

**ФОСФОРИТЫ СТРЕЛЬНОГОРСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕГО РИФЕЯ
ТУРУХАНСКОГО ПОДНЯТИЯ, ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ**

А.В. Ивановская*, Ю.Н. Занин**

**Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт
191104, г. Санкт-Петербург, Литейный просп., 39*

E-mail: ins@vnigri.spb.su

***Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
630090, г. Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3*

Поступила в редакцию 18 июля 2007 г.

Изучены петрография, химико-минералогический состав и геохимия редкоземельных элементов желваковых фосфоритов стрельногорской свиты Туруханского поднятия Восточной Сибири, относимой к среднему рифею. Фосфориты приурочены к пластам песчаников, содержащих также глауконит. Фосфоритовые желваки, содержание P_2O_5 в которых достигает 31,5 %, уплощенные; при толщине не более двух сантиметров размер их в диаметре колеблется от 3 до 25 см. Для химического состава фосфоритов характерно низкое содержание CO_2 и Na_2O . Содержание $CO_2 < 1 \%$ позволяет рассматривать слагающий их фосфатный минерал как апатит, а не как типичный для фосфоритов карбонатапатит (франколит). Для нормированных по сланцам [Piper, 1974] содержаний редкоземельных элементов отмечается отсутствие отрицательной аномалии по Ce и положительная аномалия по Eu, что может указывать на восстановительную обстановку формирования фосфоритов. Наблюдаемая резко отрицательная аномалия по Yb и La, наряду с низким содержанием CO_2 и Na_2O , отвечает, по нашему мнению, преобразованию пород на стадии глубокого катагенеза-метагенеза. Суммарное содержание РЗЭ в одной из проб фосфоритов стрельногорской свиты, составившее 2978 г/т, является наиболее высоким из известных для фосфоритов, сложенных кальциевыми фосфатами.

Ключевые слова: *фосфориты, состав, РЗЭ, катагенез, стрельногорская свита, средний рифей, Туруханское поднятие, Восточная Сибирь.*

**PHOSPHORITES OF MIDDLE RIPHEAN STREL'NOGORSKAYA
FORMATION OF THE TURUKHANSK UPLIFT, EAST SIBERIA**

A.V. Ivanovskaya*, Yu.N. Zanin**

**All-Russia Research Institute of Petroleum Prospecting*

***Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of RAS*

The petrography, chemical-mineralogical composition, REE geochemistry of the Middle Riphean Strel'nogorskaya formation nodular phosphorites have been studied. Phosphorites are related to the sandstone beds which contain also glauconite. Nodular phosphorites are flat with 2 cm thickness and 3-25 cm in diameter. Their P_2O_5 content run up to 31,5 % with low content of CO_2 and Na_2O . The CO_2 content $< 1\%$ allows to determine phosphate mineral as apatite but not as carbonate-apatite (francolite). For the shale-normalized REE contents the absence of the Ce negative anomaly, the presence of the Eu positive anomaly and pronounced Yb and La negative anomaly are observed. It allows considering phosphorites of Strel'nogorsk formation as formed in the reducing environments and changed in the catagenetic processes. The sum of the REE contents in one of the samples of the Strel'nogorsk formation (2978 ppm) is the highest among known for the phosphorites composed of calcium phosphates.

Key words: *phosphorites, composition, catagenesis, Strel'nogorsk formation, Middle Riphean, Turukhansk Uplift, East Siberia.*

Введение

Докембрийские фосфориты не следует рассматривать в качестве экзотических образований. Они входят в, частности, в состав фосфатоносного бассейна Янцзы в Китае [Ильин, 1990], Араваллийского бассейна в Западной Индии [Банерджи и др., 1983], образуют месторождения и проявления на Енисейском кряже в Восточной Сибири [Смирнов, 1955, Злобин и др., 1986], в Западном Прибайкалье [Мац и др., 1956], Подолии [Малиновский, 1955], в бассейне Вольга в Западной Африке [Тромпетте и др., 1983] и др. Однако достаточно полное описание этих фосфоритов дается в публикациях далеко не всегда. Детальная характеристика среднерифейских фосфоритов стрельногорской свиты Туруханского поднятия в Восточной Сибири позволяет в известной мере восполнить этот пробел. Важными представляются аспекты преобразования первичного состава фосфоритов в условиях их катагенетической трансформации, включая как макро-, так и микроэлементный состав. Особенностью фосфоритов стрельногорской свиты является то обстоятельство, что они полностью лишены следов выветривания, которое нередко существенно влияет на химический состав. Таким образом, все отклонения состава рассматриваемых фосфоритов от фосфоритов более молодого возраста следует рассматривать как связанные с первичной их природой или с результатом воздействия факторов катагенеза, которое эти фосфориты претерпели.

Ранее в печати приводилось краткое описание стрельногорских фосфоритов, основанное исключительно на их петрографических особенностях [Ивановская, 1971]. Настоящая работа освещает эти фосфориты главным образом с точки зрения их геохимических характеристик.

Методы исследования

Первым этапом исследования являлось детальное полевое изучение стрельногорской свиты с выделением фосфатоносных интервалов в ее разрезе, фиксацией всех петрографических и текстурных особенностей пород, включая характер размещения в них собственно фосфоритов. Камеральная обработка сводилась в первую очередь к петрографическому анализу шлифов пород и фосфоритов в поляризационном микроскопе. Химическому анали-

зу подвергались только фосфориты с определением P_2O_5 , SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , F спектрофотометрическим, CaO – атомно-абсорбционным методом; Na_2O и K_2O – пламенной фотометрией, CO_2 – объемным методом. В процессе проведения анализов использовались стандартные образцы состава Ак, Ар, СГ-1а, СА. Среди микроэлементов определялось содержание РЗЭ (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Yb, Lu), U и Th. – наиболее характеристических элементов фосфоритов. Анализ осуществлялся инструментальным нейтронно-активационным методом. Чувствительность определения содержаний указанных микроэлементов составляла 0,1 г/т при относительной ошибке определений – 10 %. Все определения проводились в лабораториях Аналитического центра Института геологии и минералогии СО РАН. Для оценки точности определения содержаний РЗЭ нами был проанализирован также стандартный образец фосфорита 120b и проведено сравнение полученных данных с имеющимися в литературе результатами анализов концентрации в нем РЗЭ, осуществленных в лаборатории Лондонского университетского колледжа [McArthur et al., 1987] и в Активационной лаборатории Калифорнии [Kidder et al., 2003].

