НАХОДКИ ФОСФОРИТОВ В СЕЗЫМСКОЙ СВИТЕ (НИЖНЯЯ ПЕРМЬ, КОСЬЮ-РОГОВСКАЯ ВПАДИНА)

Н. С. Инкина

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

nsinkina@geo.komisc.ru

Фосфоритовые конкреции, как и вмещающие их кремнистые породы, в сезымской свите Косью-Роговской впадины Предуральского краевого прогиба обнаружены впервые. Исследования показали, что свита сложена микстолитами, карбонатными, глинистыми, терригенными и кремнистыми породами. Фосфориты встречены лишь в единственном разрезе. Согласно аналитическим исследованиям, породообразующими в конкрециях являются карбонатапатит, кальцит и кварц. Данные конкреции могут быть использованы как маркирующие горизонты для корреляции со сходными разрезами Предуральского краевого прогиба.

Ключевые слова: Косью-Роговская впадина, нижняя пермь, сезымская свита, фосфоритовые конкреции, маркирующий горизонт.

PHOSPHORITE FINDS IN THE SEZYM FORMATION (LOWER PERMIAN, KOS'YU-ROGOVAYA DEPRESSION)

N. S. Inkina

Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

Phosphorite concretion and enclosing siliceous rocks in the Sezym Fm. of the Kosyu-Rogovaya Depression of the Pre-Urals Foredeep for the first time we found. Our studies showed that the Sezym Fm. was composed by mixtolites, carbonate, clayey, terrigenous and siliceous rocks. Phosphorites are only in one section. According to analytical data carbonateapatite, calcite and quartz are rock-forming in the concretions. These concretions can be used as marker bed for a correlation with analogous sections of the Pre-Urals Foredeep.

Keywords: Kos'yu-Rogovaya Depression, Lower Permian, Sezym Formation, phosphorite concretions, marker bed.

Введение

Сезымская свита выделена на юго-востоке Пай-Хоя в Елецкой структурно-формационной зоне [11] и широко распространена на севере Косью-Роговской впадины Предуральского краевого прогиба. Согласно современной стратиграфической схеме, свита имеет ассельско-сакмарский возраст [8]. Нами она изучена в пределах Косью-Роговской впадины (восемь естественных выходов: реки Уса, Лек-Елец, Воркута и руч. Кечшор (бассейн р. Усы), два карьера близ г. Воркуты и руч. Тангепче (бассейн р. Лемвы). Исследования вещественного состава свиты показывают, что преобладающими в ее строении являются разнообразные типы карбонатных пород и микстолиты. К микстолитам отнесены породы смешанного состава, в которых ни одна компонента не достигает 50 % [7]. В большинстве изученных разрезов микстолиты состоят из трех основных компонент: 1) глинистой — иллит и хлорит, 2) карбонатной — кальцит и доломит и 3) алевритовой — обломочные кварц и полевошпат (ПШ). В меньшей степени в строении свиты участвуют терригенные, глинистые и кремнистые породы. Фосфоритовые конкреции встречены лишь в разрезе нового известнякового карьера, заложенного для нужд цементного завода г. Воркуты. Карьер находится на правом берегу р. Воркуты, в 2 км от цементного завода. Его протяженность в северо-западном направлении около 2 км, ширина около 100 м и глубина до 25–35 м. Выходы каменноугольно-нижнепермских пород вскрыты на северной стенке карьера. В структурно-тектоническом плане изученный разрез с фосфоритами расположен в пределах Воркутской ступени Косью-Роговской впадины Предуральского краевого прогиба. Конкреции в осадоч-

ных образованиях важны как индикаторы для палеогеографических реконструкций, как маркирующие горизонты для корреляции удаленных разрезов и, собственно, как полезные ископаемые [3, 4].

