

УДК 550.42:553.94:553.493.67(571.17)

## СКАНДИЙ В ОТЛОЖЕНИЯХ СРЕДНЕ-ПОЗДНЕПЕРМСКОЙ УГЛЕНОСНОЙ ФОРМАЦИИ КУЗБАССА

### SCANDIUM IN DEPOSITS OF LATE PERMIAN COAL-BEARING FORMATION OF KUZBASS

Кондаков Анатолий Николаевич,

канд. геол.-минерал. наук, доцент, директор геол. музея, e-mail: kan.kgmu@kuzstu.ru

Kondakov Anatoliy N.,

C. Sc. (Mineralogic). Associate Professor, Director  
of the geology museum

Возная Анна Анатольевна,

канд. геол.-минерал. наук, доцент, e-mail: vaa.geo@kuzstu.ru

Voznaya Anna A.,

C. Sc. (Mineralogic). Associate Professor

Чугайнов Валерий Леонидович,

зав. сектором ЭИТ геол. музея, e-mail: chvl.kgmu@kuzstu.ru

Chugaynov Valeriy L.,

head of the Sector of the geology museum

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва, 650000, Россия,  
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

#### *Аннотация*

**Актуальность работы:** Скандий – один из важнейших редкоземельных металлов, встречающийся в природных средах в крайне рассеянном состоянии. Значительные ресурсы скандия сосредоточены в золе каменных и бурых углей, в том числе в ЗШО углей Кузбасса. Изучение распределения скандия в стратиграфическом разрезе даёт возможность выявить эпохи массового поступления скандия в состав отложений толщи.

**Цель работы:** Изучить закономерности распределения скандия в составе наименее изученных средне-верхнепермских отложений толщи Кузбасса (кольчугинская серия) и выявить обогащённые скандием участки стратиграфического разреза, благоприятные для концентрации скандия во вмещаемых угольных пластах.

**Методы исследований:** Детальное изучение петрографического состава опорных береговых разрезов р. Томи и разрезов коррелирующих с ними скважин, геохимическое опробование, определение состава пород на основе приближенного количественного спектрального анализа, изучение состава глин методом окрашивания, скользящее усреднение результатов аналитических определений.

**Результаты:** Установлена концентрация скандия в породах, обогащённых вулканогенно-пепловым материалом. Перспективными для выявления скандийсодержащих углей рассматриваются: верхи ускатской свиты ( $P_{2us}$ ), ленинская ( $P_{2-3ln}$ ) и грамотеинская ( $P_{3gr}$ ) свиты в участках концентрации вулканогенно-пеплового материала.

#### *Abstract*

**The actuality of study.** Scandium – one of the most important rare earth metals found in natural environments in the extremely absent-minded state. Significant resources of scandium are concentrated in the ash stone and brown coals, including coal ash and slag of Kuzbass. Studying of distribution of scandium in the stratigraphic section makes it possible to identify epoch of mass inflow of scandium in the composition of the sediment strata.

**The main aim of study:** To Study patterns of distribution of scandium in the composition of the least studied middle – upper Permian deposits of the Kuznetsk Basin (kolchuginskaya series) and to reveal the section en-

*rished with scandium of a stratigraphic section, favorable for concentration of scandium in contained coal seams.*

**Methods used in the study:** Detailed studying of petrographic composition of basic coastal cuts of the river of Tom and sections of wells correlated with them, geochemical sampling, determination of composition of rocks on the basis of approximate quantitative spectral analysis, analysis of composition of clay by the coloring method, sliding averaging of results of analytical definitions.

**Results:** Concentration of scandium in the rocks enriched in volcanic ash material is installed. Perspective for revealing of scandium containing coals are considered: the upper part uskatskaya suite ( $P_{2us}$ ), leninskaya ( $P_{2-3ln}$ ) and gramoteinskaya ( $P_{3gr}$ ) suites in sites of concentration of volcanic – ash material.

**Ключевые слова:** скандий, Кузнецкий угольный бассейн, поздне-верхнепермская формация, геохимическое распределение элементов, прогноз скандиеносности углей.

**Key words:** scandium, Kuznetsk coal basin, Late Permian formation, the geochemical distribution of elements, forecast scandium-bearing coals.

Скандиний — высоковостребованный редкоземельный металл, занимающий ключевое место среди новых материалов, без которых невозможно развитие аэрокосмической техники, атомной энергетики и других перспективных направлений научно-технического прогресса. Цены на металлический скандий на мировом рынке колеблются от 12 000 до 20 000 долларов за 1,0 кг, стоимость оксида скандия (в зависимости от чистоты) в среднем составляет 3 500 долларов за килограмм [1].

## 1. Общие сведения

Скандиний — типичный литофильный элемент, в основной массе широко рассеянный в составе породообразующих минералов. В самостоятельной минеральной форме скандий присутствует в составе только двух минералов: тортвейтите ( $Sc_2Si_2O_7$ ) и стерретитте ( $Sc_2PO_4 \cdot 2H_2O$ ), крайне редко встречающихся в природе. Список минералов, содержащих примесь скандия, насчитывает около 100 наименований [2].