Общая характеристика стрельногорской свиты

На Туруханском поднятии западной окраины Сибирской платформы развиты терригенно-карбонатные отложения среднего и верхнего рифея мощностью до 4400 м, расчлененные на свиты [Вотах, 1968]. Разрез среднего рифея (рис. 1Б) на Стрельных горах представлен (снизу вверх) стрельногорской, линок, сухотунгусинской, деревнинской, буровой (нижнетунгусской) свитами; верхний рифей – шорихинской, мироедихинской (дурномысской), туруханской (первопорожской) свитами. С размывом на породах рифея здесь залегают платоновская и костинская свиты кембрия. На Воронихином мысу стрельногорская свита слагает основание разреза среднего рифея. Подошва свиты неизвестна, т.к. она с тектоническим контактом залегает на более молодых породах. Общая видимая мощность свиты в районе Стрельных гор составляет 1240 м, у Воронихина мыса – более 660 м. В составе стрельногорской свиты у Воронихина мыса выделяются две, неравные по мощности, подсвиты: нижняя (стафифициро-

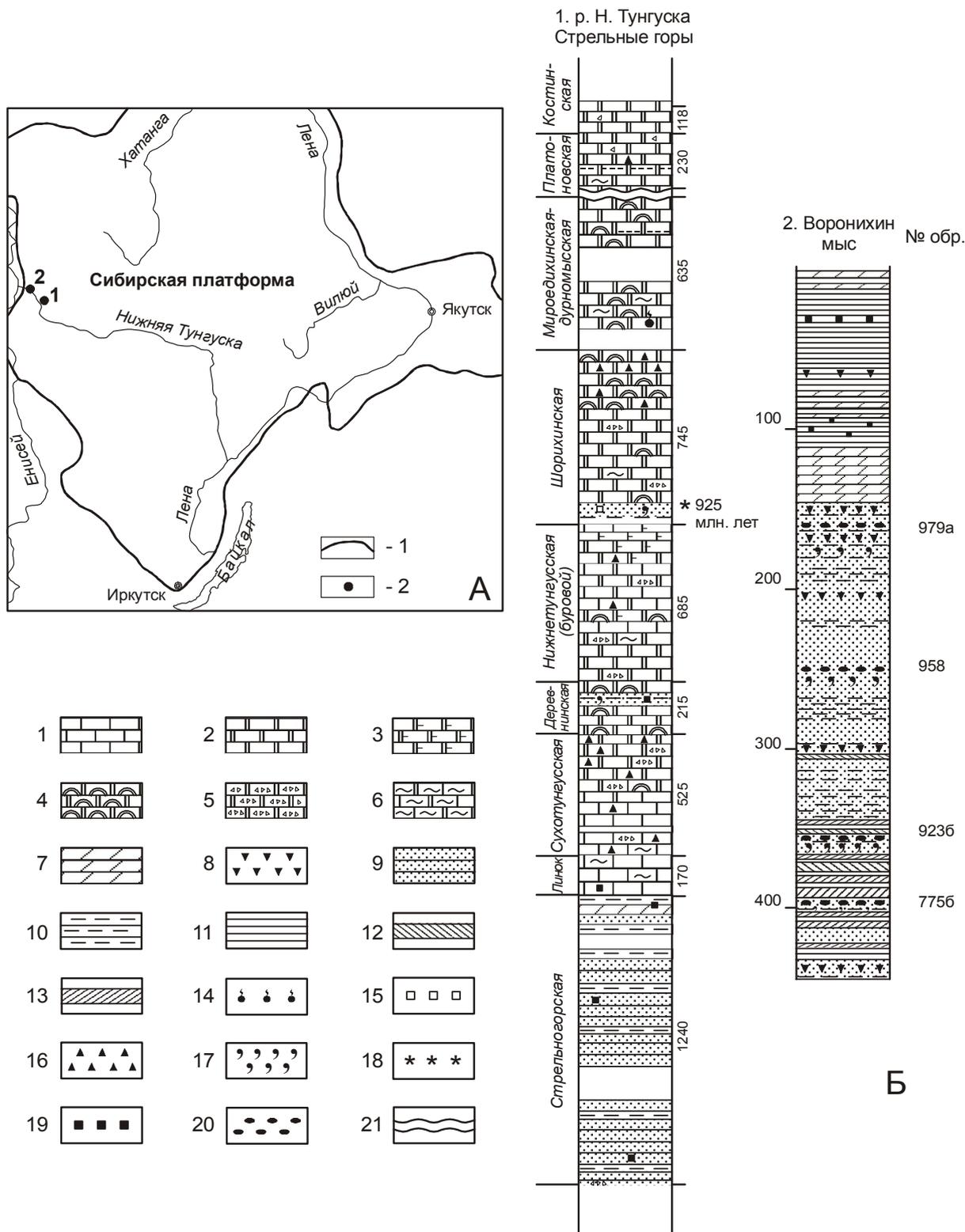


Рис. 1. Местонахождение разрезов (А) и литологические колонки рифейско кембрийских отложений Туруханского района (Б).