Методы исследования

Изучение фосфоритов в шлифах проводилось при помощи оптического микроскопа Полам-213М. Вещественный состав и строение фосфоритов изучались при помощи рентгеновского дифрактометрического анализа, химического 14-компонентного и спектрального количественного анализов, ИК-спектроскопии, сканирующего электронного микроскопа. Все аналитические исследования проводились в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН.

Фактический материал

В строении сезымской свиты цементно-заводского разреза выделено три пачки: нижняя кремнистая, средняя микстолитовая и верхняя известняковая общей мощностью около 23 м (рис. 1).

Нижнюю пачку слагают тонкопереслаивающиеся силициты, кремнистые известняки и микстолиты общей мощностью около 9 м. Силициты и кремнистые известняки более массивные, на выветрелой поверхности имеют желто-рыжий цвет. Породы содержат остатки брахиопод (в том числе беззамковых), пелеципод, мшанок и иглокожих, а также встречены амmonoидеи и трилобиты. Некоторые стенки створок брахиопод замещены дисульфидом железа. Особенностью этой части разреза являются многочисленные ходы *Zoophycus*, распространенные в силицитах и кремнистых известняках. Эти отложения от-

Рис. 1. Литолого-стратиграфическая колонка сезымской свиты (карьер цементного завода г. Воркуты): 1 — пелитоморфный известняк, 2 — известняк с петельчатой текстурой, 3 — кремнистый известняк, 4 — силицит, 5 — глинистый известняк, 6 — алевроитовый известняк, 7 — микстолит, 8 — глинистый алевролит, 9 — глина, 10 — фосфоритовые конкреции; а — конодонты, b — криноидеи, с — мшанки, d — гастроподы, e — брахиоподы, f — аммоноидеи, g — ругозы, h — ходы илоедов

Fig. 1. Lithologic and stratigraphic column of Sezym Fm. (quarry of Cement factory, near of Vorkuta): 1 — pelitomorphous limestone, 2 — limestone with a loop-shaped texture, 3 — siliceous limestone, 4 — silicite, 5 — clayey limestone, 6 — silt limestone, 7 — mixtolite, 8 — clayey aleurolite, 9 — clay, 10 — phosphorite concretions; a — conodonts, b — echinoderms, c — bryozoans, d — gastropods, e — brachiopods, f — ammonoids, g — tetracorals, h — traces of ichnofossils

делены от среднекаменноугольных светло-серых биокластовых известняков, включающих черные диагенетические кремни линзовидной формы, слоем разноцветной глины (от зеленовато-серой до бурой) мощностью 0.4 м. Граница кремнистой пачки с микстолитовой не наблюдается.

Важно подчеркнуть, что эта кремнистая пачка вскрыта лишь карьером цементного завода. При этом в других разрезах, где хорошо обнажены нижняя и верхняя границы свиты, подобные отложения отсутствуют.

Средняя пачка мощностью 9 м сложена преимущественно микстолитами и глинистыми алевролитами и в меньшей степени пелитоморфными известняками. Микстолиты карбонатно-глинисто-алевритового состава имеют сланцеватую и массивную текстуру. Отмечается тенденция: чем больше карбонатной компоненты в микстолите, тем она массивнее. В кровле пачки (верхние 1.5 м) в микстолитах и алевролитах содержится глауконит 5–7 % (оценен визуально в шлифах). В этой же части разреза были найдены конодонты: *Gondolelloides canadensis* Henderson et Orchard, *Adetognathus cf. latus* Gunnell, *Streptognathodus cf. grandis* Chernykh, *Streptognathodus sp.* Данный комплекс конодонтов по присутствию *Streptognathodus cf. grandis* Chernykh отвечает ассельскому ярусу (зона glenisteri) (определения А. В. Журавлева).

Верхняя пачка мощностью 5.5 м сложена преимущественно плотными серыми пеллоидно-биокластовыми известняками с характерной петельчатой текстурой. Среди органических остатков распространены брахиоподы, ругозы, мшанки и иглокожие. Эти известняки разделяются более глинистыми сланцеватыми разновидностями.

