СРЕДНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫЕ ФОСФОРИТЫ ЯЙЮСКОЙ СВИТЫ В БАСЕЙНЕ Р. НЯНЬВОРГАВОЖ (ЛЕМВИНСКАЯ СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННАЯ ЗОНА УРАЛА)

В. А. Салдин

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

litgeo@geo.komisc.ru

Приведены результаты изучения строения и состава фосфоритовых конкреций среднего карбона Лемвинской структурно-формационной зоны. Показано сложное строение геологического разреза и представлены списки органических остатков, датируемых средне-, позднекаменноугольный возраст отложений. Выявлено разнообразие микроструктур фосфата кальция (скрытокристаллический, сгустково-комковатый, микробиоморфный, радиально-лучистый), который классифицирован как карбонатсодержащий фторгидроксилapatит, и предложена версия его образования.

Ключевые слова: Лемвинская структурно-формационная зона Урала, каменноугольные отложения, яйюская свита, фосфориты, фторапатит.

MIDDLE CARBONIFEROUS PHOSPHORITES OF THE YAYYU SUITE IN THE NYAN'VORGAVOZH RIVER BASIN (THE LEMVA PALEOTECTONIC ZONE OF THE URALS)

V. A. Saldin

IG Komi SC UB RAS, Syktyvkar

Results of study of structures and composition of Middle Carboniferous phosphorite concretions in the Lemva paleotectonic zone are presented. The complex construction of the geological section is shown and Middle-Late Carboniferous fossils are presented. A variety of calcium phosphate microstructures (cryptocrystalline, coagulation-clotted, microbiomorphic, radiated) which is classified as a carbonate fluorapatite, and a version of its formation is suggested.

Keywords: Lemva paleotectonic zone of the Urals, Middle Carboniferous deposits, Yayyusuite, phosphates, fluorapatite.

Введение

Лемвинская структурно-формационная зона (СФЗ) в современном структурно-тектоническом плане представляет собой аллохтон, надвинутый на западе на образования карбонатной Елецкой СФЗ, а на востоке ограниченный Главным Уральским надвигом, имеющий сложное покровно-чешуйчатое строение [6, 16, 22, 23]. Среди каменноугольных отложений Лемвинской СФЗ А. И. Елисеев выделил три типа разрезов, отвечающих трем фаціальным подзонам: верхнелемвинско-воргашорский (западная), харутско-хойлинский (центральная) и пальникско-яйюский (восточная) [11]. Разрезам западной подзоны глинисто-кремнисто-карбонатного состава отвечает западно-воргашорская свита. Разрезы центральной подзоны объединены в карбонатно-глинисто-кремнистую воргашорскую свиту, а разрезы пальникско-яйюского типа — в карбонатно-терригенную яйюскую свиту. Типизация разрезов и выделение подзон были проведены на основе лишь охарактеризованных фауной ниже- и среднекаменноугольных отложений. Находки фаунистически охарактеризованных верхнекаменноугольных отложений в разных районах указывают на существовании этих фаціальных подзон и в позднем карбоне [17]. Схема палеофаціального профиля каменноугольных отложений показана нами ранее [19]. Осадконакопление в западной подзоне было тесно связано с краем карбонатного шельфа, откуда периодически поступал обломочный карбонатный материал. Каменноугольные отложения восточной подзоны мощностью около 1500 м формировались преимущественно в результате поступления терригенного материала с востока, где находился Уральский ороген. Осадконакопление

отложений центральной подзоны, по нашим данным, происходило на поднятии в глубоководной впадине (мощность каменноугольных отложений около 70–80 м) и испытывало дефицит в источниках питания.

Фосфориты в каменноугольных отложениях Лемвинской СФЗ встречаются на нескольких стратиграфических уровнях и в разных фаціальных подзонах. Распространенность фосфатных проявлений в ниже-, среднекаменноугольных отложениях показана в работе О. В. Япаскурта [25]. К этим данным следует добавить еще два ранее пропущенных стратиграфических уровня фосфатопоявления — верхнетурнейско-нижневизейский и верхнебашкирско-нижнемосковский. Верхнетурнейско-нижневизейский был выявлен А. А. Беляевым и Г. Ф. Семеновым в верхах няньворгинской свиты в бассейне р. Харуты (Лемвинская зона) [15] и автором в бассейне р. Хароты (Елецкая зона). В обоих случаях отложения с фосфоритами охарактеризованы конодонтами зоны *Scalioagnatus anchoralis* (опр. А. В. Журавлева). Верхнебашкирско-нижнемосковскому уровню посвящена настоящая статья. Всего в каменноугольных отложениях Лемвинской СФЗ известно пять стратиграфических уровней: верхнетурнейско-нижневизейский, верхневизейско-серпуховский, верхнебашкирско-нижнемосковский, позднемосковский (с переотложенными фосфоритами в обломочных известняках) и верхнекаменноугольно-нижнепермский(?) [20].

Фосфоритоносная яйюская свита включает разнообразные по вещественному составу — терригенные, карбонатные, кремнистые — каменноугольные отложения восточной подзоны. Преобладают породы смешанного, обычно терригенно-карбонатного (или карбонатно-терригенного) состава. Большинство разрезов имеют

циклитовое строение (мощность циклитов от нескольких сантиметров до первых метров). Нижнюю часть циклитов обычно слагают обломочные известняки с терригенной примесью песчаной размерности или известковые граувакковые песчаники, которые постепенно сменяются к кровле циклита глинистыми микрозернистыми известняками или известковыми глинистыми сланцами. Соотношение карбонатного и терригенного компонентов изменяется внутри циклитов и от одного циклита к другому. В породах часто наблюдаются тектурные последовательности цикла Боума, что дает основание интерпретировать большинство отложений как турбидиты. В ассоциации с турбидитами развиты пелагические (гемипелагические) отложения, представленные прослоями силицитов и микротонкозернистых карбонатных пород. Выявлена тенденция убывания карбонатных пород от нижней части свиты (нижекаменноугольной) к верхней (средне-, верхнекаменноугольной). Строение каждого разреза яйюской свиты неповторимо. Последовательность слоев часто трудно восстановить из-за сильной дислоцированности толщ, резкой изменчивости вещественного состава как по латерали, так и по разрезу, отсутствия региональных литологических маркеров и относительно редкой встречаемости органических остатков. Мощность свиты оценивается в 1500 м.

