

УДК 551.763.1:551.583.7(571.1)  
doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-6-42-50

## ПЕРВЫЕ НАХОДКИ ГЛЕНДОНИТОВ В ВЕРХНЕЮОРСКО-НИЖНЕМЕЛОВОЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЕ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ, ФРОЛОВСКАЯ МЕГАВПАДИНА) И ИХ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Ксения Юрьевна Васильева<sup>1</sup>✉, Михаил Алексеевич Рогов<sup>2</sup>,  
Иван Владимирович Панченко<sup>3</sup>, Виктор Александрович Захаров<sup>4</sup>,  
Виктория Бэртовна Ершова<sup>5</sup>, Юрий Артурович Гатовский<sup>6</sup>,  
Евгения Валерьевна Мокрушина<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия; Геологический институт РАН, Москва, Россия; k.vasilyeva@spbu.ru✉, <https://orcid.org/0000-0001-7766-5674>

<sup>2</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия; [russianjurassic@gmail.com](mailto:russianjurassic@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3302-4709>

<sup>3</sup> ЗАО «Моделирование и мониторинг геологических объектов им. В.А. Двуреченского»; Геологический институт РАН, Москва, Россия; [ivpanchenko89@gmail.com](mailto:ivpanchenko89@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2661-875X>

<sup>4</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия; [mzarctic@gmail.com](mailto:mzarctic@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4506-824X>

<sup>5</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия; Геологический институт РАН, Москва, Россия; [v.ershova@spbu.ru](mailto:v.ershova@spbu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9661-1708>

<sup>6</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; [ustas62@bk.ru](mailto:ustas62@bk.ru)

<sup>7</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия; Геологический институт РАН, Москва, Россия; [evgenya.mokruschina@yandex.ru](mailto:evgenya.mokruschina@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье описываются первые находки глендонитов (псевдоморфозы по минералу икаиту, кристаллизующемуся при низких придонных температурах) из баженовской свиты (Западная Сибирь, верхняя юра — нижний мел). Глендониты происходят из пониженных структур центральной части Фроловской мегавпадины, что соотносится с развитием наиболее глубоководных областей Западно-Сибирского палеоморя. Находки этих псевдоморфоз получили надежную стратиграфическую привязку и происходят из интервала рязанского яруса. Согласно результатам исследования стабильных изотопов кислорода и углерода исходный минерал — икаит — кристаллизовался и трансформировался в результате разложения органического вещества и сульфат-редукции в придонных осадках. Предполагается, что появление глендонитов связано с проникновением придонных холодных течений из палеоарктического бассейна из-за колебаний уровня моря в рязанское время.

**Ключевые слова:** баженовская свита, рязанский ярус, Западная Сибирь, палеогеография, глендониты, стабильные изотопы, диагенез

**Для цитирования:** Васильева К.Ю., Рогов М.А., Панченко И.В., Захаров В.А., Ершова В.Б., Гатовский Ю.А., Мокрушина Е.В. Первые находки глендонитов в верхнеюорско-нижнемеловой баженовской свите (Западная Сибирь, Фроловская мегавпадина) и их палеогеографическое значение // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 6. С. 42–50.

## THE FIRST FINDS OF GLENDONITES IN THE UPPER JURASSIC — LOWER CRETACEOUS BAZHENOV FORMATION (WEST SIBERIA, FROLOVSKAYA MEGADEPRESSION) AND THEIR PALEOGEOGRAPHICAL SIGNIFICANCE

Kseniya Yu. Vasileva<sup>1</sup>✉, Mikhail A. Rogov<sup>2</sup>, Ivan V. Panchenko<sup>3</sup>, Victor A. Zakharov<sup>4</sup>,  
Victoriya B. Ershova<sup>5</sup>, Yuri A. Gatovsky<sup>6</sup>, Evgeniya V. Mokrushina<sup>7</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg University, Saint Petersburg, Russia; RAS Geological Institute, Moscow, Russia; [k.vasilyeva@spbu.ru✉](mailto:k.vasilyeva@spbu.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7766-5674>

<sup>2</sup> RAS Geological Institute, Moscow, Russia; [russianjurassic@gmail.com](mailto:russianjurassic@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-3302-4709>

<sup>3</sup> Closed Joint-Stock Company Modeling and monitoring of geological objects named after V.A. Dvurechensky, Moscow, Russia; RAS Geological Institute, Moscow, Russia; [ivpanchenko89@gmail.com](mailto:ivpanchenko89@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2661-875X>

<sup>4</sup> RAS Geological Institute, Moscow, Russia; [mzarctic@gmail.com](mailto:mzarctic@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4506-824X>

<sup>5</sup> St. Petersburg University, Saint Petersburg, Russia; RAS Geological Institute, Moscow, Russia; [v.ershova@spbu.ru](mailto:v.ershova@spbu.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9661-1708>

<sup>6</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; [ustas62@bk.ru](mailto:ustas62@bk.ru)

<sup>7</sup> St. Petersburg University, Saint Petersburg, Russia; RAS Geological Institute, Moscow, Russia; [evgenya.mokruschina@yandex.ru](mailto:evgenya.mokruschina@yandex.ru)

**Abstract.** The article describes the first findings of glendonites (pseudomorph after calcium carbonate hexahydrate ikaite that crystallize at near-freezing temperatures) from the Bazhenovo Formation (West Siberia, Upper Jurassic — Lower Cretaceous). Glendonites originate from the depressed structures of the central part of the Froly

megadepression and the deepest areas of the West Siberian paleobasin. Glendonite findings have received a reliable stratigraphic reference and come from the interval of the Ryazanian regional stage. Based on the stable isotopes composition, we propose ikaite crystallized and transformed during organoclastic sulfate-reduction in the bottom sediments. Ikaite crystallization could have been caused by the penetration of bottom cold currents from the Paleoarctic basin due to sea level fluctuations during the Ryazanian stage.

**Keywords:** Bazhenovo Formation, Ryazanian stage, West Siberia, paleogeography, glendonites, stable isotopes, diagenesis

**For citation:** Vasileva K.Yu., Rogov M.A., Panchenko I.V., Zakharov V.A., Ershova V.B., Gatovsky Yu.A., Mokrushina E.V. The first finds of glendonites in the Upper Jurassic — Lower Cretaceous Bazhenov formation (West Siberia, Frolovskaya megadepression) and their paleogeographical significance. *Moscow University Geol. Bull.* 2024; 6: 42–50. (In Russ.).