Скандиний относится к редкоземельным металлам и близок по физическим и химическим свойствам иттрию, лантану и лантаноидам. В природных процессах скандий фигурирует только в виде трёхвалентного катиона  $Sc^{3+}$  с ионным радиусом 0,81 Å.

В эндогенных процессах основная масса скандия вследствие изоморфного «растворения» рассеяна в кристаллических решётках минералов, содержащих  $Al$ ,  $Ca$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $TR$ ,  $Hf$ ,  $Th$ ,  $U$ ,  $Zr$ . Гетеровалентное замещение скандием двухвалентного железа и магния в оливине, пироксенах, амфиболах, биотите широко развито в основных и ультраосновных породах, где известны наиболее высокие концентрации скандия (30 г/т  $Sc_2O_3$ ). В породах среднего состава содержание  $Sc_2O_3$  10 г/т, в кислых 2 г/т, где скандий также рассеивается в составе железо-магнезиальных минералов [2].

Осаждение скандия в осадочных породах управляетя, прежде всего, законами соосаждения из ненасыщенных растворов, в частности, законами сорбции. Скандиний в повышенных концентра-

циях отмечается в бокситах, бурых железняках, фосфоритах. В углях содержание скандия варьирует от необнаруживаемых количеств до 100–200–300 и даже 400 г/т, изменяясь в десятки раз в пределах одного месторождения и даже пласта [2].

Кларк скандия в земной коре по А. В. Виноградову (1962) 10 г/т. Среднее содержание в осадочных породах по Л. Ф. Борисенко (1989) 8,2 г/т [3, 4]. Угольный кларк скандия согласно Я. Э. Юдовичу и др. равен 3 г/т для каменных углей и 2 г/т для бурых, а в пересчёте на золу кларк составляет 20 и 15 г/т соответственно [5, 6]. На этом фоне выделяются бассейны с аномальными «ураганными» концентрациями. Так, например, в угольных бассейнах Западно-Сибирской плиты содержание скандия в золе углей достигает 2 300 г/т [7, 8].

Предельно допустимое минимальное содержание скандия в эндогенных рудах принято равным 100 г/т [6, 9]. В золах углей, как правило, присутствуют кроме скандия тантал, ниобий, иттрий, лантаноиды, благородные металлы, совместный ресурсный потенциал которых во много раз превышает ресурсный потенциал эндогенных руд.

## 2. Состояние изученности

Перспективы выявления скандийсодержащих углей в Кузбассе основываются на положительных результатах изучения содержания скандия в угольных пластах, выбор которых определялся географией размещения угледобывающих предприятий на территории бассейна и разрабатываемых ими в период исследований угольных пластов, т.е. достаточно случаен. Эпизоды нарастающего или ослабленного поступления скандия в бассейн седиментации устанавливались предположительно, на основании повышенных или пониженных концентраций металла в исследованных пластопересечениях.

Наиболее слабо изучены угли кольчугинской серии ( $P_{2-3kl}$ ) и прежде всего угли ерунаковской подсерии Кузбасса. В частности, в работе С. И. Арбузова и др. [4] вывод о слабой сканди-

носности углей ленинской ( $P_{2-3}In$ ) и тайлаганской ( $P_{3tl}$ ) свит сделан на основании изучения восьми проб. Б. Ф. Нифантовым в работах до 2000 года собрана геохимическая база данных, составленная по трём пластопересечениям тайлаганской свиты, одному пластопересечению грамотеинской свиты, восьми пластопересечениям в ленинской свите. Более детально исследованы угли ускатской свиты ( $P_{2us}$ ) — 36 пластопересечений. В казанково-маркинской свите ( $P_{2km}$ ) изучено содержание элементов по пяти пластопересечениям. По данным опробования скандий в их числе характеризуется хорошо выраженной встречаемостью (около 100 %). Средние содержания скандия в углях (г/т) в тайлаганской свите — 32, грамотеинской — 37, ленинской — 44, ускатской — 44, казанково-маркинской — 41 [9, 10].

В 2009–2012 гг. Б. Ф. Нифантовым [10] проводилось геохимическое изучение угольных пластов кольчугинской серии шахт и разрезов АО «СУЭК». Отобрано 106 проб по 17 пластопересечениям. Аномальное содержание скандия в ЗШМ (116,49 г/т) установлено только в припочвенной части Надбайкаимского пласта в шахте Октябрьская.

При всей значимости указанных комплексных работ они не могут рассматриваться основанием для окончательной оценки перспектив скандиеносности верхнепермских углей Кузбасса. Авторы статьи полагают, что отправной точкой прогноза должно быть системное геохимическое изучение распределения скандия в стратиграфическом разрезе с выявлением эпизодов концентрированного накопления скандия, а также других элементов, позволяющих оценить палеогеографические условия седиментогенеза, источники поступления скандия, последствия диагенетического преобразования толщи, формы фиксации скандия во вмещающих породах и в угольных пластах.