А. 1 – контур Сибирской платформы; 2 – местонахождение разрезов Стрельные горы (1) и Воронихин мыс (2).

Б. 1 – известняки; 2 – доломиты; 3 – доломитистые известняки, известковистые доломиты; 4 – строматолиты; 5 – брекчии строматолитовых доломитов; 6 – глинистые известняки и доломиты; 7 – мергели; 8 – гравелиты, брекчии; 9 – песчаники; 10 – алевролиты; 11 – аргиллиты; 12 – алевролит + аргиллит 50-80 %; 13 – алевролит + аргиллит 20-50 %; 14 – битуминозность; 15 – карбонатность; 16 – кремни, кремнистость; 17 – глауконит; 18 – возраст по глауконитам; 19 – пирит; 20 – фосфатные конкреции, фосфат-проявления; 21 – пропуски, не вскрытые контакты.

ФОСФОРИТЫ СТРЕЛЬНОГОРСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕГО РИФЕЯ

ванный разрез), мощностью более 320 м, представлена ритмичным чередованием песчаников, алевролитов и аргиллитов, содержащих фосфоритовые конкреции и фосфатпроявления. Верхняя часть разреза, мощностью до 150 м, сложена черными аргиллитами и алевролитами с прослоями глинистых известняков.

Определенный К-Аг методом по глауконитам [Геохронология..., 1968; Ивановская и др.,

1973; Шенфиль, 1991] возраст стрельногорской свиты составил 830-910 млн. лет, деревнинской свиты – 800-865 млн. лет и буровой – 890-920 млн. лет. Определение возраста по Рb-Рb для сухогунгусской свиты составляет 1035 ± 60 млн. лет, что значительно превышает значения возраста нижележащей стрельногорской свиты.

Фосфатсодержащие породы входят в состав нижней подсвиты стрельногорской свиты.

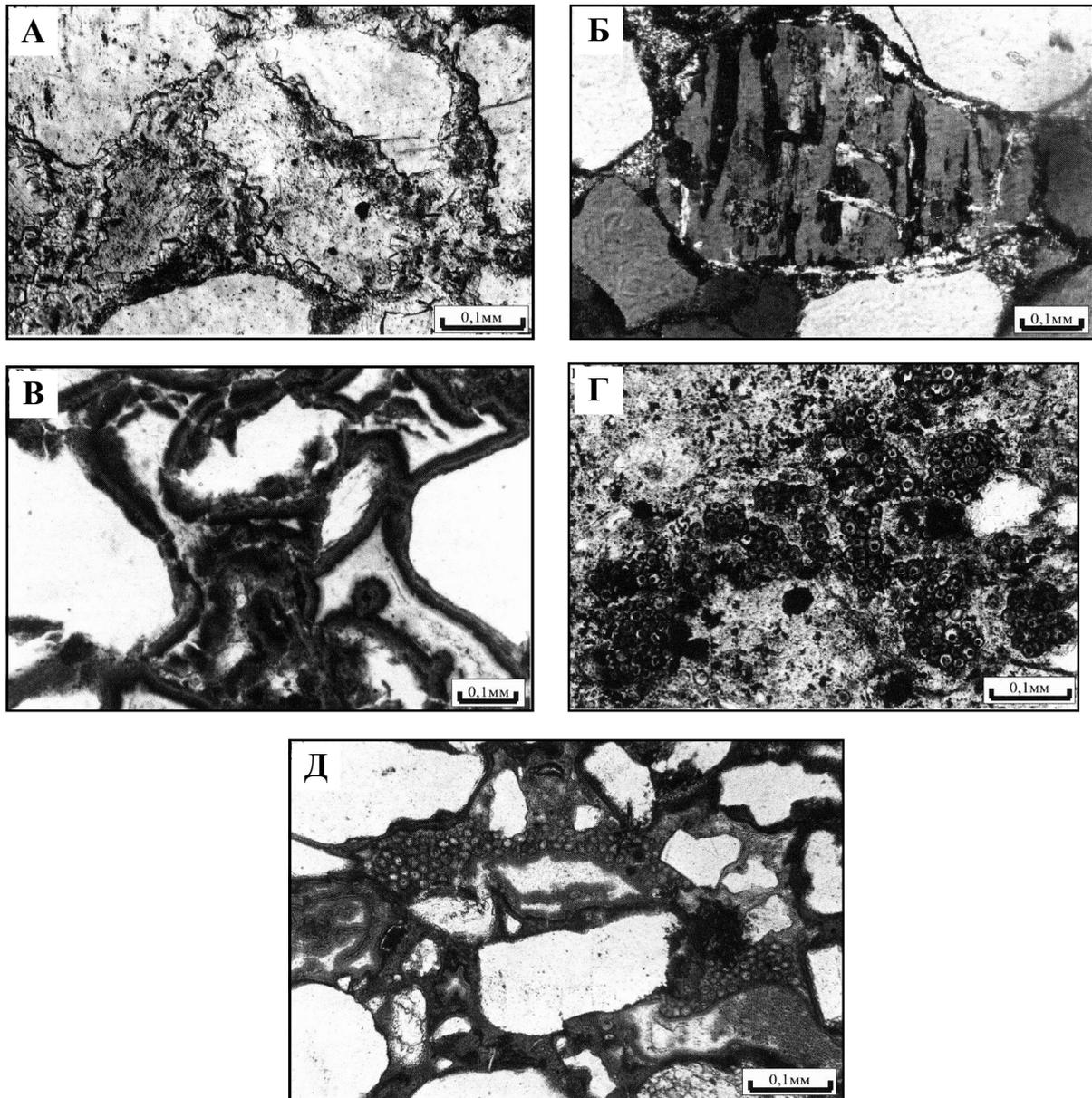


Рис. 2. Микрофотографии фосфоритов стрельногорской свиты.