**Введение.** Глендониты — псевдоморфозы по метастабильному минералу икаиту ( $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) — многие десятилетия привлекают внимание седиментологов и специалистов по палеогеографии [Frank, et al., 2008; Vickers, et al., 2018; Counts, et al., 2024]. Это связано с тем, что икаит в природных условиях находят при низких придонных температурах (ниже 7 °C), при повышении температуры этот минерал дегидратируется и может сохраняться в ископаемом состоянии, только если происходит его быстрое замещение на кальцит (таким образом образуется псевдоморфоза — глендонит). После трансформации икаита в кальцит, глендонит может подвергаться ряду минеральных замещений, в основном окремнению и доломитизации [Mikhailova, et al., 2019; Vasileva, et al., 2021]. Находки глендонитов отмечены на разных стратиграфических уровнях и в широком диапазоне обстановок осадконакопления [Rogov, et al., 2023]; в современных обстановках икаит обнаруживают только при низких температурах придонных вод, что дает возможность использовать глендониты как индикаторы холодноводных придонных обстановок прошлого [Каплан, 1979; Vickers, et al., 2019; Schultz, et al., 2023]. Таким образом, изучение распределения глендонитов в осадочных толщах представляется важной задачей при интерпретации палеогеографических и палеоклиматических условий осадконакопления.

В юрских и меловых отложениях глендониты — обычные находки в разрезах Северного полушария, однако их географическое и стратиграфическое распространение неравномерно [Rogov, et al., 2023]. Реже всего они отмечаются в интервале волжского и рязанского возраста, что хорошо согласуется с потеплением в самом конце юры, которое фиксируется по данным изучения изотопного состава кислорода в раковинах моллюсков высоких широт Северного полушария [Price, Mutterlose, 2004; Price, Rogov, 2009; Дзюба и др., 2018; Рогов и др., 2019; Vickers, et al., 2022].

Глендониты из рязанских отложений<sup>1</sup> единично встречаются в яновстанской свите на Западном Таймыре, где они происходят из параметрической скважины Новоякимовская-1 [Оленова и др., 2023; Рогов и др., 2024б], на северо-востоке Сибирской

платформы [Rogov, et al., 2017] и в Арктической Канаде [Rogov, et al., 2023]. Примечательно, что в Западной Сибири глендониты из волжского и рязанского интервалов до сих пор не были известны. В настоящей работе приводятся данные по стратиграфии, минеральному составу и изотопии первых находок глендонитов в черных сланцах баженовской свиты в пределах центральной части Фроловской мегавпадины (центральная часть Западной Сибири).

**Геология региона и литологическая характеристика изученного разреза.** Высокоуглеродистая карбонатно-глинисто-силицитовая баженовская свита Западной Сибири и ее стратиграфические аналоги подробно изучены по материалам бурения и сейсмического профилирования и описаны в многочисленных публикациях [Филина и др., 1984; Брадучан и др., 1986; Захаров, 2006; Панченко и др., 2016; Гилаев и др., 2018]. Эти отложения накапливались в течение длительного периода: от кимериджского до ранневаланжинского времени и покрывали большую часть Западно-Сибирской плиты. При этом они имеют относительно небольшую мощность — 20–60 м, в среднем около 30 м. В изученном районе Фроловской мегавпадины они охватывают баженовский и куломзинский горизонты (нижневолжский подъярус — рязанский ярус). Несмотря на присутствующую латеральную неоднородность баженовской свиты [Брадучан и др., 1986], в ней выделяется типовая последовательность пачек [Панченко и др., 2022]: нижние пачки 1, 2а, 2б и 3 сложены силицитами и радиоляритами малоглинистыми (2–20 объемных %) углеродистыми ( $\text{C}_{\text{opr}}$  1–20 массовых %), которые различаются текстурами, содержанием  $\text{C}_{\text{opr}}$  и наличием включений. В частности, линзовидные прослои фосфоритов содержатся в пачках 1 и 2а, скопления двустворок характерны для пачки 2а, а линзовидный пирит типичен для пачек 1, 2а и 3. Пачка 2б — это наиболее кремневый интервал баженовской свиты, насыщенный скелетами радиолярий, а пачка 3 — линзовидные радиоляриты в высокоуглеродистой глинисто-силицитовой массе. Вышележащие пачки 4а и 4б сложены однородными и очень тонкокислыми силицитами глинистыми (10–25 об.%) высокоуглеродистыми ( $\text{C}_{\text{opr}}$  10–30 масс. %), при этом в основной их тонкодисперсной массе практически отсутствует карбонат. Пачка 4а характеризуется однородностью состава и минимальным количеством включений, 4б — всегда насыщена раковинами ино-

<sup>1</sup> В работе для пограничного интервала юры и мела используются волжский и рязанский ярусы [Рогов и др., 2024а].

церамов (двустороки). Вышележащие пачки 5а и 5б содержат непостоянное, но заметное количество нанопланктона (кокколитофориды), который здесь выполняет породообразующую функцию. Низы пачки 5а маркируют достаточно обильные находки раковин двусторок *Buchia* в малокарбонатных отложениях, а выше по разрезу карбонатность нелинейно растет, вплоть до появления известняков. Пачка 5б — существенно глинистые кокколитофоридовые силициты. В тонких слойках пачек 5а и 5б регулярно меняется преобладание одного из компонентов: глин, кальцита и кремневого материала, что затрудняет систематику этих пород. Верхние пачки ба и 6б — наиболее глинистый интервал баженовского разреза с переходными по отношению к вышележащим отложениям свойствами. Для них характерно практически полное отсутствие карбонатного материала, высоко значимая и часто преобладающая роль глин (40–50 об.%) при высоких концентрациях ОВ ( $C_{\text{опр}}$  10–30 масс.%).

Пачки с 1 до 4а относятся к волжскому ярусу верхней юры, иноцерамовая пачка 4б занимает пограничное верхневолжско-нижнерязанское положение, вышележащие кокколитофоридовые пачки 5а и 5б отвечают рязанскому ярусу нижнего мела, при этом местами пачка 5б датируется самыми низами валанжина [Решения..., 2004; Панченко и др., 2016, 2022]. Пачки ба и 6б имеют ранневаланжинский возраст.

**Материалы и методы исследования.** Материалом для исследования послужили 14 образцов каменного материала из керна скважины, пробуренной в пределах Приобского месторождения (центральная часть Фроловской мегавпадины). Изученный керн по литолого-стратиграфической привязке характеризует верхи пачки 4б (высоуглеродистые силициты с иноцерамами) и пачку 5а (кокколитофоридовые силициты с бухиями) баженовской свиты (рис. 1). При этом, в изученной скважине стоит отметить нетипично высокую насыщенность карбонатным материалом пачки 5а. По остаткам макрофауны удалось выполнить сравнительно точную биостратиграфическую привязку изученного интервала. Макрофауна в основном представлена фрагментами ядер двусторок и аммонитов.

