	71.3	18.8	9.4	0.4	0.13	2.5	27.3	-3.5
18	СМ38/39	Аргиллит	Нижнеасютганская подсвита (J2k)	Пелитоморфная микроглобулярная	53.7	33.4	8.5	4.0	0.29	-5.5	19.9	-10.7
19	Л5/50	—	То же	Пелитоморфная	66.6	7.3	23.3	2.7	0.10	5.5	21.5	-9.2
20	Р412/90	Алевроаргиллит	Верхнеасютганская подсвита (J3o)	Пелитоморфная ступсовая	80.2	5.8	11.6	2.4	0.03	4.5	23.4	-7.3
21	Р412/46	—	То же	То же	70.6	7.6	19.3	2.3	0.06	-0.8	19.9	-10.7

**Таблица 2.** Состав различных типов сидерита по данным микрозондового анализа, мас. %

**Table 2.** Composition of different types of siderite according to microprobe analysis, wt %

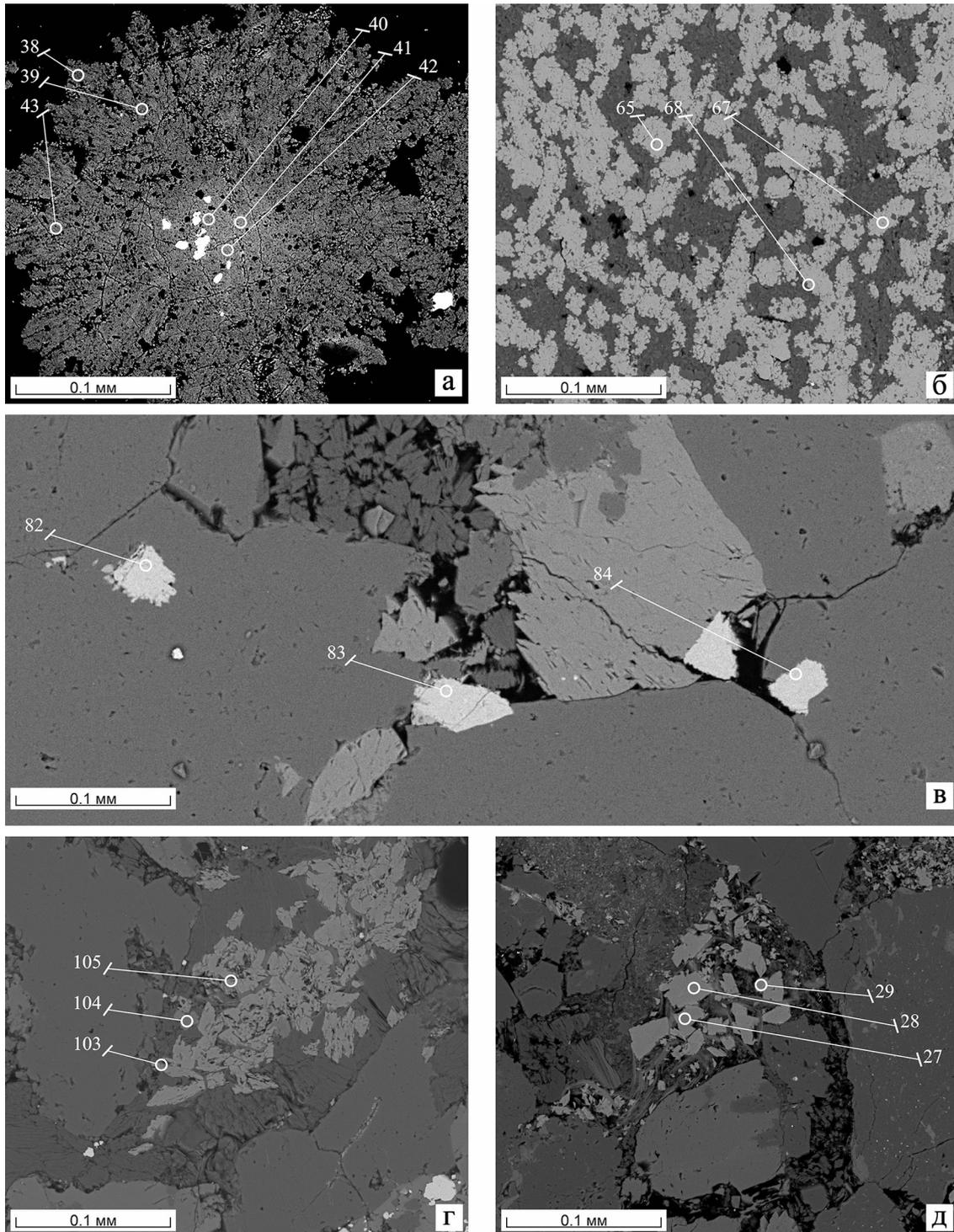
Образец	Тип сидерита	Привязка образца	Спектр	FeCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	MnCO <sub>3</sub>
K16/09	Микрокристаллический неправильно ромбоэдрический	Тогурская свита (J1t), континентальные	65	94.4	3.7	1.9	0.0
			67	94.1	3.8	1.7	0.4
			68	93.6	4.3	1.5	0.6
K16/03	Сферолиты (центральная часть)		40	97.4	1.8	0.0	0.8
			41	97.0	1.9	0.0	1.0
			42	96.3	2.6	0.0	1.1
K16/03	Сферолиты (радиально-лучистая часть)		38	95.4	2.7	1.6	0.4
			39	96.5	3.5	0.0	0.0
			43	91.1	4.0	4.3	0.6
BT194/13	Двух-трехлепестковые сферолиты	Верхневасюганская подсвита (J3ox); прибрежно-морские	82	95.0	2.2	0.0	2.8
			83	94.9	2.1	0.0	3.0
			84	91.2	3.0	0.0	5.8
	Микро- и тонкокристаллический неправильно ромбоэдрический		103	68.3	7.9	23.0	0.7
			104	67.5	7.8	24.0	0.8
105	67.6		11.7	19.7	0.9		
BT113/2	Микрокристаллический рисовидный		27	70.2	10.6	17.4	1.8
			28	71.8	9.7	17.1	1.4
			29	82.5	0.8	14.6	2.2