### 3. Методы и объекты исследований

В качестве объекта исследований выбраны естественные обнажения опорного берегового разреза отложений кольчугинской серии в левобережье р. Томи, в районе пос. Ерунаково, от руч. Маркина вниз по течению на расстоянии 12 км, где вскрыты отложения части казанково-маркинской свиты ( $P_{2km}$ ), ускатской ( $P_{2us}$ ), ленинской ( $P_{2-3}In$ ) и грамотеинской ( $P_{3gr}$ ) свит. Ниже по течению исследовались обнажения у Бабей Камня, где располагается опорный разрез тайлаганской свиты ( $P_{3tl}$ ).

Невскрытые в береговом разрезе отложения кузнецкой подсерии ( $P_{2kz}$ ) и низы казанково-маркинской свиты ( $P_{2km}$ ) изучены по керну скважин № 1432, № 1447, пробуренных на Ерунаковской площади. Таким образом, объектами исследований охвачен практически полный разрез средне-позднепермских отложений Центрального

Кузбасса мощностью 3 900 м.

В качестве объекта сравнения выбран разрез ленинской свиты по керну скважины № 1324, пробуренной на соседней Антоновской площадке (Байдаевский ГЭР).

Полевая часть исследований включала детальное литологическое описание пород с параллельным отбором точечным методом геохимических проб через 1,0–2,0 м мощности толщи. Состав проб определялся приближенным количественным спектральным анализом (52 элемента) в Березовской экспедиции (г. Новосибирск). Результаты определения содержаний элементов усреднялись методом скользящего усреднения с шагом скользжения 25 м мощности.

Для определения литологической предпочтительности фиксации элементов в интервалах скользжения рассчитывался коэффициент  $K$ , равный отношению среднего содержания элемента в аргиллитах к среднему содержанию в обломочных породах интервала. Значение  $K$  более 1,0 свидетельствует о преимущественном накоплении элемента в составе глинистых пород и глинистых цементов.

С целью оценки подвижности элементов на стадии диагенеза разрез частично охарактеризован распределением количественного содержания и состава конкреций (по материалам В. Е. Евтушенко, 1975 г.).

Для выявления монтмориллонита в составе глин (показателя участия в седиментогенезе выветрелого вулканогенно-пеплового материала) использовался метод окрашивания глин красителем «метиленовый голубой».

Принятый авторами список оцениваемых элементов ( $Sc$ ,  $Be$ ,  $Mg$ ,  $Na$ ,  $Al$ ,  $Ti$ ,  $Fe$ ) аргументируется следующими доводами:

**$Be$**  — мигрирует в зоне гипергенеза в сорбированном состоянии в глинах. Корреляция  $Sc$  и  $Be$  косвенно подтверждает перенос и фиксацию скандия в глинах;