Глендониты обнаружены в трех образцах (Ф9, Ф10 и Ф15 на рис. 1). Петрографические и катодолюминесцентные описания глендонитов были сделаны на микроскопе Olympus BX53 с приставкой для холодной катодолюминесценции CITL5 Cambridge Technology (на базе Кафедры региональной геологии Санкт-Петербургского государственного университета); для проб из вмещающей глендонит породы (валовая проба), раковин двусторок (не определимые из-за плохой сохранности) и валовых проб глендонитов из образцов Ф9, Ф10, Ф15 были проведены также изотопные исследования (Лаборатория изотопного и элементного анализа Казанского федерального университета, масс-спектрометр Delta

V Plus Thermo Fisher Scientific, Германия, с приставкой GasBench II для анализа карбонатов методом обработки кислотой, аналитическая точность измерений  $\pm 0,2\%$ ), нормализация проб осуществлялась на стандарт Vienna PeeDee Belemnite (‰ V-PDB).

**Результаты исследований. Обоснование возраста изученного разреза.** Нами были изучены остатки моллюсков, встреченные совместно с глендонитами в нижней половине охарактеризованного керном интервала (глубина 2848,4–2654,3 м, рис. 1). Преобладают находки двусторчатых моллюсков, характерных для баженовской свиты, — *Buchia* и *Inoceramus* (рис. 2). Сохранность позволяет определить эти экземпляры только в открытой номенклатуре, но это, тем не менее, дает возможность определить возраст интервала. Иноцерамиды, за исключением единственного экземпляра, могут быть определены только до рода. В Западной Сибири *Inoceramus* распространены преимущественно интервале от верхневолжского подъяруса до низов верхнерязанского подъяруса, и массово встречаются в нижнерязанском подъярусе [Панченко и др., 2016; 2022]. В частности, в баженовской свите их наибольшие скопления приурочены к «иноцерамовой» пачке 4б поздневолжско-раннерязанского возраста [Панченко и др., 2022]. Бухии представлены видами, которые встречаются преимущественно в нижнерязанском подъярусе: *Buchia* ex gr. *volgensis* (Lahusen), *B.* ex gr. *fischeriana* (d'Orb.), *B.* ex gr. *okensis* (Pavlow), *B.* ex gr. *unschensis* (Pavlow). Близкий комплекс, представленный *B. volgensis*, *B. okensis* и *B. fischeriana* был недавно описан из верхней части нижнерязанского подъяруса скв. Новоякимовская-1 [Рогов и др., 2024б]. Распространение *B. okensis* и *B. volgensis* ограничено пограничным интервалом нижне- и верхнерязанского подъярусов [Zakharov, 1987; Захаров, 1990], вид *B. unschensis* присутствует в верхах волжского-низах рязанского яруса, где он отмечается до кровли бухиазоны *Okensis* [Захаров, 1990]. В баженовской свите наиболее частая встречаемость раковин бухий повсеместно отмечается в низах пачки 5а [Панченко и др., 2015]. На двух стратиграфических уровнях встречены крючья рук колеоидей *Onychites* (рис. 1), не имеющие стратиграфического значения. Наибольший интерес для обоснования возраста представляет находка фрагмента аммонита (глубина 2651,30 м). По сочетанию преимущественно двураздельных, наклоненных в сторону устья ребер и широкого умбиликуса этот образец относится к роду *Surites*. Он напоминает вид *S. subanalogus* Schulgina, распространенный от верхней части зоны Kochi до кровли зоны *Analogus* [Игольников, 2006]. Но сохранность образца, при которой невозможно установить форму поперечного сечения оборотов, не исключает возможности отнесения этой находки к *S. praeanalogus* Alekseev, распространенным только в зоне Kochi. Таким образом, встреченный в керне изученной скважины комплекс моллюсков позволяет определить возраст охарактеризованно-