рисовидным или овсяным) сидерит в аргиллитах и песчаниках, а также сидерит, развивающийся по биотиту и некоторым литокластам. Есть и дискуссионные моменты по генезису некоторых форм западносибирского сидерита. В частности, в (Баженнов и др., 1994; Недоливко и др., 2001; и др.) отмечаются проявления наложенных эпигенетических сидеритов, образующихся в результате взаимодействия с продуктами окисления нефтей (т.е. влияние залежей УВ): сферолиты и прожилки сидерита в глинистой тогурской свите-флюидоупоре, выделения эпигенетического сидерита в песчаниках в зоне ВНК и др. Есть исследователи, отводящие ведущую роль гидротермальным процессам при формировании сидерита (Коробов, Коробова, 2014; Зубков, 2016, 2019). В этом случае, по мнению М.Ю. Зубкова, в последовательности формирования новообразованных аутигенных минералов, выделяющихся из гидротермальных растворов, карбонаты (кальцит, сидерит) отвечают третьему этапу, после формирования кварца, затем глинистых минералов (каолинит, диккит) и перед формированием сульфатов и сульфидов.

Генезис сидерита определяется его составом, изменчивость которого отмечена и в юрско-нижнемеловых отложениях Западной Сибири. Уже в работах Г.Н. Перозио (Перозио, Мандрикова, 1967; Перозио, 1971) показано, что диагенетические генерации Fe-карбоната представлены сидеритом и Са-сидероплезитом (повышенное содержание Mg), а более поздние генерации характеризуются