А – Коррозия фосфатным материалом зерен кварца и полевого шпата с образованием кристаллов апатита. Увеличение 190. Николь 1. Обр. 923б. Б – Внедрение апатита в зерно полевого шпата по системе двойников и трещинам спайности. Увеличение 140. Николь +. Обр. 775б. В – Крустификационные полосы-каемки фосфатного материала, обрамляющие терригенные зерна. Увеличение 130. Николь 1. Обр. 979а. Г – Оолитоподобная «икряная» текстура фосфорита. Обр. 958. Д – Полосчатая и «икряная» текстура фосфорита. Увеличение 340. Николь 1. Обр. 979а.

Химический состав фосфоритов стрельногорской свиты, средний рифей, Воронихин мыс (обр. 958, 7756, 9796), Полипинского месторождения Восточно-Европейской платформы, верхний мел (4571) и Северной Королины, миоцен (4755)

№№ обр.	Содержание, %											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F	CO ₂	H ₂ O	п.п.п.
958	9,16	0,10	3,98	4,62	39,63	0,62	1,0	31,0	2,4	0,93	0,18	5,66
7756	14,84	He опр.	7,54	2,64	37,13	0,59	1,76	28,5	2,32	0,82	0,80	4,06
9796	9,74	0,20	6,17	1,98	42,60	0,45	1,69	31,5	2,4	0,49	0,46	3,70
4571	0,29	He опр.	0,18	0,27	53,18	1,08	0,18	33,2	3,98	5,23	0,34	He опр.
4755	3,25	0,64	0,75	1,63	48,05	1,45	0,19	31,5	2,6	5,32	0,5	He опр.

Примечание. * Железо общее.

Они изучались в береговых обнажениях р. Нижняя Тунгуска в двух районах их распространения: на левом берегу, в районе Воронихина мыса, в 40 км от устья, и по обоим берегам в стратотипическом разрезе в районе Стрельных гор, в 19 км от устья (рис. 1А).

При изучении нижней терригенной под-свиты стрельногорской свиты, содержащей фосфоритовые конкреции, для установления характера ритмичности был применен предложенный Н.Б. Вассоевичем [1951] метод графической коннекции [Ивановская, Афанасьев, 1970]. Проведенный анализ позволил выделить в составе стрельногорской свиты мелкие и тонкие ритмы алевролитов и аргиллитов (миллиметровые и сантиметровые слойки в равных соотношениях), крупные циклотемы (1-10 м), а также ритмы высшего порядка (первые десятки метров). Мелкие и тонкие ритмы включают также слои песчаников и алевролитов, образующие их первые элементы ритма (I э. р.) от 40 мм до 3,4 м мощности и прослойки аргиллитов, слагающие вторые элементы ритмов (II э. р.) от 30 мм до 1 м мощности. В пределах I э. р. наблюдается постепенное изменение обломочного материала от крупнозернистых песчаников до крупнозернистых алевролитов. Циклотемы состоят из крупных пластов песчаников, образующих первый элемент циклотемы (I э. ц.) до 10-18 м и пачек, ритмично переслаивающихся тонких пластов песчаников, алевролитов, аргиллитов, слагающих второй элемент циклотемы (II э. ц.) меньшей мощности (до 5 м). В I э. ц. всегда наблюдается постепенное уменьшение зернистости обломочного материала от гравелитов, крупно-среднезернистых песчаников до мелкозернистых песчаников и алевролитов. Ритмы высшего порядка, слагаются мощными

(15-25 м) пластами песчаника, которые часто содержат глауконит и фосфатные конкреции (I э. р.), и пачками (II э. р.), ритмично переслаивающихся тонких пластов песчаников, алевролитов и аргиллитов, мощностью 1-5 м. В основании пластов песчаников I э. р. нередко наблюдаются размыты, имеющие форму узких (0,5-2 м), но достаточно глубоких (0,2-2 м) впадин, заполненных гравелитом или крупнозернистым песчаным материалом.

Примерное содержание главных типов пород в составе свиты в разрезах у Стрельных гор и Воронихина мыса составляет соответственно: песчаники 47 и 44 %, алевролиты – 6 и 12 %, аргиллиты – 16 и 20 %, глинисто-известковые породы – 6 и 13 %. В составе песчаников преобладают кварц (71-89 %) и полевые шпаты (11-29 %). Полевые шпаты представлены главным образом микроклином и в подчиненных количествах кислыми плагиоклазами, серицитизированы. Среди обломков встречаются микрокварциты, алевролиты, микропертиты, их общее количество не превышает 5 %. Цемент песчаников главным образом регенерационно-кварцевый, в меньшей степени (5-10 %) – поровый гидрослюдисто-хлоритовый или известковый, корродирующий зерна. Важным компонентом песчаников являются глаукониты, среди которых преобладают алюминистые [Ивановская, Соколова, 1970] с низким содержанием Fe₂O₃. Его дифференциальная картина отвечает структуре 1Md [Казанский и др., 1971]. Глинистая составляющая всех типов пород гидрослюдисто-хлоритовая при преобладании первого из этих компонентов; состав хлоритов железисто-магnezийный [Ивановская, Соколова, 1970].