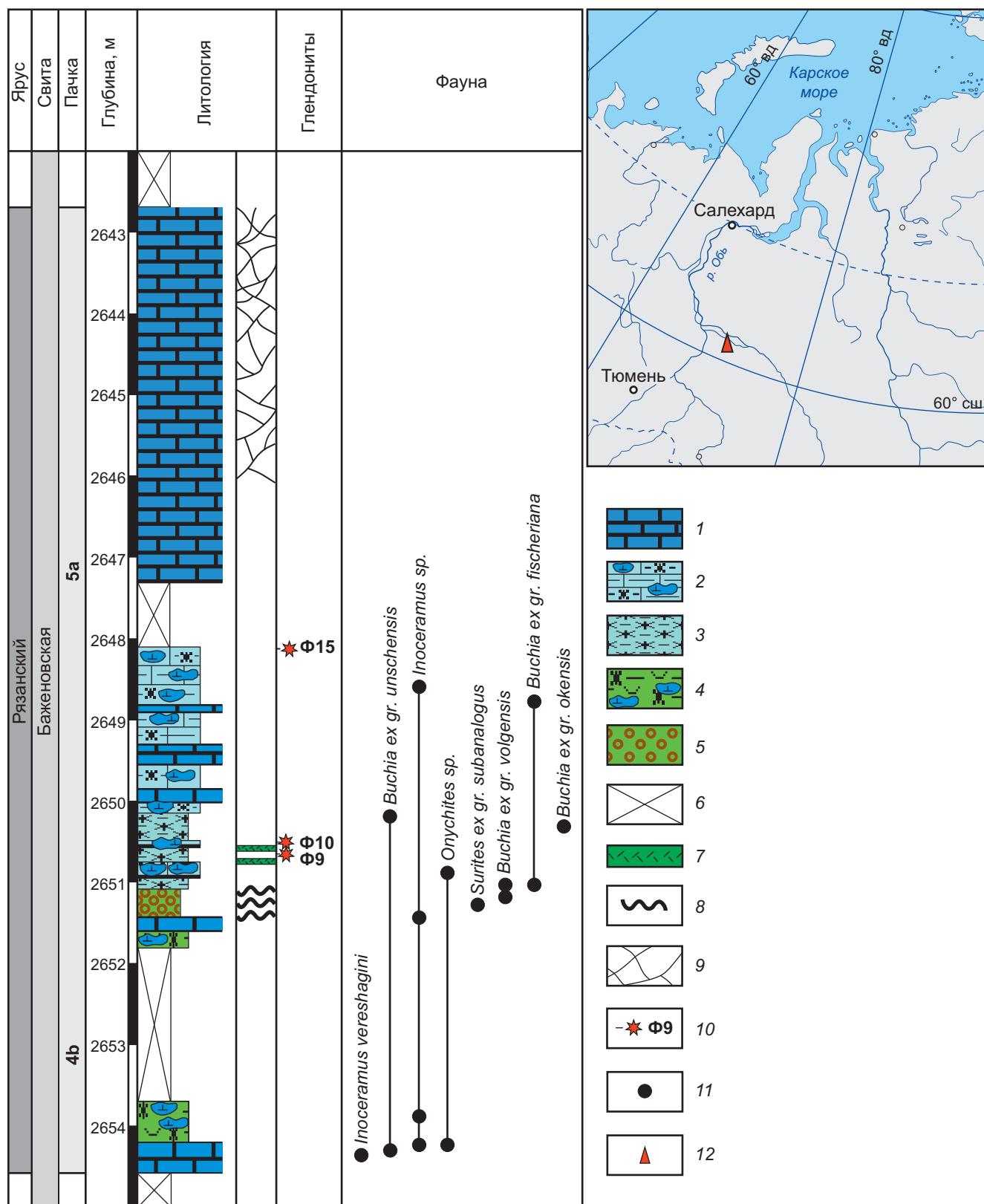


Рис. 1. Лито- и биостратиграфическая привязка изученного интервала и положение изученных глендонитов. 1 — известняки различного генезиса; 2, 3 — тонкое переслаивание силицитов кокколитофоридовых углеродистых с известняками глинисто-кремнистыми углеродистыми (2 — с многочисленными и разнообразными карбонатными нодулями, 3 — практически без нодулей); 4 — силициты высокоуглеродистые глинистые с иноцерамами и известковыми нодулями; 5 — интервал развития силицитов с альлохтонными скоплениями ихтиодетрита; 6 — пропуски в отборе керна; 7 — тонкие (мм) прослои измененных пепловых туфов [Панченко и др., 2022]; 8 — эрозионные границы и слойки с перемытым материалом; 9 — разнонаправленные трещины; 10 — положение в разрезе образцов с изученными глендонитами; 11 — места находок макрофaуны (головоногие и двустворчатые моллюски); 12 — расположение изученной скважины

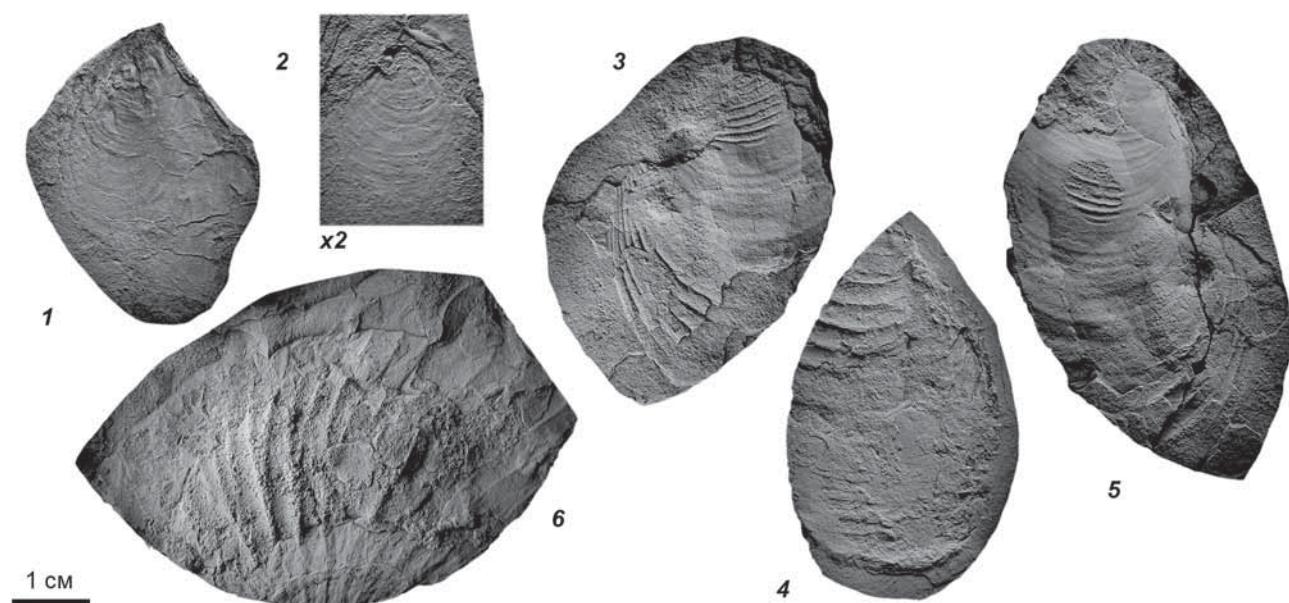


Рис. 2. Остатки моллюсков из изученной скважины. Образцы покрыты хлоридом аммония. Коллекция хранится в Апрелевском отделении ФГБУ «ВНИГНИ». 1 — *Inoceramus vereshagini* Pokhialaynen, экз. MAR7/1, глубина 2654,34 м; 2 — *Buchia* ex gr. *unschensis* (Pavlow), экз. MAR7/2, глубина 2654,28 м; 3, 5 — *Buchia* ex gr. *volgensis* (Lahusen); 3 — *Buchia* ex gr. *volgensis* (Lahusen), экз. MAR7/7, глубина 2651,19 м; 4 — *Buchia* ex gr. *okensis* (Pavlow), экз. MAR7/10, глубина 2650,28; 5 — *Buchia* ex gr. *volgensis* (Lahusen), экз. MAR7/8, глубина 2651,04 м; 6 — *Surites* ex gr. *subanalogus* Schulgina, кз. MAR7/6, глубина 2651,30 м