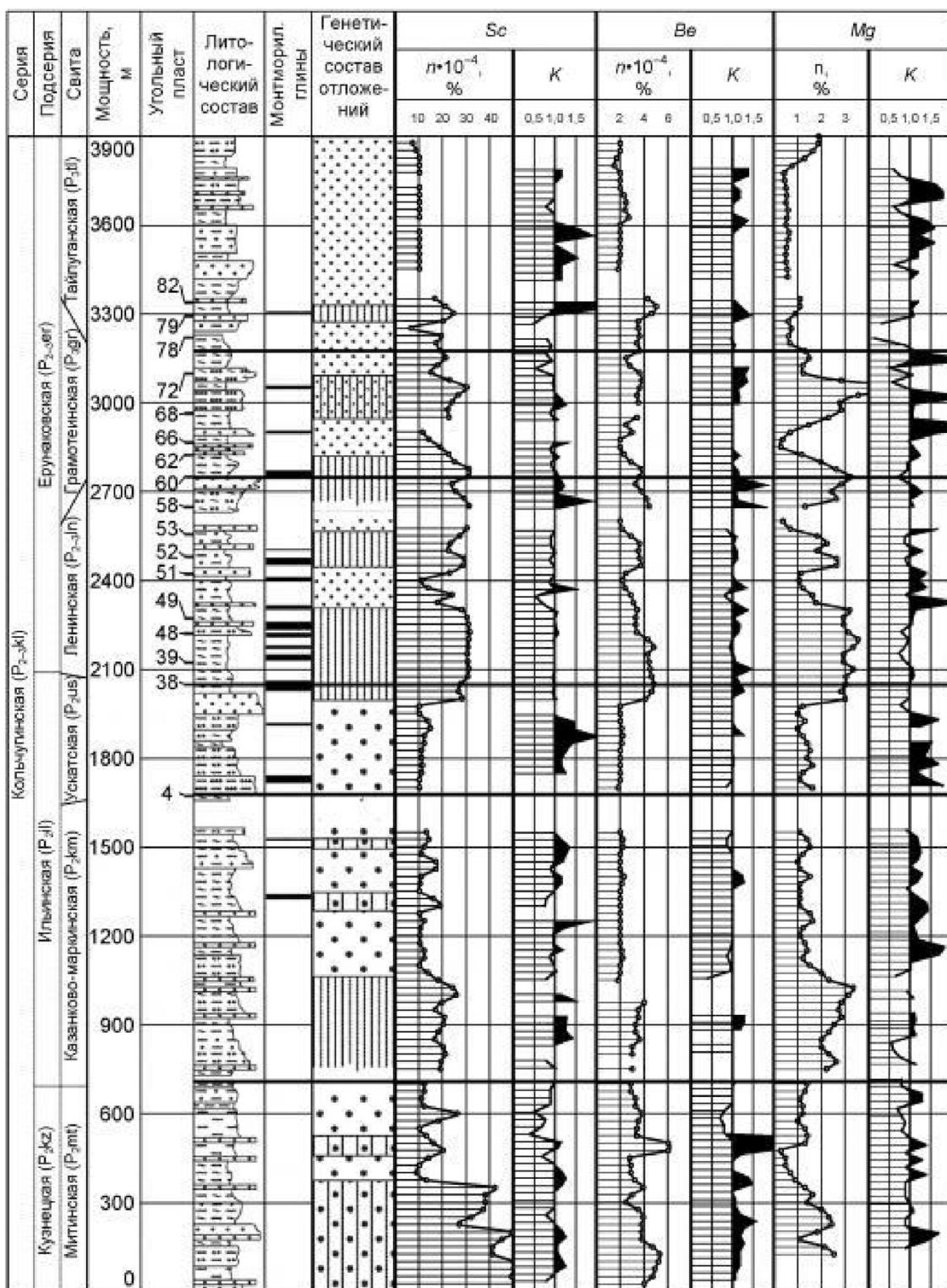
**$Mg$**  — отражает участие в составе толщи вулканогенно-пеплового материала среднего (возможно основного?) состава;

**$Na$**  — характеризует вклад в состав толщи преимущественно терригенного обломочного материала (с участием вулканогенно-пепловой составляющей);

**$Al$**  — служит показателем степени выветрелости участвующего в седиментогенезе вещества коренных пород области сноса. В частности, корреляция с  $Ti$  и  $Fe$  указывает на латеритизацию кор выветривания;

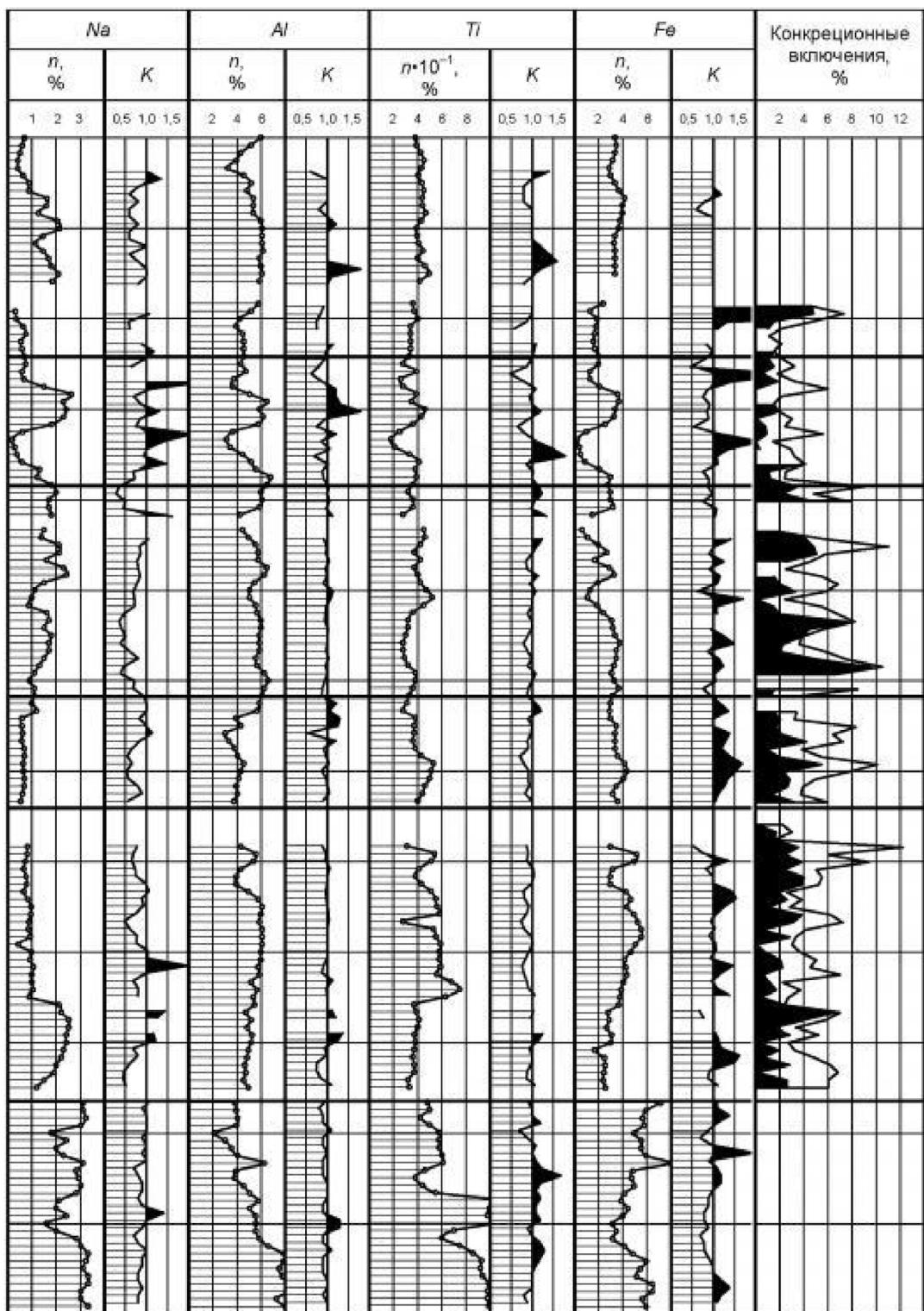
**$Ti$**  — в случае концентрации в глинистых продуктах и корреляции с  $Al$  служит косвенным подтверждением формирования латеритных кор выветривания;