частым замещением Fe<sup>2+</sup> на Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и Mn<sup>2+</sup> и формированием Са- и Mn-Са-сидероплезитов и Са-пистомезитов. Н.М. Недоливко с соавторами (2001), детально изучавшие карбонаты в юрских отложениях юго-востока Западной Сибири, установили, что среди диагенетических сидеритов глинистых пород развиты Са-Mn- и Са-сидероплезиты и сидеродоты. В песчаниках развит диагенетический сидероплезит с повышенными, по сравнению с глинистыми породами, содержаниями Mg и пониженными – Са и Mn. Незначительно проявленный катагенетический сидерит представлен пистомезитом (обогащен Mg). В зонах влияния залежей УВ в процессе наложенного эпигенеза в глинистых породах формируется манганосидерит, а в песчаниках – пистомезит. На существенное различие состава сидеритов разного генезиса указывал и В.А. Баженнов с соавторами (1994). Изученные ими первично-осадочные пелитоморфные сидериты из глинистых отложений нижнетогурской тогурской свиты представлены сидеродотом, а вторичные сидериты, формирующие секущие прожилки, сферолиты (0.2–0.3 мм) и сферолитовые стяжения (до 10–12 мм), – манганосидеритами.

Как уже отмечалось, опубликованные данные изотопных исследований западносибирских сидеритов весьма немногочисленны. В первых работах по этой тематике (Галимов, 1968; Галимов, Мазур, 1972) отмечено, что сидерит отличается от других карбонатов более высокими значениями δ<sup>13</sup>C и более широким диапазоном их изменений, что, с учетом



**Рис. 3.** СЭМ-изображения разных типов сидерита.

а – радиально-лучистые сферолиты; б – “двух-трехлепестковые” сферолиты; в – тонко- и мелкокристаллический неправильно ромбоэдрический; г – микро- и тонкокристаллический рисовидный, развивающийся по поровому каолиниту; д – микро- и тонкокристаллический неправильно-ромбоэдрический, развивающийся по биотиту. Цифрами обозначены точки микрозондового анализа, результаты которого приведены в табл. 2.

**Fig. 3.** SEM images of different types of siderite.

а – radial-rayed spherulites; б – “two-three-petal” spherulites; в – fine-crystalline irregularly rhombohedral; г – micro-fine-crystalline rice-like developed in pore on kaolinite; д – micro-fine-crystalline irregularly rhombohedral developing on biotite. The numbers indicate the points of microprobe analysis, the results of which are given in Table 2.

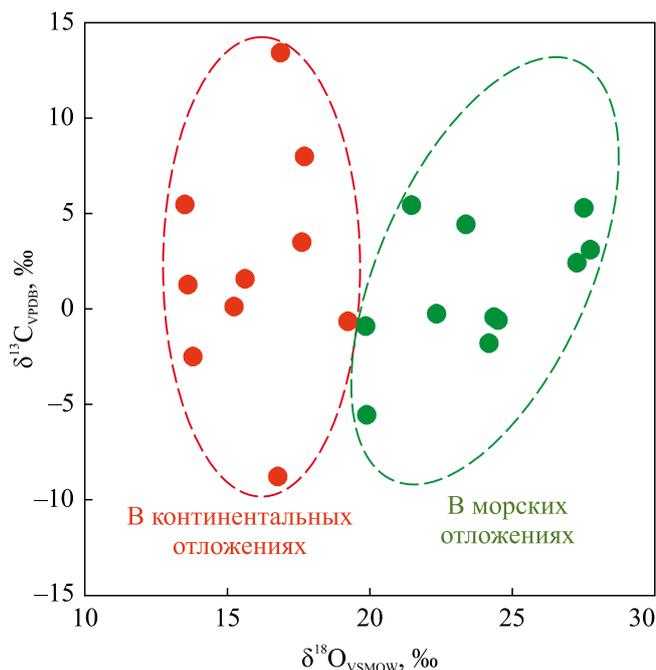


Рис. 4. Изотопный состав С и О для изученных сидеритов.

Fig. 4. Values  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta^{13}\text{C}$  for studied siderites.