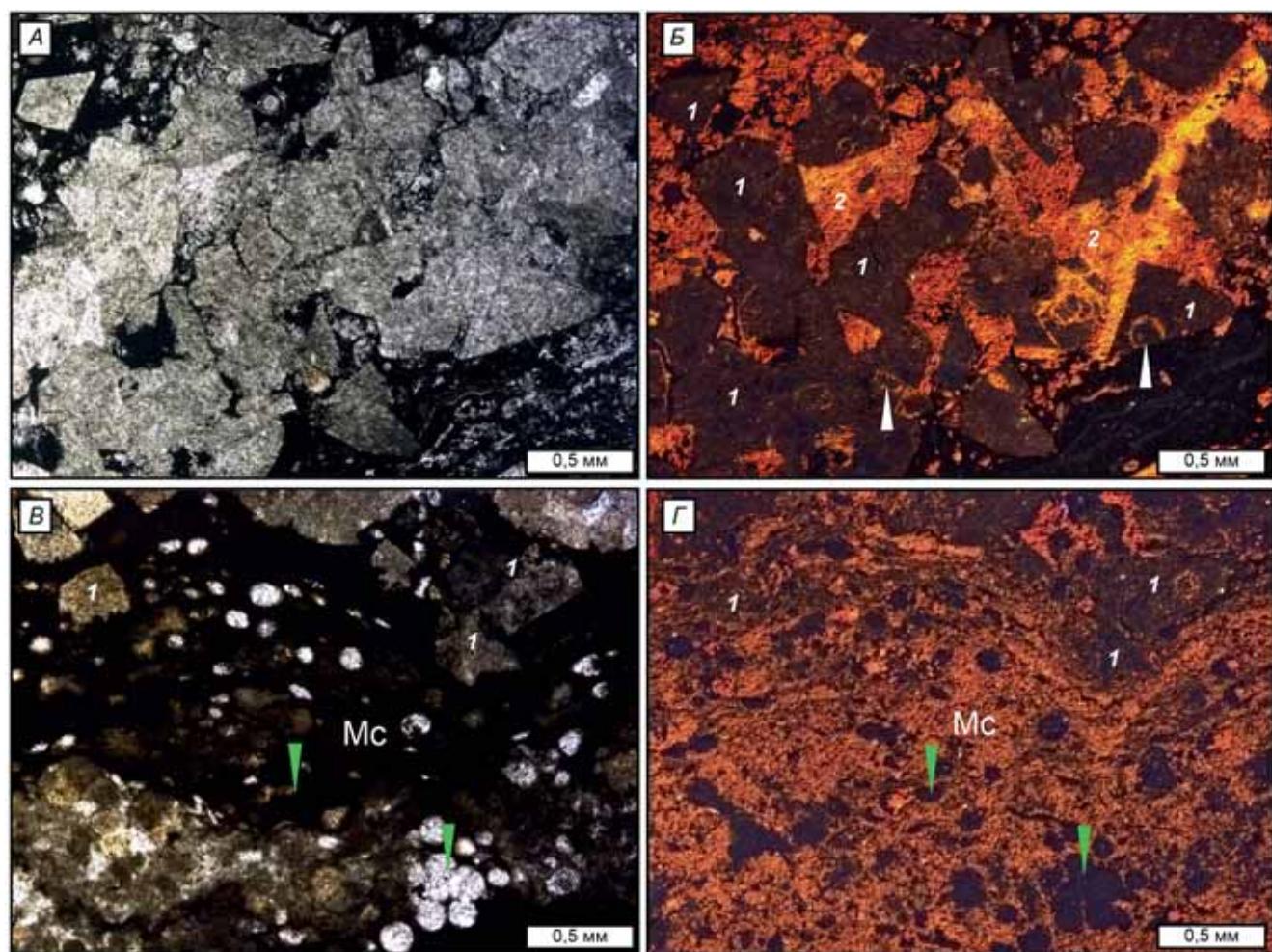


Рис. 3. Фотографии фрагментов шлифа образца Ф9: А — глендонит, в проходящем свете без анализатора; Б — то же, при КЛ-свечении; В — вмещающая порода, в проходящем свете с анализатором; Г — то же, при КЛ-свечении. 1, 2 — типы кальцита, Mc — микрит, белыми стрелками показаны реликты раковин радиолярий внутри кристаллов кальцита, зелеными стрелками показаны раковины радиолярий, сложенных халцедоном

го моллюсками интервал как относящийся, скорее всего, к верхней части нижнерязанского подъяруса (зона *Hectoroceras kochi*) и, возможно, низам верхнерязанского подъяруса (зона *Surites subanalogus*).

С учетом последовательности пород и палеонтологической характеристики керна, изученный интервал отнесен к верхам пачки 4б и пачке 5а баженовской свиты [Панченко и др., 2015, 2022].

**Описание глендонитов.** Глендониты появляются в изученном разрезе в глинистых известняках и глинистых силицитах. Они мелкие, в образцах Ф15 и Ф10 менее 1 см, удлиненной формы. В образце Ф9 глендонит удлиненной формы, до 3 см в длину. В образцах глендониты темно-коричневого цвета.

Петрографический и катодолюминесцентный анализ показывает, что глендонит сложен несколькими типами кальцита. Идиоморфные кристаллы кальцита (Тип 1) с треугольным или ромбическим сечением (скаленоэдры) имеют размер кристаллов до 1 мм и почти не обладают люминесценцией; внутри таких кристаллов на катодолюминесцентных (далее — КЛ) фотографиях могут быть видны реликты радиолярий. Внутри глендонита оставшееся пространство заполнено кальцитом с более ярким незональным катодолюминесцентным свечением желтого, оранжевого и красного цветов (Тип 2, рис. 3 А, Б).

Проведенные ранее исследования глендонитов и процессов преобразования икаита в глендонит показали, что дегидратация икаита приводит к образованию зональных кристаллов кальцита с более темным ядром и светлой оторочкой [Huggett, et al., 2005; Morales, et al., 2017; Vickers, et al., 2019], при этом более темное ядро, как правило, характеризуется темной люминесценцией или не обладает люминесценцией вовсе, в то время как более светлая оторочка поздних кальцитовых цементов характеризуется свечением в ярких красно-желтых цветах [Frank et al., 2008; Vasileva, et al., 2021]. По микроскопическому облику (отсутствию зональности внутри кристаллов кальцита) изученные глендониты из баженовской свиты напоминают антраконитовые конкреции из высокоуглеродистых сланцев нижнего ордовика северо-запада Восточно-Европейской плиты, описанные в [Popov, et al., 2019; Mikhailova, et al., 2019]. Отсутствие зональности в кристаллах кальцита, слагающих глендонит, по всей видимости, является следствием процессов икаит-глендонитовой трансформации и дальнейших преобразований глендонитов в катагенезе и является темой дальнейших исследований на более обширном материале.

Вмещающая порода в образце Ф9 представлена неоднородным кремнистым известняком (рис. 3), основные компоненты — радиолярии, которые частично могут быть замещены кальцитом, кальцитовые пелоиды, обломки карбонатных и фосфатных раковин, ориентированных параллельно поверхности напластования; на контакте с глендонитом слойки вмещающей породы изгибаются параллельно краям псевдоморфозы. Во вмещающей породе в не-

большом количестве рассеяны кристаллы кальцита 1 типа. Пространство между остатками фауны и кристаллами кальцита заполнено микрите с ярким оранжево-желтым КЛ-свечением.

**Изотопный состав глендонитов, вмещающего известняка и раковин двустворчатых моллюсков.** Результаты исследований стабильных изотопов кислорода и углерода в образцах из изученной скважины показано в табл. 1 и на рис. 4. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  в глендонитах варьирует от  $-5,2$  до  $-1,0\text{\textperthousand}$  V-PDB,  $\delta^{18}\text{O}$  варьирует от  $-6,5$  до  $-2,7\text{\textperthousand}$  V-PDB; источником углерода, таким образом, являлось разлагающееся во время диагенеза органическое вещество и растворенный в морской воде неорганический углерод; источником кислорода выступала морская вода и, возможно, бассейновые флюиды (референсные значения приведены в [Campbell, 2006]). Соотношения изотопов кислорода (от  $-6,4$  до  $-2,2\text{\textperthousand}$  V-PDB) и углерода (от  $-12,1$  до  $+1,5$ ) в раковинах моллюсков, хоть и отличается от соотношений, полученных для глендонитов, тем не менее показывают, что источники кислорода и углерода были теми же самыми, что и при кристаллизации и трансформации икаита. Для вмещающего известняка получены наиболее низкое значение  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-16,1\text{\textperthousand}$  V-PDB),  $\delta^{18}\text{O}$  в этой пробе составило  $-5,5\text{\textperthousand}$  V-PDB.