**$Fe$**  — отражает двойственную природу миграции. В участках корреляции с  $Mg$  и  $Sc$  подтверждает



Условные обозначения:

Литологический состав толщи: – аргиллит, – алевролит, – песчаник.  
 Генетический состав элювиальных продуктов в породах осадочной толщи: – элювий по-  
 род с существенным участием материала вулкано-пепловых покровов, – элювий кор вы-  
 ветризации коренных пород обрамления латеритного профиля, – элювий кор выв-  
 етризации коренных пород обрамления гидрослюдисто-каолинитового профиля, – элювий



смешанного состава. Состав конкреций:  – сидеритовый, известково-сидеритовый,  – анкерит-доломит-известковый.

*Рис. 1. Литолого-geoхимический разрез угленосных отложений кольчугинской серии ( $P_{2-3kl}$ ) Кузбасса*

участие в составе толщи вулканогенно-пепловых продуктов, в участках её отсутствия совместно с *Al* и *Ti* свидетельствует о поступлении в осадок продуктов глубоко проработанных кор выветривания латеритного типа.

#### 4. Результаты исследований

Результаты исследований, обработанные в графической форме, представлены на рис. 1. Анализ результатов позволяет сделать следующие обобщения и выводы:

1. Интенсивное поступление скандия имело место главным образом при накоплении низов отложений кузнецкой (безугольной) подсерии и при формировании толщи ленинской и грамотеинской свит. Отмечается определённая периодичность концентрированного накопления скандия (табл. 1), которая, по сути, может служить основанием для прогноза скандиеносности вмещаемых углей.

С целью подтверждения прогнозной значимости установленных зон концентрированной скандиеносности изучено распределение скандия в разрезе отложений ленинской свиты по керну скважины № 1324 (Антоновская площадка), расположенной в 12 км к юго-востоку от опорного разреза. Граница ленинской и ускатской свит, принятая здесь по угольному пласту 26.

Характер распределения скандия в отложениях ленинской свиты в разрезе скважины совпадает с распределением в береговом разрезе (рис. 2). Зоны повышенного содержания в разрезе скважины соответствуют 4 и 5 зонам концентрации скандия в береговом разрезе. Более высокое содержание скандия в породах, вскрытых скважиной, в сравнении с береговым разрезом авторы объясняют неизбежной выветрелостью пород берегового разреза с частичным выщелачиванием скандия.

2. Закономерный характер выявленной эпизодичности подтверждается поведением других элементов, участвующих в седиментогенезе.

Прежде всего, отмечается выраженная корреляционная связь распределения скандия и магния. Участки повышенного содержания магния характеризуются появлением монтмориллонита в составе глин (рис. 1), что указывает на несомненное присутствие в толще вулканогенно-пепловых про-

дуктов. В интервалах повышенного содержания, как магния, так и скандия имеет место паритетное содержание элементов ( $K = 1$ ) как в обломочных, так и в глинистых породах, что можно объяснить присутствием грубых кластогенных пепловых частиц, содержащих скандий в изоморфной форме. В участках пониженного содержания наоборот отмечается преимущественная концентрация скандия и магния в глинистых породах ( $K > 1$ ), сформировавшихся из продуктов глубокого выветривания ранее выпавших пеплов.