Уровень катагенетических преобразований пород стрельногорской свиты может быть

ФОСФОРИТЫ СТРЕЛЬНОГОРСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕГО РИФЕЯ

Таблица 2

Содержание PЗЭ и U в фосфоритах стрельногорской свиты,
Воронихин мыс (обр. 7756 и 9796) и стандартного образца фосфоритов 120b

№№ обр.	Содержание, г/т											
	U	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Yb	Lu	Σ PЗЭ	
Sh		41	83	38	7,5	1,61	6,35	1,23	3,51	0,61		
7756	4	495	1280	1133	386	143	440	63	35	3,3	2978,3	
9796	2	261	620	426	119	42	145	20	12	1,2	1646,2	
120 b	Наши данные	He опр.	95	131	93	20,4	3,61	21	3,7	14	1,86	383,53
	[Kidder et al., 2003]	He опр.	94	131	79,1	16,2	3,7	19,4	2,7	11,2	1,8	360,1
	[McArthur et al., 1987]	He опр.	90,4	118	76,5	15,7	3,50	17,7	He опр.	He опр.	1,63	323,43

Примечание. Sh – усредненные содержания редкоземельных элементов в сланце, используемые при нормализации.

оценен по различным показателям. Весьма интенсивной является регенерация зерен кварца, вплоть до образования регенерационно-кварцевого цемента, конформных структур, а также микростилолитовых образований, что отвечает глубоким стадиям катагенеза. Наблюдаемый политип 2M₁ гидрослюдов стрельногорской свиты [Ивановская, Соколова, 1970] также свидетельствует о глубоких катагенетических преобразованиях глинистых минералов в ее составе. Важным индикатором вторичных изменений пород стрельногорской свиты является характер ОВ, анализ которого устанавливает уровень его трансформации до стадии АК₁-АК₂ [Баженова, 1973]. Как видно, все эти признаки однозначно определяют характер изменений вещества стрельногорской свиты, отвечающий глубокому катагенезу.

Фосфоритовые желваки беспорядочно распределены в составе светло-серых массивных средне- и мелкозернистых олигомиктовых песчаников в средней части нижней подсвиты стрельногорской свиты, но иногда группируются в горизонты. Конкреции имеют резко уплощенную форму; размер их от 3 до 17-25 см в плане, при толщине не более 2 см. Цвет желваков черный, поверхность матовая или глянцева, блестящая. Содержание P₂O₅ в желваках в среднем по семи пробам составило 23,57 % при колебаниях от 5,65 до 31,5 %. Повышенные содержания пятиоксида фосфора характерны и для самих терригенных пород свиты. Так, в алевролитах содержания их могут достигать

4,2 % (Воронихин мыс), 5,35 % (Стрельные горы), а в аргиллитах, соответственно, 3,48-0,28 % [Ивановская, 1971].

Аналитический материал и его обсуждение

Петрография фосфоритов

Фосфатное вещество конкреций имеет обычно желтовато-бурый цвет и тонкокристаллическое строение. Реже встречается его оолитово-коллоидальная (скрытокристаллическая) структура. Нередко фосфатное вещество корродирует зерна кварца и полевых шпатов (рис. 2А), и на контакте с терригенными зернами наблюдаются бесцветные короткопризматические (0,04 мм) кристаллы апатита. Коррозия развивается по краям их зерен, но фосфатный материал также внедряется «сосульчато» вглубь зерен, а в полевых шпатах – по системам двойников или по трещинам спайности (рис. 2Б). Отдельные зерна полевых шпатов полностью замещены фосфатным материалом. В других случаях фосфатное вещество окаймляет терригенные зерна, лишь частично их корродируя. Фосфатный материал образует крустификационные полосы толщиной 0,005-0,008 мм от светло-коричневой до почти бесцветной в шлифе окраски (рис. 2В). Местами в составе фосфатной массы наблюдаются мелкие (0,01-0,2 мм) округлые оолитоподобные «икряные» образования (рис. 2Г). На некоторых участках шлифа полосчатые и «икряные» текстуры могут сосед-

ствовать (рис. 2Д). Наблюдаемая отчетливо кристаллическая структура фосфатного материала однозначно указывает на преобразование его в условиях катагенеза, поскольку вне воздействия последнего фосфатный минерал фосфоритов, как правило, скрытокристаллический. В случае совместного нахождения фосфата и глауконита устанавливается более поздняя природа фосфата, образующего крустификационные каемки вокруг зерен глауконита и заполняющего трещины в последних.

Химический состав фосфоритов

Химический анализ был проведен по трем образцам фосфоритов стрельногорской свиты района Воронихина мыса. Спецификой состава фосфатного минерала стрельногорской свиты является весьма низкое содержание оксида натрия и CO_2 (табл. 1). В фосфоритах, не измененных вторичными процессами, содержание Na_2O , как правило, находится в интервале 1-1,5 %, CO_2 достигает 6,5-7 % [Блисковский, 1976]. Как было установлено ранее [Занин, Кривоуцкая, 1976; Блисковский, 1976; Matthews, Nathan, 1977], воздействие процессов катагенеза приводит к понижению в карбонат-апатите содержания CO_2 т.е., говоря другими словами, кристаллическая структура минерала теряет в этом процессе карбонат-ион, а также оксид натрия [Занин и др., 1979, 1985; McArthur, 1985]. Перекристаллизация фосфатного вещества фосфоритов стрельногорской свиты с выделением достаточно крупных (до сотых долей миллиметра) кристаллов апатита свидетельствует о весьма существенном преобразовании его в процессах катагенеза. С этих позиций находит свое объяснение низкое содержание в фосфоритах стрельногорской свиты как CO_2 , так и Na_2O . При этом содержание CO_2 в образце 979б, равное 0,45 % при содержании

P_2O_5 31,5 %, показывает, что при пересчете анализа на монофосфат содержание CO_2 и в этом случае не достигнет 1 %. Д. Макконнеллом [McConnell, 1973] указывалось, что фосфатный минерал в таком случае должен рассматриваться уже не как карбонатапатит, а как апатит. Это подтверждают и значения размеров кристаллической решетки фосфатного минерала ($a = 9,39 \pm 0,01$, $c = 6,91 \pm 0,01$). Как было отмечено многими исследователями, наблюдается четкая зависимость параметра «а» кристаллической решетки карбонатапатита от содержания в его структуре карбонат-иона, а именно: при увеличении содержания CO_2 величина параметра «а» уменьшается, тогда как параметр «с» почти не меняется [Hendricks et al., 1932; Gruner, McConnell, 1937; Altshuler et al., 1953; Visse, 1953; Schell, Asemissen, 1956; Озеров и др., 1956; Масленников, Кавицкая, 1956, и др.]. Б.М. Масленников и Ф.А. Кавицкая [1956] установили, что возрастание содержания в (карбонат) апатите CO_2 от 0-1,7 до 6,86 % имело следствием уменьшение параметра «а» ячейки минерала от 9,36 до 9,30 кх.