**Обсуждение результатов.** Согласно существующим представлениям, в течение всего баженовского времени большая часть территории Западной Сибири была покрыта обширным эпиконтинентальным морем, при этом в западной части бассейна отмечается наиболее глубоководная часть (Центральная впадина) с глубинами от 100 м и менее [Ступакова и др., 2016] до 200–400 м и более [Конторович и др., 2014]. Климатические условия — субтропический симиаридный и семигумидный климат [Захаров, 2006] — способствовали хорошему прогреванию вод, и за пределами Центральной впадины, придонные воды прогревались до температур 8–10 °C [Палеобиологии..., 1978]. Тем не менее, Филина с соавторами [1984] отмечают, что углубление бассейна могло приводить к неоднократным проникновениям холодных вод северных морей в Западно-Сибирский осадочный бассейн, при этом холодные течения прежде всего проникали в наиболее погруженные участки палеорельефа (центральную впадину).

До настоящего исследования глендониты из баженовской свиты не были известны. Поэтому некоторые авторы подчеркивают, что из-за отсутствия таких находок говорить о низких придонных температурах дна баженовского бассейна нельзя [Брадучан и др., 1986; Гришкевич, 2022]. Образования, изученные нами, уверенно диагностируются как глендониты, близкие к глендонитам, описанным из отложений нижнего ордовика Эстонии и Ленинградской области.

Изотопные характеристики вмещающей породы, глендонитов и изученных раковин двустворок показывают, что соотношения изотопов во всех про-

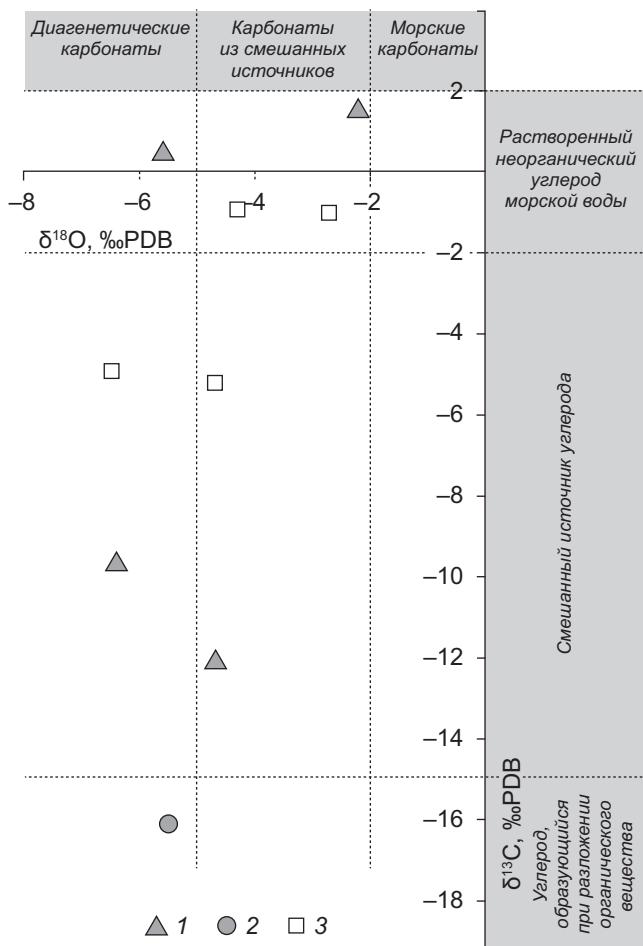


Рис. 4. Соотношения стабильных изотопов кислорода ( $\delta^{18}\text{O}$ , ‰ V-PDB) и углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ , ‰ V-PDB) в изученных пробах глендонитов и раковин двустворчатых моллюсков. 1 — пробы из раковин двустворок, 2 — пробы из вмещающих известняков, 3 — пробы из глендонитов

#### Таблица

##### Изотопный состав глендонитов и раковин двустворок из образцов изученной скважины

№	Номер образца	$\delta^{13}\text{C}$ , ‰ V-PDB	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ V-PDB
1	Ф9, фрагмент раковины двустворки	1,5	-2,2
2	Ф9, фрагмент раковины двустворки	-12,1	-4,7
3	Ф9, фрагмент раковины двустворки	-9,7	-6,4
4	Ф9, глендонит, валовая проба	-4,9	-6,5
5	Ф9, глендонит, валовая проба	-5,2	-4,7
6	Ф10, глендонит, валовая проба	-0,9	-4,3
7	Ф15, фрагмент раковины двустворки	0,5	-5,6
8	Ф15, глендонит, валовая проба	-1,0	-2,7
9	Вмещающий известняк, валовая проба	-16,1	-5,5

бах смещено относительно соотношений, характерных для морских карбонатов (от -2 до +2‰ V-PDB [Campbell, 2006]) в сторону отрицательных значений, что является характерной чертой карбонатных прослоев баженовской свиты [Yurchenko, et al., 2016], и, скорее всего, связано с постседиментационными