Методы исследований

Фосфориты изучались в шлифах под поляризационным микроскопом (Полам Л-213М). Для выяснения ве-

щественного состава фосфоритов использовались данные химического анализа и количественные определения P_2O_5 в фосфоритах и вмещающих породах. Фазовая диагностика минералов фосфоритов осуществлялась рентгендифрактометрическим (Shimadzu XRD-6000, излучение CuK_{α}) и ИК-спектроскопическим (фурье-спектрометр ИнфраЛИУМ ФТ-02) методами. Состав минералов определялся на аналитическом СЭМ (JSM-6400 с ЭДС-приставкой LinkISIS-300).

Фактический материал

Фосфориты в рассматриваемом районе были впервые обнаружены В. Н. Пучковым на левом берегу р. Няньворгавож, приблизительно в 12 км от его устья (обн. 29а, наша нумерация). Они наблюдаются у уреза воды и на склоне невысокого (1.5–2.5 м) берега, прослеживаясь по реке на расстоянии 320 м (рис. 1). Фосфоритоносные слои яйюской свиты (C_{1-3jj}) с углами падения 30–55° простираются в субширотном направлении, дважды сменяясь по тектоническим причинам силицитами няньворгинской ($D_3 - C_{1nv}$) свиты. В верхнем (по течению) реки конце обнажения тектоническая граница между свитами выражена ясно видимой зоной дробления шириной около 1 м, сложенной угловатыми обломками (1–2 см) няньворгинских фтанитов и зеленовато-серым песчаным заполнителем полимиктового состава. Контактующие песчаники яйюской свиты мощностью более метра пронизаны многочисленными кальцитовыми жилками и сильно пиритизированы. Ниже зоны дробления по течению реки вскрыты:

Рис. 1. Местоположение района исследований (а), фрагмент геологической карты (б), геологический план (в), стратиграфическая колонка (г) и геологический разрез (д) каменноугольных отложений яйюской свиты в обн. 29а на р. Няньворгавож

Fig.1. Location of the study area (a), fragment of geological map (б), geological plan (в), stratigraphic column (г) and geological section (д) of carboniferous formation in outcrop 29a of yayyu suite on the river Nyanvorgavozh

Пачка 1. Известковые граувакковые песчаники, алевролиты и аргиллиты с текстурами, характерными для отложений турбидных потоков. Основания слоев песчаников зеленовато-серого цвета сложены средне- или мелкозернистыми разновидностями, которые вверх по разрезу к кровле постепенно переходят в тонкозернистые. Выше располагаются темно-серые алевролиты и аргиллиты. В алевролитах наблюдается тонкая горизонтальная слоистость. Такие ассоциации пород образуют элементарные циклиты. Мощность циклитов в нижней части пачки обычно 0.3–0.5 м, в верхней — 0.10–0.15 м. Иногда в песчаниках проявляется шаровидная отдельность. Судя по структурно-текстурным признакам, слои залегают нормально, а разрез направлен снизу вверх по течению. Мощность 15 м.

Ниже по реке наблюдается задернованный интервал длиной в 4 м и далее выходы тонкопереслаивающихся (2–10 см) фтанитов, кремнистых и глинистых сланцев общей мощностью около 14 м. Участками сланцы сильно изменены, вплоть до желто-коричневых глин. Эти отложения нами условно отнесены к няньворгинской свите. Ниже по реке слои находятся в опрокинутом залегании.

Пачка 2. Известковые алевролиты голубовато-серого цвета с конволютной и тонкогоризонтальной слоистостью с прослоями тонкозернистых песчаников. Мощность 3 м.

Пачка 3. Углеродисто-кремнисто-глинисто-карбонатные сланцы черного цвета с листоватой отдельностью. Породы мажут руки черным цветом. Мощность 9 м.

Пачка 4. Углеродисто-кремнистые и глинистые сланцы, радиоляриевые фтаниты с включениями конкреций фосфоритов. Фосфориты в нижней части пачки образуют конкреционный горизонт мощностью 0.6 м. Встречаются линзы темно-серых известняков мощностью 0.25 м и длиной от 0.4 до 3.0 м. Наблюдается множество включений выветрившего пирита. Мощность 22 м.

Перерыв обнаженности 2.5 м по мощности.

Пачка 5. Тонкое переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов, образующих маломощные циклиты. Мощность 3.5 м.

Перерыв обнаженности 2 м по мощности.

Пачка 6. Переслаивание песчанистых и алевролитовых известняков, глинисто-известковых сланцев. В кровле пачки залегает слой темно-серого биокластового известняка мощностью 0.6 м, в котором обнаружен башкирско-раннемосковский комплекс конодонтов *Idiognathoides marginodosus* Grayson, *I. aff. pacificus* Savage, *I. onachitensis* Harlton, *I. sulcatus* Higgins et Bouckaert, *Streptognathodus expansus* Ido et Koike, *S. parvus* Dunn, *S. suberectus* Dunn, *Idiognathodus incurvus* Dunn (опр. А. С. Алексеев) и фораминифер *Parastaffella moelleri* (Ozawa), *Par. cf. timanica* (Raus.), *Par. exgr. pseudosphaeroides* Dutk., *Par. sp. Pseudostaffella ex gr. Antiqua* (Dutk.), *Asteroarchaediscus rugosus* Raus, *Ast. sp.*, *Schubertella sp.* (опр. З. П. Михайлова). Мощность 2.1 м.