Приведенное выше значение параметра «а» апатита стрельногорского фосфорита однозначно соответствует его апатитовому, а не карбонатапатитовому составу.

Редкоземельные элементы и уран в фосфоритах

Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) и урана в фосфоритах стрельногорской свиты изучалось в двух образцах из района Воронихина мыса (табл. 2). Общее высокое содержание РЗЭ в рассматриваемых фосфоритах, составившее 2978,3 г/т в обр. 775б и 1646,2 г/т в обр. 979б являются главной их особенностью. По данным З.С. Альтшулера [Altschuler, 1980] максимальное суммарное содержание

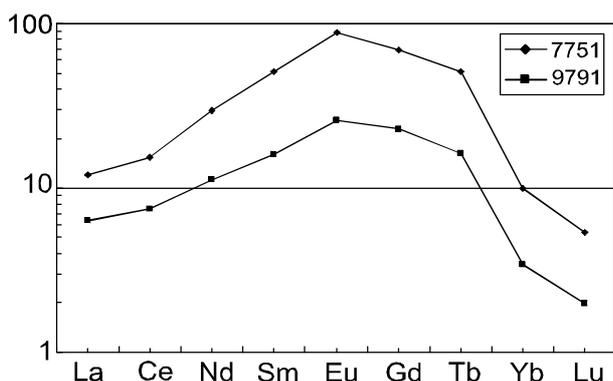


Рис. 3. Нормализованные по сланцам [Piper, 1974] содержания редкоземельных элементов в фосфоритах стрельногорской свиты.

ФОСФОРИТЫ СТРЕЛЬНОГОРСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕГО РИФЕЯ

РЗЭ в фосфоритах равно 1470 г/т; эта цифра характеризует среднекембрийские фосфориты бассейна Джорджина, Австралия [Cook, 1972]. Близкое, но все же более высокое значение (1640 г/т) составляет максимальное суммарное содержание РЗЭ в фосфоритах верхов нижнего кембрия куонамской формации Сибирской платформы [Занин и др., 2002]. В верхнекембрийских фосфоритах Баренцево-морского бассейна содержание суммы РЗЭ достигает 1420 г/т [Негруца и др., 1994]. Что же касается фосфоритов стрельногорской свиты, то полученное в образце 7756 содержание суммы РЗЭ аналогов не имеет и является, как представляется, первым случаем в мировой практике, когда содержание этих элементов в фосфоритах, сложенных кальциевыми фосфатами, превысило 2000 г/т.

В содержании и распределении РЗЭ в фосфоритах, как и осадочных породах в целом, несмотря на многочисленные работы в этом направлении, еще много неясного. Для нормированных содержаний РЗЭ в рассматриваемых фосфоритах по среднему содержанию их в сланцах Северной Америки, Европы и СССР [Piper, 1974] характерным является отсутствие отрицательной аномалии по Се, высокая положительная аномалия по Eu, существенная отрицательная аномалия по тяжелым РЗЭ (Yb, Lu) (рис. 3). При этом, на участке La-Eu наблюдается систематическое увеличение положительной аномалии всех элементов этого интервала (La-Ce-Nd-Sm-Eu), а на участке Eu-Lu – столь же систематическое возрастание отрицательной аномалии (Eu-Gd-Tb-Yb-Lu), особенно значительное для тяжелых РЗЭ – Yb и Lu. Степень относительного понижения нормированных содержаний Lu относительно Tb составила 8,25 для образца 9796 и 9,43 для образца 7756. В то же время, для не подвергавшегося заметному катагенезу стандартного образца фосфоритов 120b, приготовленного на основе фосфоритов Флориды, эта величина составила, лишь 0,99, для фосфоритов стандартного образца BCR-32, приготовленного на базе фосфоритов Флориды (состав РЗЭ по данным Геологической службы США [Altshuler et al., 1986]), – 0,62, для фосфоритов подводных гор Тихого океана [Батурилин, Юшина, 1998] – 0,29. Ранее на примере куонамской формации нижнего-среднего кембрия Сибирской платформы было показано понижение содержания в процессе катагенеза именно тяжелых РЗЭ, сопровождаемое возрастанием применительно к ним величины отри-

цательной аномалии [Занин и др., 2002]. Отношение нормированных по сланцу содержаний Tb/Lu для фосфоритов этой формации из области умеренного катагенеза составило 1,38, для области существенно более глубокого катагенеза – 2,90. Можно предположить, что наблюдаемая высокая отрицательная аномалия, отмечаемая для Yb и Lu в фосфоритах стрельногорской свиты, отвечает самой поздней стадии катагенеза-начальной стадии метагенеза. Для Се в составе РЗЭ стрельногорской свиты не отмечается негативная аномалия, типичная для большинства морских фосфоритов. По существующим представлениям [McArthur, Walsh, 1984; Ильин, 1998], негативная цериевая аномалия, характерная для многих фосфоритов, не проявлена для тех из них, которые были сформированы в восстановительной обстановке. Близкие представления высказывались А.Б. Роновым с соавторами [1967]. Что же касается положительной аномалии по Eu, то, по Г.Н. Батурину [2004], она также может отвечать восстановительным условиям фосфоритообразования, что соответствует и представлениям Г.Р. Колонина [2006].