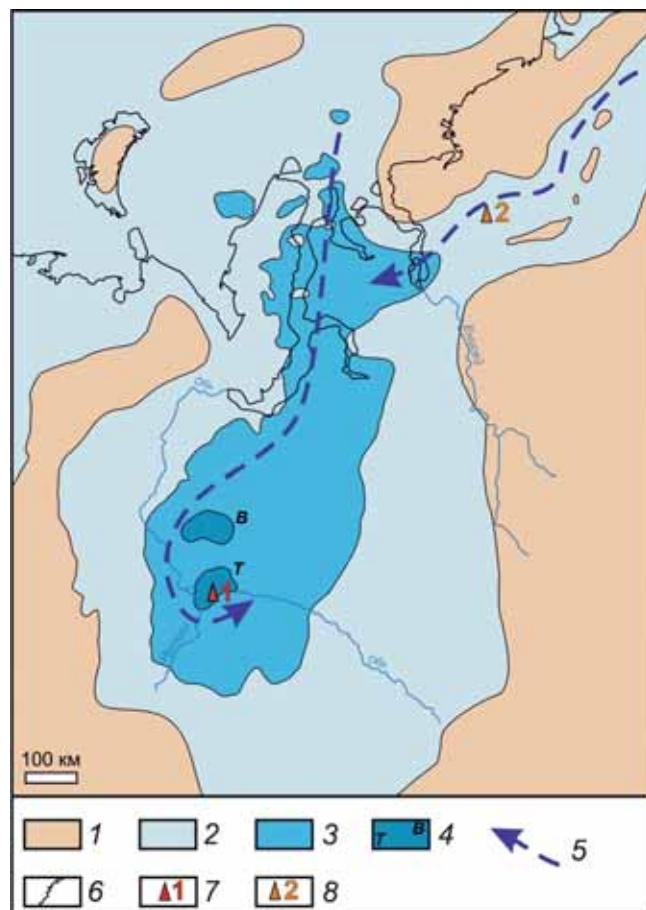


Рис. 5. Палеогеографическая схема Западно-Сибирского бассейна на рязанское время [Конторович и др., 2014, с упрощениями], а также предполагаемым направлением придонных холодных течений [Захаров, 2006]. 1 — суша и переходные обстановки; 2 — мелководно-морские обстановки (до 200 м); 3 — глубоководные обстановки (200–400 м); 4 — контуры наиболее глубоких впадин — котловин (по [Атлас..., 2004]), В — Вынглорская, Т — Тундринская; 5 — предполагаемое распространение холодноводных придонных течений; 6 — современная береговая линия; 7 — положение изученной скважины; 8 — положение скважины Новоякимовская-1

преобразованиями данных отложений. Смещение изотопного состава в результате постседиментационных изменений является характерной чертой глендонитов разного возраста [Rogov, et al., 2023]; тем не менее, отсутствие низких отрицательных (ниже -30‰ V-PDB) значений  $\delta^{13}\text{C}$  и характерных для метановых сипов хемосимбиотических видов фауны позволяет предполагать, что влияние метановых сипов при кристаллизации и трансформации икаита не было существенным.

Обобщая вышеизложенные данные, можно говорить о том, что по крайней мере в рязанское время на территории Западно-Сибирского бассейна в пределах локальных участков придонная температура могла опускаться до околонулевых температур, иначе кристаллизация икаита была бы невозможна. Такие температуры могли достигаться за счет значительной глубины и, возможно, влияния холодных придонных течений, которые могли про-

никать в Западно-Сибирский бассейн через Таймырский и Хатангский проливы [Барабошкин и др., 2007] (рис. 5). В возрастных аналогах баженовской свиты — яновстановской свите в пределах Енисей-Хатангского прогиба (скважина Новоякимовская-1), глендониты также описаны [Оленова и др., 2023] (рис. 5), однако здесь дополнительную роль сыграла близость данной территории к палеоарктическому бассейну, в котором циркулировали более холодные воды. При этом в скв. Новоякимовская-1 глендониты присутствуют не только в рязанских, но также в нижне- и средневолжских отложениях [Рогов и др., 2024б]. Изотопные соотношения, полученные для глендонитов и раковин двустворок в изученной нами скважине показывают, что в баженовской свите углерод извлекался при разложении органического вещества и сульфат-редукции, при этом существенного влияния метановых сипов, по всей видимости, не было; после трансформации икаита в глендонит и погружении осадочного бассейна глендониты испытывали поздние преобразования, которые определили более низкие по сравнению с нормально-осадочными, изотопные соотношения кислорода.

**Заключение.** Впервые в баженовской свите встречены и изучены глендониты. Они приурочены к пачке 5а, в интервале развития углеродистых глинисто-карбонатных силицитов и глинисто-кремнистых известняков. Сопутствующие глендонитам двустворчатые моллюски *Buchia* и *Inoceramus* и аммонит *Surites ex gr. subanalogus* Schulgina позволяют определить возраст изученной части разреза как пограничный интервал нижне- и верхнерязанского

подъярусов нижнего мела. Обнаруженные глендониты представляют собой сростки скаленоэдрических кристаллов. Эти находки указывают, что в наиболее глубоких частях Западно-Сибирского палеобассейна в придонных слоях устанавливались околонулевые температуры.

Судя по оптическим свойствам, глендониты сложены двумя типами кальцита: более ранним, без катодолюминесцентного свечения и более поздним, с ярко-оранжевой катодолюминесценцией. Исходя из палеогеографических реконструкций, место находки изученных глендонитов совпадает с областью наибольших глубин Западно-Сибирского бассейна осадконакопления в рязанское время, и низкие придонные температуры могут быть связаны с большими глубинами (в соответствие с работой [Конторович и др., 2014] — до 400 м) и проникновением холодных водных масс с придонными холодными течениями. Соотношения стабильных изотопов кислорода и углерода в глендонитах показывают, что кислород в ходе кристаллизации и трансформации икаита извлекался из морской воды и бассейновых флюидов, углерод извлекался в ходе разложения органического вещества и из неорганического растворенного углерода. После кристаллизации кальцита и его дегидратации в ходе погружения и взаимодействия с бассейновыми флюидами толщи происходили процессы, приведшие к изменению изотопных меток  $\delta^{18}\text{O}$  глендонитов.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00415, <https://rscf.ru/project/24-27-00415/>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа» / Под ред. Э.А. Ахпателова, В.А. Волкова, В.Н. Гончаровой и др. Екатеринбург: ИздатНаукаСервис, 2004. 148 с.
- Барабошкин Е.Ю., Найдин Д.П., Беньяновский В.Н. и др. Проливы Северного полушария в мелу и палеогене. М.: Изд-во геологического ф-та МГУ, 2007. 182 с.
- Брадучан Ю.В., Гурапи Ф.Г., Захаров В.А. и др. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 1986. 216 с.
- Гилаев Р.М., Ступакова А.В., Стafeев А.Н. и др. Строение баженовского горизонта на северо-востоке Западной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 3. С. 41–45.
- Гришкевич В.Ф. Баженовский горизонт Западной Сибири: поиски новой гармонии: монография. Тюмень: ТИУ, 2022. 279 с.
- Дзюба О.С., Пещевицкая Е.Б., Урман О.С. и др. Разрез Маурынья как ключевой для приграничных юрско-меловых отложений мелководно-морского генезиса в Западной Сибири // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 7. С. 1075–1105.
- Захаров В.А. Определение границы юрской и меловой систем по бухидам // Труды ИГиГ СО АН СССР. 1990. Вып. 699. С. 115–128.
- Захаров В.А. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии // Эволюция биосфера и биоразнообразия. К 70-летию А.Ю. Розанова. М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. С. 552–568.
- Игольников А.Е. Ревизия вида *Surites (Caseyiceras) subanalogus* Schulgina, 1972 и стратиграфические выводы // Новости палеонтологии и стратиграфии. 2009. Вып. 9. С. 97–103.
- Каплан М.Е. Кальцитовые псевдоморфозы (псевдо-гейлюсит, яровит, тинолит, глендонит, генномиши, беломорские рогульки) в осадочных породах. Происхождение псевдоморфоз // Литология и полезные ископаемые. 1979. № 5. С. 125–141.
- Конторович А.Э., Еришов С.В., Казаненков В.А. и др. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 5–6. С. 745–776.
- Оленова К.Ю., Агаханова В.А., Ваганова А.А. Путешествие по пространству глендонитов в среднеюрских — нижнемеловых отложениях в разрезе параметрической скважины Новоякимовская-1 (Западный Таймыр) // Экзолит. Новаторская литология Фролова: общее и частное: Годичное собрание (научные чтения), посвященные 100-летию со дня рождения Владимира Тихоновича Фролова. 2023. С. 136–139.