его раннедиагенетического генезиса, делает этот минерал чувствительным индикатором условий формирования. Для исследованных сидеритов из верхнеюрско-нижнемеловых алевритоглинистых пород центральной части Западной Сибири указанными авторами определены значения  $\delta^{13}\text{C}$ , варьирующие от +0.7 до -0.95‰. Положительные значения привязаны к зоне хорошо аэрируемого шельфа, окислительным условиям, нормальной солёности. Отрицательные значения связаны с изменением редокс-обстановки в сторону восстановительных условий, повышения или понижения солёности. По данным авторов работы (Баженов и др., 1994), нижнетюарские “первично-осадочные сидериты” тогурской свиты с повышенным содержанием Са (сидеродоты) обогащены, по сравнению с вторичными, тяжёлым изотопом углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  от -5.8 до -3.9‰) и лёгким изотопом кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$  от +13.1 до +15.9‰). У вторичных манганосидеритов более лёгкий изотопный состав углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  от -9.4 до -6.4‰) и утяжелённый кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$  от +18.0 до +18.9‰) связаны, по мнению авторов, с влиянием залежей УВ.

Для более детально изученных сидеритов из мезозойских отложений северо-востока Русской плиты зафиксирован значительный разброс значений  $\delta^{13}\text{C}$  (от -19.8 до +2.8‰) и  $\delta^{18}\text{O}$  (от +5.4 до +30.6‰) (Ветошкина, 2005, 2006). При этом более ранняя генерация сидеритов континентальных и прибрежно-континентальных фаций характеризуется отри-

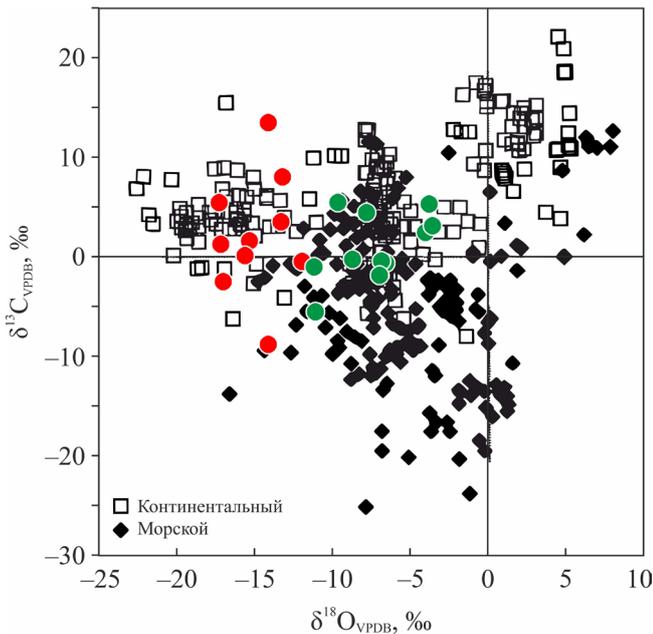
цательными значениями  $\delta^{13}\text{C}$ , а более поздняя генерация отличается утяжелённым углеродом. Автор объясняет это уменьшающимся вкладом органического  $\text{CO}_2$  в процессе диагенеза. Для сидеритов морских отложений установлена прямая зависимость утяжеления изотопного состава углерода и соотношения Mg/Ca, что согласуется со стадийностью сидеритообразования. Вариации значений  $\delta^{18}\text{O}$  отражают влияние изотопно-лёгкой метеорной воды и палеоклиматические изменения.

В обзорной работе P.S. Mozley, P. Wersin (1992), содержащей результаты исследований сидеритов разных возрастов и регионов мира, приведены вариации их изотопного состава:  $\delta^{13}\text{C}$  от -25 до +22‰ и  $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$  от -23 до +8‰. Авторы отмечают, что сидериты со значениями  $\delta^{13}\text{C}$  меньше -8‰ имеют, скорее всего, морское, а со значениями  $\delta^{18}\text{O}$  меньше -13‰ и положительными значениями  $\delta^{13}\text{C}$  – неморское происхождение. Появившиеся в последующие десятилетия данные в целом укладываются в указанный диапазон значений, а результаты исследований дают более глубокое понимание процессов, происходящих в диагенезе (Franchi et al., 2017; Tang et al., 2018; и др.). Для корректного сравнения полученных нами значений  $\delta^{18}\text{O}$  с данными из вышеупомянутого обзора диапазон вариаций  $\delta^{18}\text{O}$  в изученных сидеритах пересчитан из VSMOW в VPDB с использованием уравнения