Для фосфоритов стрельногорской свиты характерно чрезвычайно низкое содержание урана (2-4 г/т). Ранее подобная концентрация урана при близком содержании пятиоксида фосфора отмечалась для рифейских фосфоритов Араваллийского бассейна Индии и вендских фосфоритов Подолии [Занин и др., 2000]. Пониженное содержание урана относительно практически всех мезозойских и кайнозойских фосфоритов характеризует фосфориты неогеновой пильской свиты о. Сахалин [там же]. Общим для фосфоритов всех этих толщ является воздействие на них факторов катагенеза, приводящее, как нами ранее было показано [Занин и др., 2000], к выносу урана из кристаллической структуры карбонатапатита. Именно с катагенетическими преобразованиями мы связываем и низкое содержание урана в фосфоритах стрельногорской свиты.

Заключение

Для фосфоритов стрельногорской свиты характерным является низкое содержание CO_2 , Na_2O , U, ярко выраженный отрицательный минимум тяжелых РЗЭ (Yb, Lu), что связывается нами с их весьма существенным катагенетическим преобразованием, устанавливаемым также и по вмещающим породам. Содержание CO_2

менее 1 % в фосфоритах стрельногорской свиты с высоким (до 31,5 %) содержанием P_2O_5 позволяет рассматривать слагающий их фосфатный минерал как апатит, а не карбонатапатит, типичный для морских фосфоритов, не измененных процессами глубокого катагенеза. Этот вывод подтверждается параметрами кристаллической решетки минерала. Высокое содержание редкоземельных элементов в фосфоритах стрельногорской свиты, приближающееся суммарно к 3000 г/т, является рекордным относительно всех мировых значений этого показателя. Наблюдаемое окаймление зерен глауконита фосфатом указывает на более высокий восстановительный уровень среды формирования последнего, который не может быть, однако, определен имеющимися материалами более надежно.

Авторы признательны Э.С. Гулецкой за выполнение химических анализов фосфоритов и А.С. Степину за определение содержаний редкоземельных элементов и урана.

Список литературы

- Баженова Т.К.* Распределение органического вещества // Рифейские отложения Сибирской платформы и прилегающих складчатых сооружений. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1973. С. 139-148.
- Банерджи Д.М., Басу П.К., Сривастава Н.* Петрология, минералогия, геохимия и генезис фосфоритовых месторождений в Удайпуре и Джхабуа, Индия // Геология месторождений фосфоритов. М.: Мир, 1983. С. 180-222.
- Батурин Г.Н.* Фосфатонакопление в океане. М.: Наука, 2004. 464 с.
- Батурин Г.Н., Юшина И.Г.* Редкоземельные элементы в фосфоритах и глубина их формирования на подводных горах Тихого океана // Океанология. 1998. Т. 38. № 4. С. 612-631.
- Блисковский В.З.* О курските и франколите // Литология и полезные ископаемые. 1976. № 3. С. 75-84.
- Вассоевич Н.Б.* Условия образования флиша. Л.-М.: Ленинградское отд-е Гостоптехиздат, 1951. 214 с.
- Вотах О.А.* Тектоника докембрия западной окраины Сибирской платформы. М.: Наука, 1968. 138 с.
- Геохронология докембрия Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Ред. М.М. Мануйлова. Л.: Наука, 1968. 334 с.
- Занин Ю.Н., Гилинская Л.Г., Красильникова Н.А. и др.* Типоморфизм фосфатов кальция фосфоритов // Геология рудных месторождений. 1985. № 4. С. 85-103.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Гилинская Л.Г. и др.* Уран осадочного апатита в катагенезе // Геохимия. 2000. № 5. С. 502-509.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Фомин А.Н.* Катагенез и геохимия редкоземельных элементов фосфоритов куонамской формации кембрия Сибирской платформы // Геохимия. 2002. № 7. С. 773-780.
- Занин Ю.Н., Кривоуцкая Л.М.* Преобразование апатитового вещества фосфоритов при катагенезе // Докл. АН СССР. 1976. Т. 230. № 6. С. 1414-1416.
- Занин Ю.Н., Кривоуцкая Л.М., Вахрамеев А.И. и др.* Преобразования состава и структуры фосфатов кальция фосфоритов в условиях катагенеза и выветривания и влияние этих преобразований на растворимость // Вещественный состав фосфоритов. Новосибирск: Наука, 1979. С. 27-45.
- Злобин В.А., Пархоменко В.А., Шипицын Ю.Г.* Редкие земли в углеродистых сланцах и фосфоритах верхнего протерозоя // Геология и геофизика. 1986. № 9. С. 131-135.
- Ивановская А.В.* Фосфаты в рифейских отложениях западной окраины Сибирской платформы // Материалы по литологии Сибири. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1971. С. 157-160.
- Ивановская А.В., Афанасьев С.Л.* Строение разреза и выдержанность слоев отложений рифея стрельногорской свиты р. Нижняя Тунгуска // Литология и геохимия верхнего докембрия Сибири. Новосибирск: СО АН СССР, 1970. С. 4-20.
- Ивановская А.В., Кольцова Т.В., Мануйлова М.М., Соколова М.Ф.* К вопросу о применимости глауконитов, гидрослюд и аргиллитов для возрастного расчленения пород К-Аг методом // Геохимия. 1973. № 11. С. 1620-1626.
- Ивановская А.В., Соколова М.Ф.* Глинистые минералы стрельногорской свиты Туруханского поднятия // Литология и геохимия верхнего докембрия Сибири. Новосибирск: СО АН СССР, 1970. С. 74-84.
- Ивановская А.В., Тимофеев Б.В.* Зависимость между соленостью и распределением фитопланктона (на примере рифея Туруханского поднятия) // Геология и геофизика. 1971. № 8. С. 114-118.
- Ильин А.В.* Древние фосфатоносные бассейны. М.: Наука, 1990. 174 с.
- Ильин А.В.* Геохимия редкоземельных элементов мезозойских фосфоритов и некоторые проблемы фосфогенеза // Геохимия. 1998. № 6. С. 560-567.
- Казанский Ю.П., Ивановская А.В., Соколова М.Ф.* Глинистые минералы в отложениях позднего докембрия Сибири // Докл. АН СССР. 1971. Т. 200. № 5. С. 1190-1200.
- Колонин Г.Р.* Физико-химические особенности европия как возможного индикатора условий минералообразования // Докл. РАН. 2006. Т. 408. № 4. С. 508-511.
- Малиновский Ф.М.* О сульфидоносных фосфоритах Подолии // Записки ВМО. 1955. № 1. С. 30-42.