Пачка 7. Углеродисто-кремнистые и глинистые сланцы, радиоляриевые фтаниты с включениями фосфоритовых конкреций. Встречаются линзы темно-серых биокластовых известняков. В одном из них (0.25 м по мощности) содержится смешанный ранне-, среднекаменноугольный комплекс конодонтов *Gnathodus bilineatus* (Roundy), *Paragnathodus nodosus* (Higgins), *Idiognathoides sinuatus* Higgins et Hollingsworth, *Idiognathodus delicatus* Gunnell, *Declinognathodus noduliferus* Ellison et Graves, *Streptognathodus* sp. (опр. А. В. Журавлев) и среднекамен-

ноугольные фораминиферы *Eostaffella cf. postmosquensis acutiformis* Hir, *Parastaffella ex gr. timanica* Raus., *Pseudostaffella ex gr. antiquagrandis* Schluk., *Asteroarchaediscus baschkiricus* Krest., *Globivolvulina minima* Reitl (опр. З. П. Михайлова). Во второй линзе в 5 м выше по разрезу от первой определены только среднекаменноугольные конодонты *Declinognathodus noduliferus* Ell. et Grav. (опр. А. В. Журавлев). Мощность 18 м.

Перерыв обнаженности 2.5 м.

Пачка 8. В нижней части пачки (1.5 м) глинисто-известковые сланцы темно-серого цвета до черного сменяются после задернованного интервала (5 м по мощности) переслаивающимися известковыми песчаниками, алевролитами и глинисто-известковыми сланцами. Мощность 11.5 м.

Перерыв обнаженности мощностью 6 м, обусловленный, вероятно, тектоническим нарушением. Ниже по течению вскрыты прослои белых мраморовидных известняков мощностью 0.5–1 м, чередующиеся с прослоями фтанитов и глинисто-кремнистых сланцев мощностью 0.5–1.2 м). Ниже по течению (выше по разрезу?) залегают глинисто-известково-кремнистые и глинисто-кремнисто-доломитовые сланцы, известково-доломитово-глинистые силициты, алевроитовые и кремнистые известняки общей мощностью около 8 м. Эти литотипы характерны для нижнекаменноугольной части яйюской свиты. Из известняков этого интервала выделены конодонты плохой сохранности раннекаменноугольного облика. Общая мощность интервала переслаивания составляет 3.7 м.

Перерыв обнаженности 0.5 м (задернованное тектоническое нарушение).

Пачка 9. Песчаники, алевролиты и глинистые сланцы с ясно наблюдаемыми текстурами цикла Боума. Слои залегают нормально, разрез наращивается снизу вверх по течению. В линзовидных прослоях биокластового известняка найден смешанный среднекаменноугольно-раннепермский(?) комплекс конодонтов *Neognathodus dilatus* Merrill, *N. symmetricus* (Lane), *Idiognathoides sulcatus* Higgins et Bouckaert, *I. sinuatus* Harris et Hollingsworth, *Idiognathodus delicatus* Gunnell среднекаменноугольного возраста и *Streptognathodus aff. ruzhncevi* Kozur, *S. cf. barskovi* Kozur, *S. aff. Alekseevi* Barskov et al. (определяли А. С. Алексеев и А. В. Журавлев). Мощность 40 м.

Общая мощность средне- и верхнекаменноугольных отложений в рассматриваемом обнажении составляет 100–120 м.

Нижнюю часть разреза этого обнажения, включая пачку с фосфоритовыми конкрециями (пачка 4), В. Н. Пучков принимал за нижнекаменноугольные отложения. Отложения верхней части разреза на основании находок конодонтов и фораминифер были отнесены им к среднему карбону. Учитывая, что в нескольких сотнях метров выше по реке находятся типичные нижнекаменноугольные отложения яйюской свиты (обн. 28 на рис. 1, б; нумерация по А. И. Елисееву [11]), он отмечал: «Получается любопытная картина: верхи толщи нижнего карбона на рассматриваемом участке представлены отложениями, близкими по облику к харутско-хойлинскому типу, тогда как средний карбон в том же разрезе обладает всеми чертами, характерными для отложений пальникско-яйюского типа. По-видимому, подобные разрезы отвечают области перехода между зонами стабильного развития отложений того и другого типов» [16]. Важно заметить, что в то время в среднекаменноугольных отло-

жениях яйюской свиты на юге Лемвинской СФЗ были сделаны лишь первые находки органических остатков.

По нашим представлениям, в обн. 29а наблюдается более сложное строение геологического разреза, чем представлялось ранее. Нижние по течению выходы переслаивающихся песчаников, алевролитов и глинистых сланцев имеют позднекаменноугольный возраст и залегают нормально (пачка 9), в отличие от слоев среднекаменноугольных отложений основной части обнажения (пачки 2–8), имеющих опрокинутое залегание. По-видимому, между охарактеризованными органическими остатками средне- и верхнекаменноугольных отложений присутствует блок (или «чешуя») нижнекаменноугольных пород, представленных характерными белыми мраморовидными карбонатолитами, известково-кремнистыми и глинисто-кремнисто- доломитовыми сланцами, известково-доломитово-глинистыми силицитами, алевроитовыми и кремнистыми известняками. Фосфоритовые конкреции связаны с двумя мощными пачками 4 и 7, сложенными углеродисто-кремнистыми и глинистыми сланцами и фтанидами, датированными среднекаменноугольными конодонтами и фораминиферами. Сложная тектоника района не исключает повтора разреза в среднекаменноугольной части обнажения.

Сходные породы яйюской свиты находятся на правобережье р. Няньворгаж в разрезе руч. Кытшильшор в 2.5 км от его устья и около 3 км на север от обн. 29а. Выходы свиты на этом участке наблюдаются вдоль русла, имеющего субширотное направление, в невысоких береговых обнажениях, и прослеживаются с перерывами на расстоянии 280 м вниз по течению. Разрез сложен пачками терригенного, глинисто-кремнистого и глинисто-карбонатного состава. Терригенные пачки сложены тонкозернистыми граувакковыми песчаниками, алевролитами и глинистыми сланцами. Переслаивающиеся породы этой пачки образуют мелкие (2–5 см) турбидитовые циклиты. Глинисто-кремнистые пачки сложены фтанидами, кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами с линзами темно-серых пелитоморфных и мелкодетритовых известняков. В глинисто-кремнистых сланцах наблюдаются редкие округло-сплюснутые фосфоритовые конкреции темно-серого цвета, диаметром 1–5 см. Глинисто-карбонатные пачки сложены алевроитистыми известняками и углеродисто-глинисто-известковыми сланцами.