Фосфоритовые конкреции встречаются в микстолитах нижней пачки. Микстолиты темно-серого цвета на выветрелой поверхности, со сланцеватой и иногда листоватой текстурой. Конкреции темно-серого цвета, округлой и уплощенно-округлой формы, размером 3–5 см неравномерно распределены по слою мощностью 0.2 м (рис. 2). В некоторых из них наблюдается скорлуповатая отдельность, обусловленная зональным строением конкреции.

Породообразующими в конкрециях являются фосфатный минерал, кальцит и кварц (рис. 3 и 4). Акцессорные минералы представлены алюмосиликата-

Рис. 2. Фосфоритовые конкреции в кремнистой пачке сезымской свиты

Fig. 2. Phosphorite concretions in siliceous member of the Sezym Fm

ми и сульфидами железа. Наблюдаются многочисленные остатки перекристаллизованных радиолярий и единичные спиккулы губок (рис. 3, с; рис. 4, d–f). Граница конкреции и вмещающей породы резкая. На поверхности конкреции под электронным микроскопом видны микрокарманы с вмещающей породой.

Фосфатный минерал в проходящем свете имеет коричневатый-желтоватый цвет. Его распределение неравномерное. На одних участках он наблюдается в виде отдельных глобул с концентрической зональностью и радиально-лучистым строением, на других — в виде их почковидно-корковых агрегатов, а также выполняет стенки радиолярий (рис. 3; рис. 4, a–c). Зональное строение фосфатного минерала, возможно, обусловлено различным содержанием органического вещества, так как, по данным микронзондового анализа, состав этих зон одинаковый. Часто в центре фосфатной глобулы отмечаются скопления алюмосиликатов и единичных зерен кварца

Рис. 3. Микрофотографии почковидно-корковых радиально-лучистых фосфоритов (оптический микроскоп Полам Л-213М): а — без анализатора; б — с анализатором — выщелоченная конкреция; в — без анализатора, d — с анализатором — неизмененная конкреция. Красным цветом выделены фосфатизированные остатки радиолярий. Ap — карбонатапатит, Cal — кальцит, Qtz — кварц, Py — пирит, Ill — иллит, Chl — хлорит, Pyrr — пирротин

Fig. 3. Microphotograph of reniform- crustal radial axial phosphorites (optical microscope Polam A-213M): a — without analyzer; b — with analyzer — a leached concretion; c — without analyzer; d — with analyzer — unmodified concretion. Red color shows phosphatized remains of radiolarians. Ap — carbonateapatite, Cal — calcite, Qtz — quartz, Py — pyrite, Ill — illite, Chl — chlorite, Pyrr — pyrrhotite

Рис. 4. Микрофотографии фосфоритовых конкреций (СЭМ JSM-6400, режим регистрации — упругоотраженные электроны): а, b, c — почковидно-корковый радиально-лучистый карбонатапатит; d, e, f — спикулы губок в продольном и поперечном срезе; Ap — карбонатапатит, Cal — кальцит, Qtz — кварц, Py — пирит, Ill — иллит, Chl — хлорит, Pyrr — пирротин

Fig. 4. Microphotograph of phosphorite concretions (SEM JSM-6400, registration mode - back scattered electrons): a, b, c — reniform-crystal radial axial carbonate apatite; d, e, f — spicules of sponges in axial and cross sections; Ap — carbonatapatite, Cal — calcite, Qtz — quartz, Py — pyrite, Ill — illite, Chl — chlorite, Pyrr — pyrrhotite

(рис. 3, c; рис. 4, b, c). Размер элементарной ячейки апатита в выщелоченной конкреции равен $(9.351 \pm 0.007) \text{ \AA}$, а в неизменной — $(9.377 \pm 0.008) \text{ \AA}$, что соответствует фторапатиту (аналитик Б. А. Макеев). Результаты количественного спектрального анализа на фтор показали либо его отсутствие, либо содержание в пределах погрешности метода. Наличие дублетной полосы поглощения в области $1400\text{--}1500 \text{ см}^{-1}$, полученной ИК-спектроскопией (аналитик М. Ф. Самолюкова), указывает на присутствие аниона $[\text{CO}_3]^{2-}$ в структуре фосфата, что дает основание диагностировать этот минерал как карбонатапатит (рис. 5). По данным химического анализа, содержание P_2O_5 около 22 %; согласно нормативному пересчету, на долю карбонатапатита приходится 49–