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = 1.03091 \delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 30.91,$$

представленного в оригинальной работе (Coplen et al., 1983) (см. табл. 1 и рис. 5). Как видно, расположение точек изученных проб на диаграмме Mozley–Wersin в целом соответствует установленным трендам.

Суммируя результаты выполненных исследований, отметим несколько моментов. Сидериты, являющиеся весьма распространёнными минералами в терригенно-глинистых мезозойских отложениях Западной Сибири, до сих пор остаются слабоизученными. Образуются в разных условиях и на разных стадиях литогенеза под воздействием целого ряда факторов, они характеризуются широким спектром структурно-минералогических разновидностей и обладают значительным диапазоном содержания изоморфных примесей Са, Mg, Mn. Комплексные исследования позволили рассмотреть петрографические, геохимические и изотопные характеристики сидеритов из разнофациальных юрско-нижнемеловых отложений и сделать выводы относительно закономерностей их изменения в зависимости от генезиса минерала. Установлено, что среди них преобладает сидерит с пелитоморфной, реже глобулярной структурой, в меньшей степени распространены микро-, тонкокристаллический и сферолитовый сидериты. В пахомовской пачке отмечены кальцит-сидеритовые оолиты. По изотопно-геохимическим данным до-



**Рис. 5.** Изотопный состав С и О для изученных сидеритов в сопоставлении с литературными данными, по (Mozley, Wersin, 1992).

Красные точки – континентальные отложения, зеленые – морские отложения.

**Fig. 5.** Values  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta^{13}\text{C}$  for the studied siderites compared with the known data, according to (Mozley, Wersin, 1992).

Red dots – continental sediments, green – marine sediments.

вольно четко проявились различия группы “морских” и группы “континентальных” сидеритов. Сидериты континентальных отложений более чистые по химическому составу, характеризуются в целом более тяжелым изотопным составом углерода и более легким – кислорода по сравнению с прибрежно- и мелководно-морскими.

Очевидно, что дальнейшее изучение этого минерала будет способствовать большей востребованности его при реконструкциях условий седиментогенеза в первую очередь алевритоглинистых угленосных толщ. При изучении структурно-морфологических разновидностей сидерита установлено изменение их состава: ранние генерации характеризуются более чистым составом, поздние – повышенным содержанием Са, Мп и Мг. Эту закономерность можно использовать при проведении стадийного анализа вмещающих пород.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антошкина А.И., Рябинкина Н.Н., Валяева О.В. (2017) Генезис сидеритовых конкреций из терригенной толщи нижнего карбона на Приполярном Урале. *Литология и полез. ископаемые*, 17(2), 130-144.