Ассоциация фосфоритовых конкреций с углеродисто-кремнистыми-глинистыми сланцами и фтанидами очень характерна для каменноугольных отложений лемвинской СФЗ Урала и Пай-Хоя. По разрезу она распространена в верхах няньворгинской свиты (первый фосфатоносный уровень), а наиболее ярко выражена в отложениях серпуховского яруса центральной подзоны (воргашорская свита). На Пай-Хое такая ассоциация развита в каменноугольных отложениях нижней части карасиловской свиты карской сланцевой зоны. Связь фосфоритов с фтанидами, углеродисто-кремнистыми и углеродисто-глинистыми сланцами в других регионах отмечена в работе [8].

Судя по строению разреза обн. 29а на р. Няньворгаж, в среднекаменноугольное время в этой относительно глубоководной части бассейна было некоторое затишье в «лавинной седиментации». В спокойных гидродинамических условиях формировались углеродисто-глинисто-кремнистые осадки, богатые ОВ и фос-

фатным веществом. В диагенезе при активном участии сульфатредуцирующих бактерий (на это указывают образования фрамбоидов пирита) происходило перераспределение вещества, растворение опаловых скелетов радиолярий, а иногда замещение их стенок фторкарбонатом. Вначале, по-видимому, возникли отдельные фосфатные сгустки и комки, которые, соединяясь, образовывали участки неправильной формы со скрытокристаллической структурой (первая генерация фосфатов). Позднее промежутки между этими фосфатными участками заполнялись фосфатно-известково-кремнистым веществом. В это время образовались фосфатные корки с радиально-лучистым строением, отдельные короткостолбчатые кристаллы и их агрегаты (вторая генерация фосфатов), новообразованные микрозернистые кварц и кальцит. Завершился процесс диагенетического минералообразования появлением крупных выделений пирита. На это указывают его хаотичное распространение в поровом пространстве и включения в нем сростков кристаллов фосфата кальция. Рост конкреций, судя по минеральным ассоциациям аутигенных минералов, происходил в умеренно-восстановительной и слабощелочной обстановке, что вообще характерно для образования фосфоритов [10]. Развитие межзернового кливажа, серицит-хлоритовая минеральная ассоциация глинистых пород яйюской свиты, индекс окраски конодентов (ИОК) 5–6 и их сплюснутая форма, сутурные швы во фтанидах свидетельствуют об их постседиментационных изменениях, отвечающих стадии глубинного катагенеза [14, 25].

Ранее считались перспективными на фосфориты среднекаменноугольные отложения воргашорской свиты Лемвинской СФЗ Полярного Урала [12], в которых выявлена фосфатоносная пачка мощностью от 36 до 144 м с двумя фосфоритовыми горизонтами. Запасы P_2O_5 в нижнем горизонте оценены в 13 млн т. Необходимо отметить путаницу в определении возраста, мощности и положения в разрезе отложений фосфатоносной пачки воргашорской свиты (центральная подзона). Фосфориты в этой свите прослеживаются на расстоянии более 150 км от р. Колокольни (бассейн р. Харуты) на юге до руч. Манитшор (правый приток р. Елец) на севере. В типовых разрезах в бассейнах рек Харуты (лемвинской) и Б. Хойлы фосфориты приурочены к пачке углеродисто-кремнистых и углеродисто-глинистых сланцев мощностью 6–10 м с единичными прослойками и линзами известняков. Конкреционный горизонт залегает на пачке глинистых, алевроитовых и песчаных известняков мощностью до 10 м и перекрывается пачкой стально-серых кремнисто-глинистых сланцев («массивные» сланцы по Г. К. Войновскому-Кригеру). Соответствующий фосфатоносный уровень использовался в качестве литологического маркера [7]. Фосфатный состав конкреций был впервые определен А. И. Елисеевым, который относил их в то время к нижнему карбону [11]. Залегание конкреционного горизонта в разрезе воргашорской свиты на алевролитово-известняковой пачке было установлено воркутинским геологом А. И. Водолазским [5]. Однако, указывая раннекаменноугольный комплекс конодентов в своей диссертационной работе, он по неясным причинам отнес их к башкирскому ярусу. Вслед за ним возраст отложений, вмещающих фосфориты, стали датировать средним карбоном [15]. К. Г. Войновский-Кригер ошибочно располагал конкреционный горизонт под алевроито-известковой пачкой, и это вслед за ним повторяли другие

исследователи. По нашим данным, в углеродисто-кремнистых сланцах воргашорской свиты, вмещающих фосфориты на р. Б. Хойла, содержатся раннекаменноугольные конодонты *Gnathodus ex gr. bilineatus*, *Gnathodus sp.*, *Paragnathodus commutatus* (Branset. Mehl), *Par. homopunctatus* (Zied), *Cavusgnathus sp. indet* — обр. 100/109 и *Gnathodus bilineatus bilineatus* (Roundy), *Paragnathodus mononodosus* (Rhodes, Austin et Druce), *Par. symmutatus* Rhodes, Aust. et Druce, *Par. commutatus* (Branset. Mehl) — обр. 100/124 (опр. Л. С. Колесник). В обн. 109 на руч. Харота-Шор (бассейн р. Елец) установлены *Gnathodus bilineatus ballandensis* Higg. et Bouckaert, *Gnathodus bilineatus bilineatus* Roundy, *Paragnathodus nodosus* (Bischoff), *Gnathodus symmutatus* hodes, Austin et Druce (опр. А. В. Журавлева), указывающие на серпуховский возраст отложений, вмещающих фосфориты. А. В. Журавлевым на р. Харуте, в районе устья р. Колокольни, в данной пачке также были найдены и определены раннекаменноугольные конодонты. Максимальная мощность фосфатоносной пачки в воргашорской свите всего 10 м, в то время как в среднекаменноугольных отложениях яйюской свиты она достигает 20 м и более, и, возможно, таких пачек в разрезе две. Нам представляется, что будущие находки фосфоритов следует связывать с яйюской свитой восточной подзоны Лемвинской СФЗ.