Слабо выраженная корреляция скандия и бериллия при преимущественной концентрации последнего в глинах (рис. 1) указывает, что скандий транспортировался не только в сорбированном виде в глинах, но и в кластогенном пепловом материале.

Участие вулканогенно-пепловых продуктов в формировании угленосных толщ общеизвестно [11]. Не является исключением и угленосная толща Кузбасса, сложенная, по мнению А. В. Вана [12] на 40 % пирокластическим материалом. Так, например, активный вулканизм в верхнебалахонское время (*P<sub>1</sub>bl*) привёл к формированию крупного Заломненского месторождения бентонитовых глин, сформировавшихся, как полагают, из щелочных пеплов среднего состава. Аналогичный состав предположительно имел и вулканогенно-пепловый материал, участвовавший в формировании кольчугинской толщи, т. к. в зонах концентрации магния отмечается повышенное содержание натрия (рис. 1).

В связи с явным участием вулканогенно-пепловых продуктов в накоплении скандия возникает вопрос о месторасположении вулканических центров, поставлявших пепловый материал. Согласно А. В. Вану [12], изучавшему один из прослоев туфов в ерунаковской подсерии, отмечается в направлении с юга на север увеличение мощности прослоя и увеличение размера пепловых частиц от алевритовой до псаммитовой и даже псевфитовой размерности. Последние сложены обломками порфиритов с фенокристаллами зонального плагиоклаза, что характерно для вулканитов среднего состава.

На основании изложенного предполагают, что пирокластический материал поступал с севера, из районов Томь-Колыванской складчатой зоны,

Таблица 1. Стратиграфические границы зон концентрированного накопления скандия в отложениях кольчугинской серии

Зоны концентрированной скандиеносности	Относительное положение зон в стратиграфическом разрезе	Интервал мощности (по полевой документации)	Мощность зон, (м)	Граничные угольные пласты (номенклатура опорного разреза)
8	низы тайлаганской свиты	3260–3340	80	79–82
7	верхи грамотеинской свиты	2940–3100	160	68–72
6	верхи ленинской – низы грамотеинской свит	2660–2800	140	58–66
5	средняя часть ленинской свиты	2440–2600	160	51–53
4	низы ленинской свиты	2080–2280	200	38–49
3	верхи ускатской свиты	2000–2080	80	30–38
2	низы казанково-маркинской свиты	750–1030	280	–
1	низы кузнецкой подсерии	0–320	320	–

где имеются сходного состава вулканогенные породы пермского возраста [12].

3. Распределение *Al*, *Ti* и *Fe* в составе угленосной толщи позволяет сделать некоторые выводы о палеогеографических условиях осадконакопления, в частности, о составе элювиальных продуктов выветривания коренных пород области сноса, участвовавших в седиментогенезе. В общем случае корреляция *Al* и *Ti* в обогащённых указанными элементами элювиальных продуктах рассматривается как признак формирования кор выветривания латеритного типа. Железо при этом в виде оксидов и гидроксидов накапливается в латеритном панцире и при массовом сбросе формирует в отложениях зоны концентрации одновременно с *Al* и *Ti* (см. разрез казанково-маркинской свиты, рис. 1).

4. Наиболее «пёстрый» исходный состав имеют отложения, сформировавшие низы кузнецкой подсерии, когда в бассейн осадконакопления интенсивно поступал пепловый материал и одновременно материал кор выветривания латеритного типа. Последний преобладал в отложениях конца кузнецкого времени по мере прекращения вулканогенного привноса.

Новый этап интенсификации вулканизма имел место в начале казанково-маркинского времени, затем вплоть до середины ускатского времени толща формируется только из продуктов разрушения кор выветривания латеритного типа (рис. 1).

Начиная с конца ускатского времени и до начала формирования тайлаганской свиты в составе толщи преобладают пепловые продукты вулканизма. Связь *Al* и *Ti* утрачивается, они концентрируются преимущественно в обломочных породах.

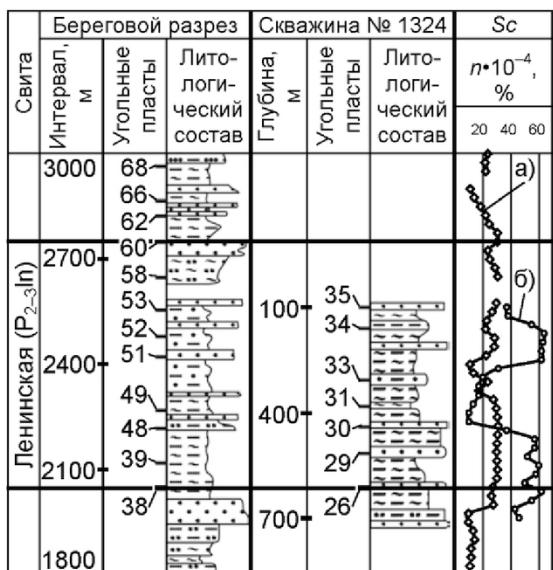


Рис. 2. Распределение скандия в отложениях ленинской свиты (*P<sub>2-3ln</sub>*) Кузбасса  
а) в опорном береговом разрезе р. Томь;  
б) в разрезе скважины № 1324 (Антоновская площадь)

Основная часть отложений тайлаганской свиты формировалась в обстановках умеренных температур из физически дезинтегрированных продуктов и материала каолинито-гидрослюдистой коры выветривания коренных пород обрамления (рис. 1).