- Баженов В.А., Недоливко Н.М., Симанова И.Г. (1994) Вторичное минералообразование в покрывках месторождений УВ. *Геология и геофизика*, (10), 61-66.
- Вакуленко Л.Г., Ян П.А., Бурлева О.В., Эдер В.Г. (2008) Литологическая характеристика базальных пластов в бат-верхнеюрском разрезе Западной Сибири. *Био- и литостратиграфические рубежи в истории Земли*. Тр. Междунар. науч. конф. Тюмень, 128-135.
- Ветошкина О.С. (2006) Сидерит мезозойских отложений Нижневыхгодской впадины. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 20 с.
- Ветошкина О.С. (2005) Сидеритовая минерализация биогенных комплексов Нижневыхгодской впадины севера Русской плиты. *Вестн. Ин-та геол. Коми НЦ УрО РАН*, (4), 23-27.
- Гаврилов Ю.О. (1982) Диагенетические преобразования в глинистых отложениях. М.: Наука, 100 с.
- Галимов Э.М. (1968) Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 224 с.
- Галимов Э.М., Мазур В.М. (1972) Связь изотопного состава углерода сидеритов с фациальной характеристикой отложений и условиями существования фауны (на примере верхнеюрских и нижнемеловых пород Западной Сибири). *Изв. вузов. Геология и разведка*, (10), 26-32.
- Гептнер А.Р., Петрова В.В., Фан Донг Ф., Нгуен Хуан Х., Ле Тхи Н. (2016) Пластовые сидериты пресноводных неогеновых отложений Вьетнама. *Литология и полез. ископаемые*, (2), 150-167.
- Зубков М.Ю. (2016) Тектоногидротермальные процессы в юрских отложениях Западно-Сибирского бассейна. *Горн. ведомости*, 9(148), 30-56.
- Зубков М.Ю. (2019) Тектоногидротермальные процессы в меловых отложениях Западно-Сибирского бассейна. *Геология нефти и газа*, (1), 7-26.
- Коробов А.Д., Коробова Л.А. (2014) Флюидодинамический режим рифтогенных бассейнов и сопряженный эпигенез – ключ к прогнозу продуктивных коллекторов чехла. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, (4), 29-38.
- Македонов А.В. (1986) Историко-геологическая эволюция конкрециеобразования. *Конкреции и конкреционный анализ докембрия*. Л.: ВСЕГЕИ, 3-6.
- Недоливко Н.М., Жуковская Е.А., Баженов В.А. (2001) Карбонаты в юрских отложениях юго-восточной части Нюрольской впадины (Томская область). *Геология и геофизика*, 42(3), 491-501.
- Нежданов А.А. (1984) Маркирующие горизонты в продуктивных отложениях мезозоя Западной Сибири. *Выделение и корреляция основных стратонев мезозоя Западной Сибири*. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 97-106.
- Перозин Г.Н. (1971) Эпигенез терригенных осадочных пород Западно-Сибирской низменности. М.: Недра, 159 с.
- Перозин Г.Н., Мандрикова Н.Т. (1967) Геохимия малых элементов в карбонатный этап начального эпигенеза. *Вопросы литологии и геохимии Сибири*. Новосибирск: СНИИГГиМС, 102-114.
- Пешехонов Л.В. (1975) К характеристике текстурно-структурных особенностей юрских сидеритов как возможных индикаторов степени диагенеза (на примере нефтегазоносных отложений Томской области).

*Изв. Томск. политехн. ин-та*, **297**, 50-53.