В яйюской свите фосфориты встречены в двух пачках. В нижней пачке 4 они образуют желваковый горизонт мощностью 0.6 м, сложенный рассеянными (10 штук на 0.5 м²) черными конкрециями размером 1–5 см, подразделяющимся по форме [1] на округлые, округло-удлиненные и уплощенно-округлые (рис. 2). Отмечаются срастания конкреций с образованием желваков гантелевидной формы. Внутреннее строение конкреций однородное или концентрически-зональное, выраженное распределением включений пирита. Фосфатное вещество в конкрециях имеет несколько структур: скрытокристаллическую (пелитоморфную), сгустково-комковатую,

биоморфную, радиально-лучистую и кристаллическую короткостолбчатую.

Скрытокристаллическая (пелитоморфная) структура, преобладающая по распространению (рис. 3, а, б, г), наблюдается на участках неправильной формы размером до миллиметра, иногда более темного цвета, вероятно, из-за включений рассеянного органического вещества. В некоторых из них распространены тонкие трещины, vyplненные чаще микрозернистым кварцем, придающим фосфатным зернам обломочную «микробрекчивую» структуру. Встречены конкреции с преобладанием сгустково-комковатой структуры (рис. 3, в). Комки разные по размеру, цветовой насыщенности и формам — от правильно-округлых и непрозрачных до светло-коричневых неправильной формы. Комки сложены пелитоморфным апатитом, а в сгустковых участках отмечаются и отдельные столбчатые кристаллы. Микробиоморфная структура в конкрециях обусловлена фосфатизированными скелетами радиолярий (рис. 3, а). Крустификационная микроструктура характерна для участков, на которых фосфаты образуют микрокорки, обрастающие обломочные зерна терригенных минералов, например кварца, хлорита (рис. 3, а, б). Такие корки выделяются светло-коричневым цветом, имеют толщину 5–10 мкм, сложены параллельно-шестоватыми агрегатами индивидов апатита призматического габитуса. Когда такие микрокорки обрастают пылеватыми частицами, последние приобретают сходство со сферолитами. Значительную часть конкреций занимают гроздьевидные агрегаты прихотливой формы, состоящие из очень мелких фосфатных сферолитов, граница между которыми слабо различима. В промежутках между фосфатными гроздьевидными агрегатами наблюдаются отдельные призматические индивиды апатита длиной 2–5 мкм, иногда образующие звездчатые сростки, а также зерна аутигенного кварца и кальцита. Судя по микроструктурным соотношениям индивидов,

Рис. 2. Форма и размеры среднекаменноугольных фосфоритовых конкреций в яйюской свите

Fig. 2. Shape and dimensions of middle carboniferous phosphorite concretions in yauyu suite

Рис. 3. Микроструктура фосфатных конкреций под поляризационным микроскопом в режимах без анализатора (а, в, г) и с анализатором (б): а, б, г — участки с пелитоморфной и радиально-лучистой микроструктурами; в — участок со сгустково-комковатой микроструктурой

Fig. 3. Microstructure of phosphate concretions under polarizing microscope in modes without analyzer (a, v, g) and with analyzer (b): a, b, u — areas with pelitomorphic and radiating microstructures; v — area with clot-lumpy microstructure

апатит в фосфатных конкрециях представлен несколькими генерациями. В частности, можно утверждать, что идиоморфный и микрокорковый апатиты образовались позднее фосфатов с пелитоморфной структурой.

Характерным минералом исследуемых конкреций является диагенетический пирит — продукт микробиальной сульфатредукции с последующим сульфидообразованием. Этот минерал встречается как в рассеянном по всему объему конкреции виде, так и в форме сегрегаций в виде зоннок шириной 5–7 мм, расположенных на краях конкреций. Пирит представлен преимущественно отдельными индивидами кубического габитуса, но встречаются и микроагрегации фрамбоидов мезонанометрового размера (рис. 4, а, г), которые обычно относят к раннему диагенезу. Самые крупные кристаллы пирита содержат фосфатные включения (рис. 4, в), иногда в виде звездчатых микросростков, что указывает на более позднее образование таких кристаллов.

Рис. 4. СЭМ-изображения микростроения фосфоритов в режиме упругоотраженных электронов: а — радиолария, замещенная апатитом (в центре); б — кремнисто-фосфатная псевдоморфоза по скелету радиоларии; в — метакристалл пирита с включениями апатита; г — агрегация раннедиагенетического фрамбоидального пирита

Fig. 4. SEM images of microstructure of phosphorites in the elastically backscattered electrons mode: а — radiolarian substituted by apatite (in center); б — siliceous phosphate pseudomorphosis on radiolaria skeleton; в — metacrystal of pyrite with inclusions of apatite; г — early diagenetic framboidal pyrite aggregation

Кальцит микритовой размерности совместно с кварцем и апатитом заполняет в конкрециях поры и пустоты внутри скелетов радиоларий. Кроме того, в трещинах отмечается более крупнозернистый кальцит с размером зерен 100–700 мкм. Судя по микроструктурным отношениям, кальцит образовался в конкрециях самым последним. На участках своего сгущения кальцит напоминает микроцемент прорастания, типичный для известковых песчаников. Возможно, кальцит, также как апатит, представлен в исследуемых конкрециях несколькими генерациями. Распространение обломочных минералов алевритовой размерности ограничено в конкрециях участками развития пелитоморфного фосфата.