Палеобиофауны нефтегазоносных волжских и неокомских отложений Западно-Сибирской плиты. Труды СНИИГГиМС; Вып. 248. Ред.: А.В. Гольберт, А.Э. Конторович. М.: Недра, 1978. 87 с.

Панченко И.В., Балушкина Н.С., Барабошкин Е.Ю. и др. Комплексы палеобиоты в абалакско-баженовских отложениях центральной части Западной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. Т. 10, № 2. С. 1–29.

Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е. и др. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керна и ГИС // Геология нефти и газа. 2016. № 6. С. 22–34.

Панченко И.В., Рогов М.А., Соболев И.Д. и др. Текстуристратиграфия пограничных отложений юры и мела Западной Сибири // Russian Journal of Earth Sciences. 2022. Т. 22, № 6. С. 1–59.

Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003 г. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. 114 с.

Рогов М.А., Захаров В.А., Пециевицкая Е.Б. и др. Волжский ярус верхней юры и рязанский ярус нижнего мела Панбореальной биогеографической области // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2024а. Т. 32, № 6. С. 30–73.

Рогов М.А., Захаров В.А., Соловьев А.В. и др. Волжский и рязанский ярусы в разрезе скважины Новоякимовская-1 (запад Енисей-Хатангского регионального прогиба, Сибирь). Статья 1. Общая характеристика яновстанской свиты и ее стратиграфия по моллюскам // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2024б. Т. 32, № 3. С. 88–110.

Рогов М.А., Зверьков Н.Г., Захаров В.А., Архангельский М.С. Морские рептилии и климат юры и мела Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2019. Т. 27, № 4. С. 13–39.

Ступакова А.В., Стафеев А.Н., Суслова А.А., Гилев Р.М. Палеогеографические условия в Западно-Сибирском бассейне в титоне-раннем берриасе // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2016. № 6. С. 10–19.

Филина С.И., Корж М.В., Зонн М.С. Палеогеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. М.: Наука, 1984. 36 с.

Campbell K.A. Hydrocarbon seep and hydrothermal vent paleoenvironments and paleontology: Past developments and future research directions // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2006. No. 232. P. 362–407.

Counts J.W., Vickers M.L., Stokes M.R., et al. Insights into glendonite formation from the upper Oligocene Sagavanirktok Formation. North Slope, Alaska, U.S.A. // J. Sediment. Res. 2023. No. 94. P. 179–206.

Frank T.D., Thomas S.G., Fielding C.R. On Using Carbon and Oxygen Isotope Data from Glendonites as Paleoenvironmental Proxies: A Case Study from the Permian System of Eastern Australia // J. Sediment. Res. 2008. No. 78. P. 713–723.

Huggett J.M., Schultz B.P., Shearman D.J., Smith A.J. The petrology of ikaite pseudomorphs and their diagenesis // Proc. Geol. Assoc. 2005. No. 116. P. 207–220.

Mikhailova K., Vasileva K., Fedorov P., et al. Glendonite-Like Carbonate Aggregates from the Lower Ordovician Koporye Formation (Russian Part of the Baltic Klint): Detailed Mineralogical and Geochemical Data and Paleogeographic Implications // Minerals. 2019. No. 9. 524 p.

Morales C., Rogov M., Wierzbowski H., et al. Glendonites track methane seepage in Mesozoic polar seas // Geology. 2017. No. 45. P. 503–506.

Popov L.E., Álvaro J.J., Holmer L.E., et al. Glendonite occurrences in the Tremadocian of Baltica: first Early Palaeozoic evidence of massive ikaite precipitation at temperate latitudes // Sci. Rep. 2019. No. 9. 7205 p.

Price G.D., Mutterlose J. Isotopic signals from late Jurassic-early Cretaceous (Volgian-Valanginian) sub-Arctic belemnites, Yatria River, Western Siberia // J. Geol. Soc. 2004. No. 161(6). P. 959–968.

Price G.D., Rogov M.A. An isotopic appraisal of the Late Jurassic greenhouse phase in the Russian Platform // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2009. No. 273. P. 41–49.

Rogov M., Ershova V., Gaina C., et al. Glendonites throughout the Phanerozoic // Earth-Sci. Rev. 2023. 241. 104430.

Rogov M.A., Ershova V.B., Shchepetova E.V., et al. Earliest Cretaceous (late Berriasian) glendonites from Northeast Siberia revise the timing of initiation of transient Early Cretaceous cooling in the high latitudes // Cretac. Res. 2017. No. 71. P. 102–112.

Schultz B., Huggett J., Ullmann C., et al. Links between Ikaite Morphology, Recrystallised Ikaite Petrography and Glendonite Pseudomorphs Determined from Polar and Deep-Sea Ikaite // Minerals. 2023. No. 13. 841 p.

Vasileva K., Vereshchagin O., Ershova V., et al. Marine diagenesis of ikaite: Implications from the isotopic and geochemical composition of glendonites and host concretions (Palaeogene–Neogene sediments, Sakhalin Island) // Sedimentology. 2021. No. 68. P. 2227–2251.

Vickers M.L., Hougaard I.W., Alsen P., et al. Middle to Late Jurassic palaeoclimatic and palaeoceanographic trends in the Euro-Boreal region: Geochemical insights from East Greenland belemnites // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2022. No. 597 (1). 111014.

Vickers M., Watkinson M., Price G.D., Jerrett R. An improved model for the ikaite-glendonite transformation: evidence from the Lower Cretaceous of Spitsbergen, Svalbard. Nor. // J. Geol. 2018. No. 98 (1). P. 1–15.

Vickers M.L., Price G.D., Jerrett R.M., et al. The duration and magnitude of Cretaceous cool events: Evidence from the northern high latitudes // GSA Bull. 2019. No. 131. P. 1979–1994.

Yurchenko A.Y., Balushkina N.S., Kalmykov G.A., et al. The structure and genesis of limestones at the boundary between the Abalak and Bazhenov formations in Central West Siberia // Moscow Univ. Geol. Bull. 2015. No. 70. P. 428–435.

Zakharov V.A. The Bivalve Buchia and the Jurassic-Cretaceous Boundary in the Boreal Province // Cretaceous Research. 1987. No. 8. P. 141–153.