50 %. Результаты микрозондового анализа карбонатапатита показали присутствие в его составе S (0.6–0.7 %) (аналитик В. Н. Филиппов).

Большая часть межфосфатного порового пространства выполнена крупнокристаллическим кальцитом, часто с характерными двойниками. Также он встречается в виде отдельных зерен в фосфатных участках и иногда занимает внутреннюю часть фосфоритизированных радиоларий. Содержание кальцита по нормативному пересчету составляет 25 %. Некоторые конкреции фосфоритов сильно пористые, вероятно, за счет современного растворения карбонатной компоненты.

Кварц распространяется подобно кальциту. Обычно он образует агрегаты, выполняющие поровые участки

Рис. 5. Сопоставление ИК-спектров фосфоритов сезымской свиты с фторапатитом Хибинского месторождения (синий спектр): красный спектр — выщелоченная фосфоритовая конкреция, черный спектр — неизменная фосфоритовая конкреция

Fig. 5. Comparison of IR spectra of phosphorites of the Sezym Fm. with fluorapatite of the Khibin ore-deposit (blue spectrum): red spectrum — leached phosphorite concretion, black spectrum - unmodified phosphorite concretion

между фосфатными образованиями, стенки радиолярий, а также внутреннее пространство фосфатизированных органических остатков. На долю кварца приходится 20 %.

Как уже было отмечено выше, алюмосиликаты встречены в центральной части фосфатных участков. Ранее исследования глинистой компоненты вмещающих отложений показали, что для всех типов сезымских пород определена хлорит-иллитовая ассоциация [2]. Данные микронзондового анализа также подтвердили, что в конкрециях наиболее распространенным и среди глинистых минералов являются слюда (иллит) и в меньшей степени хлорит. Такое распространение и состав могут указывать на то, что участки, сложенные алюмосиликатами, являются остатками вмещающей породы. Содержание глинистых минералов составляет 3–4 %.

Сульфиды железа, встреченные в виде фрамбоидов и агрегатов неправильной формы, с учетом того, что присутствие марказита в нижнепермских фосфоритах маловероятно, интерпретируются как пириты. Они распространены как включения в карбонатапатите, в кальците, а также выполняют стенки радиолярий и спикул губок. Кроме этого, при помощи электронного сканирующего микроскопа были обнаружены спикулы губок, выполненные сульфидом железа, который по соотношению атомных процентов железа и серы интерпретируется как пирротин. Следует отметить, что пирротинные спикулы окаймлены более темной зоной, представленной гидроксидом железа, образование которой, вероятно, можно связать с современными процессами выветривания. На долю сульфидов железа приходится около 2–3 %.

Обсуждения и выводы

На основании изучения строения конкреций можно предположить, что первоначально шло образование карбонатапатита, замещающего участки с довольно обильными скоплениями радиолярий. Важно заметить, что во вмещающих микстолитах этих органических остатков не наблюдается. После образования фосфатного минерала большая часть порового пространства была заполнена кальцитом. Вероятно, позднее шло выпадение из растворов кремнезема. Его источником были органические остатки радиолярий и спикул губок. Следует отметить, что в конкрециях большая часть органических остатков фосфатизированы, но встречены радиолярии, в которых стенки еще частично выполнены кремнеземом. Сульфиды железа, судя по характеру их распространения, образовывались на протяжении всего времени формирования конкреций, которое, вероятнее всего, происходило в восстановительных условиях.