Валовый химический состав фосфоритовых конкреций (мас. %): SiO_2 45.28–45.86; TiO_2 0.09–0.12; Al_2O_3 1.08–3.53; Fe_2O_3 0.51–1.41; FeO 0.36–1.08; MgO 0.46–0.62; CaO 25.41–28.88; Na_2O 0.50–1.44; K_2O 0.22–0.46; P_2O_5 18.25–19.25; SO_3 0.34–0.50; CO_2 0.57–0.78; F 3.0–3.9. Апатитовые модули: $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5 = 1.39–1.50$; $\text{CO}_2/\text{P}_2\text{O}_5 = 0.04–0.09$; $\text{F}/\text{P}_2\text{O}_5 = 0.16–0.18$. Судя по этим данным, фосфатное вещество в исследуемых конкрециях сложено фторкарбонатапатитом.

Фазовый состав конкреций определялся рентгеноструктурным и ИК-спектроскопическим методами. На рентгеновской дифрактограмме (рис. 5) присутствуют практически все апатитовые отражения и, кроме того, регистрируются важнейшие терригенные минералы. Расчётные параметры элементарной ячейки фосфата кальция составили (нм) $a_0 = 0.936$, $c_0 = 6.89$. Эти данные отвечают фторкарбонатапатиту В-типа (изоморфное замещение $\text{CO}_3 \rightarrow \text{PO}_4$), преобладающему в фосфатоносных породах и рудах как экзогенного [4, 9], так и гипергенного [21] происхождения.

Рентгеноструктурная диагностика апатита убедительно подтверждается спектроскопическим методом. В соответствующих спектрах наблюдается хорошо выраженная система линий ИК-поглощения, обусловленных валентными и деформационными колебаниями групп PO_4 и CO_3 (рис. 6), причем положение линий последних (873, 1419, 1453 cm^{-1} и др.) свидетельствует о замещении в структуре апатита именно по схеме $\text{CO}_3 \rightarrow \text{PO}_4$.

Химический состав фторкарбонатапатита был осуществлен рентгеноспектральным микрозондовым методом. На основании полученных результатов были рассчитаны эмпирические формулы минерала:

Рис. 5. Типичная рентгеновская дифрактограмма, полученная от фосфоритовой конкреции. Межплоскостные расстояния приведены в Å. Минералы: Ап — фторкарбонатапатит, Хл — хлорит, Гсл — диоктаэдрическая гидрослюда, Пш — альбит, Кв — кварц

Fig. 5. Typical X-ray diffraction pattern obtained from a phosphorite concretion. Interplanar distances are given in Å. Minerals: Ап — fluorocarbonatapatite, Хл — chlorite, Гсл — dioctahedral hydromica, Пш — albite, Кв — quartz

Рис. 6. Типичный спектр ИК-поглощения в исследуемых фосфоритовых конкрециях

Fig. 6. Typical spectrum of IR absorption in studied phosphorite concretions

1 — $(\text{Ca}_{9.91}\text{Fe}_{0.09})_{10}[(\text{PO}_4)_{4.07}(\text{SiO}_4)_{0.10}(\text{SO}_4)_{0.23}(\text{CO}_3)_{1.60}]_6\text{F}_{3.73}$; 2 — $(\text{Ca}_{9.82}\text{Fe}_{0.08}\text{Sr}_{0.10})_{10}[(\text{PO}_4)_{5.29}(\text{SO}_4)_{0.03}(\text{CO}_3)_{0.68}]_6(\text{Cl}_{0.10}\text{F}_{2.61})_{2.71}$; 3 — $\text{Ca}_{10}[(\text{PO}_4)_{5.30}(\text{SiO}_4)_{0.16}(\text{SO}_4)_{0.19}(\text{CO}_3)_{0.35}]_6\text{F}_{2.38}$; 4 — $(\text{Ca}_{9.80}\text{Fe}_{0.05}\text{Sr}_{0.15})_{10}[(\text{PO}_4)_{5.51}(\text{SO}_4)_{0.15}(\text{CO}_3)_{0.34}]_6(\text{Cl}_{0.07}\text{F}_{2.42})_{2.49}$; 5 — $(\text{Ca}_{9.90}\text{Fe}_{0.10})_{10}[(\text{PO}_4)_{5.24}(\text{SiO}_4)_{0.28}(\text{SO}_4)_{0.22}(\text{CO}_3)_{0.26}]_6(\text{Cl}_{0.04}\text{F}_{2.16})_{2.20}$. Из приведенных данных следует, что в фосфоритовых конкрециях из яйюской свиты фосфатное вещество сложено фторкарбонат-апатитом с небольшой примесью хлора и значительными изоморфными замещениями как в катионной, так и анионной подрешетках. Основной изоморфной примесью в последней является углерод, замещающий фосфор на 4–27 ат. %. Характеризующий степень замещения фосфора коэффициент Ca/P варьируется в пределах 1.78–1.90.

Нормативно-минеральный состав исследуемых конкреций может быть определен следующим образом (мол. %): карбонатфтор-апатит 42.45–47.08; кварц 37.14–44.83; слюда 2.01–4.17; хлорит 1.06–1.42; альбит 1.47–11.76; кальцит 1.58–2.17; пирит 1.72–1.84; оксид титана 0.07–0.09; оксид и гидроксид железа 0.87–1.05.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлено более сложное, чем это считалось ранее, строение геологического разреза каменноугольных отложений на р. Няньворгаж с участием пород верхнего карбона, охарактеризованных фауной. Находками фораминифер и конодонтов обоснован позднебашкирско-раннемосковский возраст фосфоритовых конкреций. Состав последних варьируется от известково-фосфатно-кремнистого до известково-кремнисто-фосфатного, что в целом отвечает богатым фосфоритовым рудам. Впервые проведенные рентгеноструктурно-спектроскопические анализы привели к выводу о том, что фосфатное вещество в фосфоритовых конкрециях нацело сложено фторкарбонат-апатитом со значительными изоморфными замещениями в катионной (Sr , Fe^{2+}) и анионной (C^{4+} , Si^{4+} , S^{6+}) подрешетках. Перспективной для поисков фосфоритов в углеродисто-кремнистых пачках следует считать яйюскую, а не воргашорскую свиту.