##### 5. Генезис концентраций скандия в стратиграфическом разрезе

В. В. Серединым предложена генетическая классификация редкометалльных углей [13], где выделено четыре типа: терригенный, туфовый (вулканогенно-пепловый), инфильтрационный и эксфильтрационный.

В работах С. И. Арбузова и др. основная роль в накоплении скандия в кузнецких углях отводится сингенетичному отложению в составе терригенного материала и сорбционному концентрированию на органическом веществе [3, 4]. В результате действия первого фактора формируется начальный геохимический фон угольного месторождения, зависящий от палеогеографических условий угленакопления и геохимических особенностей области питания. Возможность вулканогенно-пеплового поступления скандия в состав толщи не рассматривается.

Осторожные высказывания о возможном накоплении редких металлов и земель в углях за счёт поступления в палеоторфяники вулканогенных продуктов имеются в работе Б. Ф. Ниантова [10].

Не отрицая вероятность терригенного привноса редких земель в палеоторфяники в краевых зонах бассейна (например, из кор выветривания щелочных раннедевонских массивов), авторы склонны для Центрального Кузбасса полагать основным источником накопления скандия вулканогенно-пепловый материал, как на территории осадконакопления, так и в области сноса.

В настоящее время нет чётких представлений о формах нахождения скандия в углях. Отмечается связь содержания скандия с зольностью углей [3, 4]. В тоже время известно, что содержание скандия в углях обратно пропорционально зольности [4]. Подобные соотношения, по мнению И. В. Рязанова и Я. Э. Юдовича [14] показывают, что терригенная зола является носителем, а сорбционная и биогенная — концентратором элементов.

Попытки определения форм вхождения скандия в органическую и минеральную части угля немногочисленны и противоречивы. Исследованиями С. А. Гордона и др. установлено, что основное количество скандия в каменном угле (до 90 %) приурочено к органической части угольного вещества [15]. По данным М. А. Менковского и др. в органике сосредоточено до 80 % скандия, причём основная его часть связана в составе углей с гуминовыми кислотами [16]. В тоже время

Т. Ф. Борисовой и др. при исследовании бурых углей отмечено, что с органическим веществом связано только 30 % металла [17].

Форма вхождения Sc в состав углей имеет существенное значение для решения технологических вопросов извлечения скандия из отходов сжигания углей. Известно, что скандий типичный элемент — лиофил и не должен образовывать летучих соединений. Действительно, при промышленном сжигании большинства углей скандий не фракционируется. Однако сжигание скандиеносных углей с заметным вкладом органической формы вхождения ведёт к улетучиванию существенной части скандия с последующим обогащением уловленного зольного уноса или безвозвратной атмосферной эмиссии скандия (Я. Э. Юдович [6]).

Повышенное содержание скандия в ЗШО в сравнении с содержанием во вмещающих породах указывает на активное дополнительное поступление скандия в период заболачивания территории из кор выветривания обрамления в сорбированной форме с глиной и органикой [18]. Возможно также обогащение скандием почвенной части торфяных пластов за счёт подболотного метасоматоза и экстракции из перекрывающей толщи.

Перераспределение скандия не только в углях, но и во вмещающих породах при химическом выветривании «*in situ*» железо-магнезиальной части пепловых продуктах из изоморфной формы вхождения в сорбированную глинистым веществом подтверждается нечёtkостью корреляционной связи с распределением *Fe* и *Mg* (рис. 1).

Об интенсивности процесса выветривания непосредственно на месте залегания можно судить по значительному количественному содержанию конкреций и составу конкреционных включений, поглощающих высвобождающиеся *Fe*, *Mg* и *Ca* (рис. 1).

## 6. Перспективы добычи скандия из углей Кузбасса

Организация целевого извлечения скандия из кузнецких углей при известном в настоящее время 2–4 кратном надфоновом концентрированием скандия в золо-шлаковых отходах и единичных

аномалиях содержания (до 250 г/т в раннепермских углях и до 116 г/т в верхнепермских [9, 10]) может реально рассматриваться только в случае комплексного извлечения ценных примесей.

В настоящее время предложен ряд технологических схем извлечения скандия из золошлаковых отходов (В. И. Кузмин, 1995, А. Д. Михнев 1995, Г. Л. Пашков 1995, Б. С. Ксенофонтов, 2013 и др.), основанных на кислотных, сорбционных и бактериальных способах выщелачивания. Учитывая общую тенденцию возрастания спроса на редкометалльное сырье и снижение требований к качеству руд промышленное извлечение редких металлов и в том числе скандия из отходов энергетического сжигания углей неизбежно.