ФОСФОРИТЫ СТРЕЛЬНОГОРСКОЙ СВИТЫ СРЕДНЕГО РИФЕЯ

- Масленников Б.М., Кавицкая Ф.А.* О фосфатном веществе фосфоритов // Докл. АН СССР. 1956. Т. 109. № 5. С. 990-992.
- Мац В.Д., Егорова О.П., Бабкин А.К.* О находках фосфоритов в верхнепротерозойских отложениях Западного Прибайкалья // Докл. АН СССР. 1956. Т. 110. № 2. С. 264-266.
- Негруца В.З., Басалаев А.А., Чикирев И.В.* Баренцовоморский фосфоритовый бассейн // Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 119 с.
- Озеров Р.П., Гриншпан Л.Б., Бушинский Г.И.* Некоторые рентгеноструктурные данные минералов группы апатита // Записки ВМО. 1956. № 3. С. 303-309.
- Ронов А.Б., Балашов Ю.А., Мигдисов А.А.* Геохимия редкоземельных элементов в осадочном цикле // Геохимия. 1967. № 11. С. 3-19.
- Смирнов А.И.* Докембрийские фосфориты Енисейского кряжа // Геология горно-химического сырья. М.: Госхимиздат, 1955. С. 96-126.
- Тромпетте Р., Аффатон П., Джулиа Ф., Маршан Дж.* Стратиграфическое и тектоническое положение позднедокембрийских фосфоритов северной части бассейна Вольта в Верхней Вольте, Нигере и Бенине, Западная Африка // Геология месторождений фосфоритов. М.: Мир, 1983. С. 259-273.
- Шенфиль В.Ю.* Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1991. 185 с.
- Altschuler Z.S.* The geochemistry of trace elements in marine phosphorites. Part 1. Characteristic abundances and enrichment // Marine phosphorites – geochemistry, occurrence, genesis. SEPM Special Publication. № 29. 1980. P. 3-18.
- Altschuler Z.S., Cisney E.A., Barlow I.N.* X-ray evidence of the nature of carbonate-apatite // Amer. Mineral. 1953. V. 38. № 3-4. P. 328.
- Altschuler Z.S., Prityol L., Zanin Y.N.* Report on phosphorite standart BCR-32 // Newsletter of the International Geological Correlation Program. Project 156. Phosphorite. 1986. № 17. P. 13-17.
- Cook P.J.* Petrology and geochemistry of the phosphate deposits of Northwest Queensland, Australia // Econ. Geol. 1972. V. 67. P. 1193-1213.
- Gruner J.W., McConnell D.* The probleme of the carbonate apatites // Z. Kristallogr. 1937. Bd. 97. Abt. A. P. 208-215.
- Hendricks S.B., Jefferson M.E., Mosley V.M.* The crystal structure of some natural and synthetic apatite-like substances // Z. Kristallogr. 1932. Bd. 81. H. 5/6. P. 352-359.
- Kidder D.L., Krishnaswamy R., Eddy-Dilek C.A., Mapes R.H.* Elemental mobility in phosphatic shales during concretion growth and implication for provenance analysis // Chem. Geol. 2003. V. 198. № 3/4. P. 335-353.
- Mathews A., Nathan Y.* The decarbonation of carbonate fluor-apatite (francolite) // Amer. Mineral. 1977. V. 62. № 5/6. P. 565-573.
- McArthur J.* Francolite-geochemistry – compositional controls during formation, metamorphism and weathering // Geochim. Cosmochim. Acta. 1985. V. 49. № 4. P. 85-103.
- McArthur J.M., Hamilton P.J., Greensmith J.T. et al.* Phosphorite geochemistry: isotopic evidence for meteoritic alteration of francolite on local scale // Chem. Geol. 1987. V.65. P. 415-425.
- McArthur J.M., Walsh J.N.* Rare-earth geochemistry of phosphorites // Chem. Geol. 1985. V. 47. P. 191-220.
- McConnell D.* Apatite. Its crystal chemistry, mineralogy, utilization, and geology and biologic occurrences // (Appl. Miner. 5). Wien-N.Y.: Springer Verlag. 1973. 111 p.
- Piper D.Z.* Rare earth elements in the sedimentary cycle: a summary // Chem. Geol. 1974. V. 14. № 4. P. 285-304.
- Schell K.C., Asemissen I.* Chemische und rontgenographische Analyse von carbonaterichen Apatiten // Z. anorg. und allgem. Chem. 1956. B. 286. № 5-6. P. 221-231.
- Visse L.* Mineralogie des apatites calciques. Facteurs de solubilité // C. r. Acad. Sci. Paris. 1953. T. 236. № 16. P. 1583-1586.

Рецензент член-корр. РАН А.В. Маслов