Автор благодарит В. И. Силаева за полезные рекомендации и помощь при выяснении состава апатита, А. В. Журавлева, З. П. Михайлову, А. С. Алексеева и

Л. С. Колесник за определения органических остатков; В. Н. Филиппова, Б. А. Макеева и М. Ф. Самотолкову, Ю. В. Глухова за сотрудничество в электронно-микроскопических, рентгеноструктурных и спектроскопических исследованиях.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 15-18-5-47.

Литература

1. Атлас конкреций / Под ред. А. В. Македонова, Н. Н. Предтеченского. Л.: Недра, 1988. 323 с. (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. Т. 340).
2. Блисковский В. З. Геохимия и особенности концентрации элементов-примесей в фосфоритах // Геохимия. 1967. № 12. С. 1508–1512.
3. Блисковский В. З. О курските и франколите // Литология и полезные ископаемые. 1976. № 3. С. 75–84.
4. Блисковский В. З. Вещественный состав и обогащенность фосфоритовых руд. М.: Недра, 1983. 200 с.
5. Водлазский А. И. Палеозойские отложения и особенности геологического развития Лемвинской зоны Полярного Урала: Дис.... канд. г.-м. н. / Комигеолфонд, Сыктывкар. Воркута, 1983.
6. Войновский-Кригер К. Г. Два комплекса палеозоя на западном склоне Полярного Урала // Советская геология. 1945. № 6. С. 27–44.
7. Войновский-Кригер К. Г. Каменноугольные отложения Лемвинской фациально-структурной зоны (западный склон Полярного Урала) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1963. Т. 37. № 2. С. 56–77.
8. Горбачева О. В. Кремнистые породы углеродистых формаций и их геохимические особенности // Литология и полезные ископаемые. 1985. № 3. С. 111–119.
9. Занин Ю. Н. Вещественный состав фосфатных кор выветривания и связанных с ними месторождений фосфатов. Новосибирск: Наука, 1975. 210 с. (Тр. Института геологии и геофизики. Вып. 195).
10. Занин Ю. Н. Петрография фосфоритов. Новосибирск: Наука, 1992. 192 с. (Тр. Института геологии и геофизики. Вып. 813).
11. Елисеев А. И. Карбон Лемвинской зоны севера Урала. Л.: Наука, 1973. 95 с.
12. Илларионов В. А., Василевский Н. Д., Павлов А. М. Фосфориты // Агроминеральное и горно-химическое сырье Европейского Северо-Востока СССР / Под ред. В. А. Дедеева. Сыктывкар: Изд-во Коми филиала АН СССР, 1987. С. 5–25.
13. Карпова М. И., Крутиков В. Ф., Логинова Э. И., Варфоломеева Е. К., Гуськов В. Г. Изоморфизм замещения ракушечных фосфоритов Прибалтийско-Ладожского бассейна // Проблемы геологии фосфоритов: Тезисы докладов и путеводитель VI Всесоюзного совещания. Таллин, 1988. С. 73.
14. Логвиненко Н. В., Орлова Л. В. Образование и изменение осадочных пород на континентах и в океанах. Л.: Недра, 1987. 233 с.
15. Осадочные формации Лемвинской зоны Урала и перспективы их рудоносности / А. И. Елисеев, Я. Э. Юдович, А. А. Беляев, Г. Ф. Семенов. Сыктывкар, 1986. 28 с. (Сер. препринтов сообщений «Научные доклады» Коми ФАН СССР, вып. 151).
16. Пучков В. Н. Батильные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 1979. 259 с.
17. Салдин В. А. Новые данные по стратиграфии верхнепалеозойских отложений Лемвинской зоны Урала // Доклады АН. 1993. Т. 332. № 4. С. 476–478.

18. Салдин В. А. Флишоподобная каменноугольная формация Лемвинской зоны // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Европейского Северо-Востока России: Тез. докл. науч. конф. Сыктывкар, 1994. Т. 2. С. 126–128.

19. Салдин В. А. Верхнепалеозойские флишевые формации севера Урала как индикаторы палеодинамики // Вестник Института геологии. 2005. № 10. С. 2–5.

20. Салдин В. А. Фосфатность верхнепалеозойских отложений Лемвинской зоны Урала // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли: Материалы 5-го Всероссийского литологического совещания. Екатеринбург: Изд-во ИГГ УрО РАН, 2008. Т. 1. С. 238–241.

21. Силаев В. И. Минералогия фосфатных кор выветривания (Полярный Урал). СПб.: Наука, 1996. 136 с.

22. Шишкин М. А. Тектоника юга Лемвинской зоны (Полярный Урал) // Геотектоника. 1989. № 3. С. 86–95.

23. Юдин В. В. Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: Наука, 1994. 285 с.

24. Юдович Я. Э., Шишкин М. А., Лютиков Н. В., Кетрис М. П., Беляев А. А. Геохимия и рудогенез черных сланцев Лемвинской зоны севера Урала. Сыктывкар: Пролог, 1998. 340 с.

25. Япашкурт О. В. Стадиальный анализ литогенеза: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1994. 142 с.

References

1. *Atlas konkretsiy* (Atlas of concretions). Editors: Makedonov A. V., Predtechensky N. N. Leningrad, Nedra, 1988, 323 pp.

2. Bliskovskii V. Z. *Geokhimiya i osobennosti kontsentratsii elementov-primesei v fosforitakh* (Geochemistry and concentration of impurities in phosphorites). Geokhimiya, 1967, No. 12, pp. 1508–1512.

3. Bliskovskii V. Z. *O kurskite i frankolite* (About kurskite and francolite). *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1976, pp. 75–84.

4. Bliskovskii V. Z. *Veschestvennyi sostav i obogatimost fosforitovykh rud* (Material composition and washability of phosphorite ores). Moscow, Nedra, 1983, 200 pp.