- Расулов А.Т. (2006) Поликомпонентные карбонатные конкреции нового типа и их происхождение. *Литосфера*, (4), 175-183.
- Теодорович Г.И. (1958) Аутигенные минералы осадочных пород. М.: Изд-во АН СССР, 226 с.
- Тимофеева З.В. (1963) Фациально-геохимические условия образования диагенетических сидеритовых руд. *Литология и полез. ископаемые*, (1), 88-107.
- Феофилова А.И. (1972) Конкреции в ископаемых почвах пермо-карбонных отложений Донецкого бассейна и их связь с климатом. *Литология и полез. ископаемые*, (5), 67-74.
- Coplen T., Kendall C., Hoppole J. (1983) Comparison of stable isotope reference samples. *Nature*, **302**, 236-238.
- Curtis C.D., Spears D.A. (1968) The formation of sedimentary iron minerals. *Econ. Geol.*, **63**(3), 257-270.
- Franchi F., Rovere M., Gamberi F., Rashed H., Vaselli O., Tassi F. (2017) Autigenic minerals from the Paola Ridge (southern Tyrrhenian Sea): Evidences of episodic methane seepage. *Marine Petrol. Geol.*, **86**, 228-247.
- Krajewski K.P., Gonzhurov N.A., Laiba A.A., Tatur A. (2010) Early diagenetic siderite in the Panorama Point Beds (Radok Conglomerate, Early to Middle Permian), Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Polish Polar Res.*, **31**(2), 169-194.
- Ludvigson G.A., González L.A., Metzger R.A., Witzke B.J., Brenner R.L., Murillo A.P., White T.S. (1998) Meteoric sphaerosiderite lines and their use for paleohydrology and paleoclimatology. *Geology*, **26**(11), 1039-1042.
- Mozley P.S., Wersin P. (1992) Isotopic composition of siderite as an indicator of depositional environment. *Geology*, **20**(9), 817-820.
- Tang D., Shi X., Jiang G., Wu T., Ma J., Zhou X. (2018) Stratiform siderites from the Mesoproterozoic Xiamaling Formation in North China: Genesis and environmental implications. *Gondw. Res.*, **58**, 1-15.
- Ufnar L.F., Gonzalez L.A., Ludvigson G.A., Brenner R.L., Witzke B.J. (2004) Diagenetic Overprinting of the Sphaerosiderite Palaeoclimate Proxy: Are Records of Pedogenic Groundwater  $\delta^{18}\text{O}$  Values Preserved? *Sedimentology*, **51**(1), 127-144.
- Ufnar L.F., Gonzalez L.A., Ludvigson G.A., Brenner R.L., Witzke B.J. (2001) Stratigraphic Implications of Meteoric Sphaerosiderite  $\delta^{18}\text{O}$  Values in paleosols of the Cretaceous (Albian) Boulder Creek formation, NE British Columbia Foothills, Canad. *J. Sediment. Res.*, **71**(6), 1017-1028.
- Feofilova A.P. (1972) Concretions in fossil soils of Permian-Carboniferous deposits of the Donetsk basin and their relationship with the climate. *Litol. Polez. Iskop.*, (5), 67-74. (In Russ.)
- Franchi F., Rovere M., Gamberi F., Rashed H., Vaselli O., Tassi F. (2017) Autigenic Minerals from the Paola Ridge (Southern Tyrrhenian Sea): Evidences of Episodic Methane Seepage. *Marine Petrol. Geol.*, **86**, 228-247.
- Galimov E.M. (1968) Geochemistry of stable carbon isotopes. Moscow, Nedra Publ., 224 p. (In Russ.)
- Galimov E.M., Mazur V.M. (1972) The relationship of the carbon isotope composition of siderites with the facies characteristics of sediments and the conditions of fauna existence (using the example of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous rocks of Western Siberia). *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Geologiya i Razvedka*, (10), 26-32. (In Russ.)
- Gavrilov Yu.O. (1982) Diagenetic transformations in clay deposits. Moscow, Nauka Publ., 100 p. (In Russ.)
- Heptner A.R., Petrova V.V., Fan Dong F., Nguyen Huang H., Le Thi N. (2016) Siderite layers in the fresh-water neogene sediments of Vietnam. *Lithol. Miner. Res.*, (2), 150-167.
- Korobov A.D., Korobova L.A. (2014) The fluidodynamic regime of rift basins and conjugate epigenesis are the key to predicting productive reservoirs of the sedimentary cover. *Geologiya, Geofizika i Razrabotka Neftnykh Mestorozhdenii*, (4), 29-38. (In Russ.)
- Krajewski K.P., Gonzhurov N.A., Laiba A.A., Tatur A. (2010) Early diagenetic siderite in the Panorama Point Beds (Radok Conglomerate, Early to Middle Permian), Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Polish Polar Res.*, **31**(2), 169-194.
- Ludvigson G.A., González L.A., Metzger R.A., Witzke B.J., Brenner R.L., Murillo A.P., White T.S. (1998) Meteoric sphaerosiderite lines and their use for paleohydrology and paleoclimatology. *Geology*, **26**(11), 1039-1042.
- Makedonov A.V. (1986) Historical and geological evolution of concretion formation. *Concretions and concretion analysis of the Precambrian*. Leningrad, VSEGEI Publ., 3-6. (In Russ.)
- Mozley P.S., Wersin P. (1992) Isotopic composition of siderite as an indicator of depositional environment. *Geology*, **20**(9), 817-820.
- Nedolivko N.M., Zhukovskaya E.A., Bazhenov V.A. (2001) Carbonates in Jurassic sediments of the southeastern part of the Nyrol depression (Tomsk Region). *Geol. Geofiz.*, **42**(3), 491-501. (In Russ.)
- Nezhdanov A.A. (1984) Marking horizons in Mesozoic productive sediments of the Western Siberia. *Isolation and correlation of the main strata of the Mesozoic of Western Siberia*. Tyumen, ZapSibNIGNI Publ., 97-106. (In Russ.)
- Perozio G.N. (1971) Epigenesis of terrigenous sedimentary rocks of the West Siberian Lowland. Moscow, Nedra Publ., 159 p. (In Russ.)
- Perozio G.N., Mandrikova N.T. (1967) Geochemistry of trace elements in the carbonate stage of initial epigenesis. *Issue of Lithology and Geochemistry of Siberia*. Novosibirsk, SNIGGiMS Publ., 102-114. (In Russ.)
- Peshekhonov L.V. (1975) On the characterization of textural and structural features of Jurassic siderites as possible indicators of the degree of diagenesis (on the example of oil and gas deposits of the Tomsk region). *Izv. Tomsk.*