Малое содержание фосфоритовых конкреций во вмещающих породах сезымской свиты не даёт основания говорить об их практическом значении, но они могут быть интересны как маркирующие горизонты. В ассельско-сакмарских отложениях севера Урала фосфатоносные горизонты известны лишь в кечпельской свите Лемвинской структурно-формационной зоны [6]. Фосфоритовые конкреции сезымской свиты, как и вмещающие отложения кремнистой пачки, обнаружены впервые. Сходные отложения описаны на Южном Урале в разрезе «Красноусольский», являющемся одним из опорных разрезов верхнепалеозойских отложений Южного Урала и предложенном в качестве стратотипа нижней границы сакмарского яруса [9]. Здесь фосфоритовые конкреции распространены в основном в отложе-

ниях гжельского яруса верхнего карбона, а также встречаются в верхней части касимовского и в низах ассельского ярусов. Важно отметить, что в основании разреза «Красноусольский» также выделена кремнисто-глинисто-карбонатная пачка, охватывающая интервал от мячковского горизонта среднего карбона до касимовского яруса [5, 10]. В изученном разрезе кремнистые породы сезымской свиты залегают на среднекаменноугольных известняках и перекрываются раннеассельскими микстолитами, что даёт основание предположить их позднекаменноугольный возраст.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю В. А. Салдину за помощь и консультации при написании статьи, а также Б. А. Макееву, В. Н. Филиппову, М. Ф. Самогатовой и сотрудникам химической группы Института геологии Коми НЦ УрО РАН за проведение аналитических работ.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН № 15-18-5-47.

Литература

1. Земля: введение в общую геологию / Дж. Ферхуген, Ф. Тернер, Л. Вейс и др. / Пер. с англ. Б. А. Борисова, А. М. Карасика, Г. Н. Мухитдинова и др. М.: Мир, 1974. Т. 2.
2. Инкина Н. С., Симакова Ю. С., Салдин В. А. Глинистые минералы сезымской свиты нижней перми Косью-Роговской впадины // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 23-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2014. С. 162–167.
3. Македонов А. В., Зарицкий П. В. Конкрецеобразование и стадийность литогенеза // Конкреции и конкреционный анализ. М.: Наука, 1977. С. 5–18.
4. Македонов А. В., Зарицкий П. В. Значение конкреций для фациального и формационного анализа, корреляции осадочных толщ и поисков месторождений полезных ископаемых // Там же. С. 18–33.
5. Опорные разрезы верхнего карбона и нижней перми Западного склона Урала и Приуралья / Б. И. Чувашов, Г. В. Дюпина, Г. А. Мизенс, В. В. Черных. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 412 с.
6. Салдин В. А. Фосфатоносность верхнепалеозойских отложений Лемвинской зоны Урала // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории земли: Мат-лы 5-го литол. совещ. Екатеринбург, 2008. С. 238–241.
7. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов / В. Н. Шванов, В. Т. Фролов, Э. И. Сергеева и др. СПб.: Недра, 1998. 352 с.
8. Стратиграфические схемы Урала / Ред. Н. Я. Анцыгин, Б. А. Попов, Б. И. Чувашов. Екатеринбург, 1993.
9. Черных В. В., Чувашов Б. И. Лимитотипы нижней границы сакмарского и артинского ярусов на Урале // Литосфера. 2015. № 1. С. 35–52.
10. Чувашов Б. И., Яковлева Л. П. Позднепалеозойский Южноуральский фосфоритоносный бассейн (история развития, основные типы фосфатопоявлений, их связь с фациями, петрография и геохимия фосфоритов). Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2007. 160 с.
11. Шмелев Н. В. О положении Янгарейского угольного месторождения в стратиграфическом разрезе перми северо-восточной части Печорского бассейна // М-лы совещания по итогам геологических и геолого-разведочных работ, проведенных различными организациями на территории Коми АССР за период 1948–1953 гг. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1955. С. 218–225.