5. Vodolazskii A. I. *Paleozoiskie otlozheniya i osobennosti geologicheskogo razvitiya Lemvinskoi zony Polyarnogo Urala* (Paleozoic deposits and features of geological development of Lemva zone of Polar Urals). PhD Dissertation, Vorkuta, 1983.

6. Voinovskii-Kruger K. G. *Dva kompleksa paleozoya na zapadnom sklone Polyarnogo Urala* (Two Paleozoic complexes on western slope of Polar Urals). *Sovetskaya geologiya*, 1945, No. 6, pp. 27–44.

7. Voinovskii-Kruger K. G. *Kamennougolnye otlozheniya Lemvinskoi fatsialno-strukturnoi zony (zapadnyi sklon Polyarnogo Urala)* (Carboniferous deposits of Lemva facies structural zone (western slope of Polar Urals). *Byull. MOIP. Geological department*, 1963, V.37, No. 2, pp. 56–77.

8. Gorbacheva O. V. *Kremnistye porody uglerodistykh formatsii i ih geokhimicheskie osobennosti* (Siliceous rocks of carbonaceous formation and their geochemical features). *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1985, No. 3, pp. 111–119.

9. Zanin Yu. N. *Veschestvennyi sostav fosfatnykh kor vyvetrivaniya i svyazannykh s nimi mestorozhdenii fosfatov* (material composition of phosphate weathering crusts and related phosphates). Novosibirsk, Nauka, 1975, 210 pp.

10. Zanin Yu. N. *Petrografiya fosforitov* (Petrography of phosphorites). Novosibirsk, Nauka, 1992, 192 pp.

11. Eliseev A. I. *Karbon Lemvinskoi zony Severa Urala* (Carboniferous Lemva zone of Northern Urals). Leningrad, Nauka, 1973, 95 pp.

12. Illarionov V. A., Vasilevskii N. D., Pavlov A. M. Fosfority (Phosphorites). *Agromineralnoe i gorno-himicheskoe syre Evropeiskogo Severo-Vostoka SSSR* (Agromineral and mining chemical raw of European North-East of the USSR). Editor V.A. Dedeev, Syktyvkar, Komi filial AN SSSR, 1987, pp. 5–25.

13. Karpova M. I., Krutikov V. F., Loginova E. I., Varfolomeeva E. K., Guskov V. G. *Izomorfizm zamescheniya rakushechnykh fosforitov Pribaltiiskogo-Ladozhskogo basseina* (Isomorphism of substitution of shell phosphorites of Baltic-Ladoga basin). *Problemy geologii fosforitov* (Problems of phosphorite geology). Proceedings of conference. Tallin, 1988, pp. 73

14. Logvinenko N. V., Orlova L. V. *Obrazovanie i izmenenie osadochnykh porod na kontinentakh i v okeanakh* (Formation and change of sedimentary rocks on continents and in oceans). Leningrad, Nedra, 1987, 233 pp.

15. *Osadochnye formatsii Lemvinskoi zony Urala i perspektivy ih rudonosnosti* (Sedimentary formations of Lemva zone of the Urals and prospects of their ore content). A.I.Eliseev, Ya. E. Yudovich, A. A. Belyaev, G. F. Semenov. Syktyvkar, 1986, 28 pp.

16. Puchkov V. N. *Batialnye komplekсы passivnykh okrain geosinklinalnykh oblastei* (Batial complexes of passive margins of geosynclines regions). Moscow, Nauka, 1979, 259 pp.

17. Saldin V. A. *Novye dannye po stratigrafii verhnepaleozoiskikh otlozhenii Lemvinskoi zony Urala* (New data on stratigraphy of Upper Paleozoic deposits of Lemva zone of the Urals). *Doklady AN*, 1993, V. 332, No. 4, pp. 476–478.

18. Saldin V. A. *Flishoidnaya kamennougolnaya formatsiya Lemvinskoi zony* (Flish carboniferous formation of Lemva zone). *Geologiya i mineralno-syrevye resursy evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii* (Geology and mineral resources of European North-East of Russia) Proceedings of conference. V. 2, Syktyvkar, 1994, pp. 126–128.

19. Saldin V. A. *Verhnepaleozoiskie flishevye formatsii severa Urala kak indikator paleodinamiki* (Upper Paleozoic flish formation of Northern Urals as indicators of paleodynamics). *Vestnik of Institute of geology*, 2005, No. 10, pp. 2–5.

20. Saldin V. A. *Fosfatnost verhnepaleozoiskikh otlozhenii Lemvinskoi zony Urala* (Phosphate content of deposits of Lemva zone). *Tipy sedimentogeneza i litogeneza i ih evolyutsiya v istorii Zemli* (Types of sedimentogenesis and lithogenesis and their evolution) Proceedings of conference, V. 1, Ekaterinburg, IGG UB RAS, 2008, pp. 238–241.

21. Silaev V. I. *Mineralogiya fosfatnosnykh kor vyvetrivaniya (Polyarnyi Ural)* (Mineralogy of phosphate-bearing weathering crusts (Polar Urals)). St. Petersburg, Nauka, 1996, 136 pp.

22. Shishkin M. A. *Tektonika yuga Lemvinskoi zony (Polyarnyi Ural)* (Tectonics of southern Lemva zone). *Geotektonika*, 1989, No.3, pp. 86–95.

23. Yudin V. V. *Oroenez severa Urala i Pai-Hoya* (Orogenesis of Northern Urals and Pay-Khoy). Ekaterinburg, UIF Nauka, 1994, 285 pp.

24. Yudovich Ya. E., Shishkin M. A., Lyutikov N. V., Ketris M. P., Belyaev A. A. *Geokhimiya i rudogenez chernykh slantsev Lemvinskoi zony severa Urala* (Geochemistry and ore genesis of black shales of Lemva zone of Northern Urals). Syktyvkar, Prolog, 1998, 340 pp.

25. Yapashkur O. V. *Stadialnyi analiz litogeneza* (Stage analysis of lithogenesis). Text book. Moscow, MSU, 1994, 142 pp.