## REFERENCES

- Politekhn. Instituta*, **297**, 50-53. (In Russ.)
- Rasulov A.T. (2006) Polycarbonate carbonate concretions of a new type and their origin. *Lithosphere (Russia)*, (4), 175-183. (In Russ.)
- Tang D., Shi X., Jiang G., Wu T., Ma J., Zhou X. (2018) Stratiform siderites from the Mesoproterozoic Xiamaling Formation in North China: Genesis and environmental implications. *Gondw. Res.*, **58**, 1-15.
- Teodorovich G.I. (1958) Autigenic minerals of sedimentary rocks, Moscow, Izd-vo AN SSSR, 226 p. (In Russ.)
- Timofeeva Z.V. (1963) Facial-geochemical conditions of formation of diagenetic siderite ores. *Litol. Polez. Iskop.*, (1), 88-107. (In Russ.)
- Ufnar L.F., Gonzalez L.A., Ludvigson G.A., Brenner R.L., Witzke B.J. (2004) Diagenetic overprinting of the sphaerosiderite palaeoclimate proxy: are records of pedogenic groundwater  $\delta^{18}\text{O}$  values preserved. *Sedimentology*, **51**(1), 127-144.
- Ufnar L.F., Gonzalez L.A., Ludvigson G.A., Brenner R.L., Witzke B.J. (2001) Stratigraphic implications of meteoric sphaerosiderite  $\delta^{18}\text{O}$  values in paleosols of the cretaceous (albian) Boulder Creek formation, NE British Columbia Foothills, Canad. *J. Sediment. Res.*, **71**(6), 1017-1028.
- Vakulenko L.G., Yan P.A., Burleva O.V., Eder V.G. (2008) Lithological characteristics of basal strata in the Bath-Upper Jurassic section of Western Siberia. *Bio- and lithostratigraphic frontiers in the history of the Earth. Proceedings of the International Scientific Conference. Tyumen*, 128-135.
- Vetoshkina O.S. (2005) Siderite mineralization of biogenic complexes of the Nizhnevychegodsky depression of the north of the Russian Plate. *Vestn. Instituta Geologii Komi NTs UrO RAN*, (4), 23-27. (In Russ.)
- Vetoshkina O.S. (2006) Siderite of Mesozoic deposits of the Nizhnevychegodskaya depression. Extended abstract of Cand. Sci. Diss. Syktyvkar, IG Komi NTs UrO RAN, 20 p. (In Russ.)
- Zubkov M.Yu. (2019) Tectonic-hydrothermal processes in Cretaceous sediments of the West Siberian basin. *Geologiya Nefti i Gaza*, (1), 7-26. (In Russ.)
- Zubkov M.Yu. (2016) Tectonic-hydrothermal processes in Jurassic sediments of the West Siberian basin. *Gorn. Vedomosti*, **9**(148), 30-56. (In Russ.)