References

1. J. Ferhugen, F. Ternier, L. Veis et al. *Zemlya vvedenie v obshchuyu geologiyu* (Earth. Introduction to general geology), V.2, translation from English by B.A. Borisov, A.M. Karasik, G.N. Muhitdinov et al., Moscow, Mir, 1974.
2. Inkina N. S., Simakova Yu. S., Saldin V. A. *Glinistye mineraly seymyskoi svity nizhnei permi Kosyu-Rogovskoi vpadiny* (Clay minerals of seym suite of Lower Permian Kosyu-Rogov depression). *Struktura, veschestvo, istoriya litosfery Timano-Severouralskogo segmenta* (Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment) Proceeding of 23th conference. Syktyvkar, Geoprint, 2014, pp. 162–167.
3. Makedonov A.V., Zaritskii P.V. *Konkretseobrazovanie i stadiinost litogeneza* (Concretion formation and stages of lithogenesis). *Konkretsii i konkretsilnniy analiz* (concretions and concretion analysis). Nauka, 1977, pp. 5–18.
4. Makedonov A. V., Zaritskii P. V. *Znachenie konkretsii dlya fatsialnogo i formatsionnogo analiza, korrelyatsii osadochnykh tolsch i poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* (Meaning of concretions for facies and formation analysis, correlation of sedimentary rocks and search for mineral resources). *Konkretsii i konkretsilnniy analiz* (Concretions and concretion analysis). Nauka, 1977, pp. 18–33.
5. *Opornye razrezy verhnego karbona i nizhnei permi Zapadnogo sklona Urala i Priuralya* (Reference sections of Upper Carboniferous and Lower Permian western slope of the Urals and Ural region). B. I. Chuvashov, G. V. Dyupina, G. A. Mizens, V. V. Chernyh. Sverdlovsk, UB USSRAS, 1990, 412 pp.
6. Saldin V. A. *Fosfatonosnost verhnepaleozoiskikh otlozhenii Lemvinskoi zony Urala* (Phosphate content of Upper Paleozoic deposits of Lemva zone of the Urals). *Tipy sedimentogeneza i litogeneza i ih evolyutsiya v istorii zemli* (Types of sedimentogenesis and lithogenesis and their evolution in history of Earth) Proceedings of 5 th conference. Ekaterinburg, 2008, pp. 238–241.
7. *Sistematika i klassifikatsiya osadochnykh porod i ih analogov* (Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues). V. N. Shvanov, V. T. Frolov, E. I. Sergeeva et al. St. Petersburg, Nedra, 1998, 3525 pp.
8. *Stratigraficheskie shemy Urala* (Stratigraphic maps of the Urals). Editors N. Ya. Antsygin, B. A. Popov, B. I. Chuvashov. Ekaterinburg, 1993.
9. Chernyh V. V., Chuvashov B. I. *Limitotipy nizhnei granitsy sakmarskogo i artinskogo yarusov na Urale* (Limitotypes of lower boundary of sakmarsky and artinsky stages in Urals). *Litosfera*, 2015, No. 1, pp. 35–52.
10. Chuvashov B. I., Yakovleva L. P. *Pozdnepaleozoiskii Yuzhnouralskii fosforitonosnyi bassein (istoriya razvitiya, osnovnyye tipy fosfatoproyavlenii, ih svyaz s fatsiyami, petrografiya i geokhimiya fosforitov)* (Late Paleozoic South Ural phosphorite basin (history, main types of phosphates, their connection with facies, petrography and geochemistry of phosphorites). Ekaterinburg, Institute of geology and geochemistry, 2007, 160 pp.
11. Shmelev N. V. *O polozhenii Yangareiskogo ugolnogo mestorozhdeniya v stratigraficheskom razreze permi severo-vostochnoi chasti Pechorskogo basseina* (Location of Yangareyskoe coal deposit in Permian section of north-eastern part of Pechora basin). Proceedings of meeting. Syktyvkar, Komi kn. izd-vo, 1955, pp. 218–225.