## Выводы

1. Концентрация скандия в составе среднепозднепермских отложений Центрального Кузбасса связана с вулканогенно-пепловыми продуктами осадконакопления. Скандий рассеянный в них в изоморфной форме накапливается, но уже в сорбированном виде в монтмориллоните, образующемся при выветривании пеплового материала, как на территориях водосборных площадей, так и непосредственно в осадочной толще.

2. Эпохи интенсивного накопления вулканогенно-пеплового материала соответствуют началу казанково-маркинского времени, концу ускатского, началу и середине ленинского, концу ленинского – началу грамотеинского, концу грамотеинского – началу тайлаганского времени.

3. Угольные пласты, сформировавшиеся в составе указанных стратиграфических подразделений, наиболее перспективны с позиций выявления в них концентраций скандия.

4. Повышенные надфоновые, а иногда аномально высокие содержания скандия в продуктах озеления углей могут интерпретироваться как следствие интенсивного перераспределения в болотных осадках и как результат дополнительного привноса скандия поверхностными водами из кор выветривания коренных пород обрамления в периоды обширного заболачивания территорий. Наиболее вероятные формы миграции при этом — сорбция глинами, органикой и растворимые металлоорганические соединения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Новиков, О. Н. Скандий — металл космического века. URL <http://ecodcom.ru/skandij-metall-space-ade> (дата обращения 25.01.2016).
- Щербина, В. В. Скандий в осадочных породах. Металлы в осадочных толщах. Черные металлы, цветные лёгкие металлы. – Москва: Изд-во «Наука», 1964. – С. 440–444.
- Арбузов, С. И. Редкоземельные элементы и скандий в углях Кузбасса / С. И. Арбузов [и др.] // Литология и полезные ископаемые. 1997. № 3. – С. 315–326.
- Арбузов, С. И. Редкие элементы в углях кузнецкого бассейна / С. И. Арбузов, [и др.]. – Кемерово: Кемеровский полиграфкомбинат, 1999. – 248 с.
- Юдович, Я. Э. Элементы — примеси в ископаемых углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис, А. В. Мерц. – Ленинград: Наука, 1985. – 239 с.

6. Юдович, Я. Э. Ценные элементы – примеси в углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 538 с.
7. Арбузов, С. И. Редкометальный потенциал углей Северной Азии (Сибирь, Российский Дальний восток, Казахстан, Монголия) / С. И. Арбузов [и др.] // Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих растворах / Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Новосибирск: ИГГ СО РАН, 2014. – 759 с.
8. Arbuzov S. I., Volostnov A. V., Mezhibor A. M., et al. Scandium (Sc) geochemistry in coals (Siberia, Russian Far East, Mongolia, Kazakhstan, and Iran) // Int. J. Coal Geol., 2014. V. 125. P. 22–35. Doi: 10.1016/j.coal.2014.01.008.
9. Нифантов, Б. Ф. Угли Кузбасса: химические элементы-примеси и технологии их извлечения при комплексном освоении месторождений / Б. Ф. Нифантов [и др.]. – Кемерово: ИУ СО РАН, 2011. – 310 с.
10. Нифантов, Б. Ф. Геохимическое и геотехнологическое обоснование новых направлений освоения угольных месторождений Кузбасса / Б. Ф. Нифантов, [и др.]. – Москва: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр». 2014. – 536 с. (Библиотека горного инженера. Т. 1 Геология. Кн. 4).
11. Ван, А. В. Вулканизм и угленакопление. Вопросы литологии Сибири. Тр. СНИГГИМС. – Новосибирск, 1973. Вып. 170. – С. 14–21.
12. Ван, А. В. О месторасположении источников пеплового материала в угленосных отложениях Кузнецкого бассейна. Вопросы литологии Сибири. Тр. СНИГГИМС. – Новосибирск, 1973. Вып. 170. – С. 111–113.
13. Seredin, V. V., Finkelman R. B. Metalliferous coals: A revive of the main genetic and geochemical types // Int. J. of coal Geol., 2008. V. 76. I. 4. P/ 253–289.
14. Рязанов, И. В. К теории связи содержаний элементов – примесей в углях с зольностью / И. В. Рязанов, Я. Э. Юдович // Литология и полезные ископаемые. – 1973. – № 6. – С. 53–67.
15. Гордон, С. А. О характере распределения скандия в угле / С. А. Гордон, [и др.] // Исследования по химии горных пород. – Москва: Недра, 1968. – С. 32–37.
16. Менковский, М. А. Распределение скандия в продуктах кислотной деминерализации каменного угля / М. А. Менковский, [и др.] // Исследования по химии горных пород. – Москва: Недра, 1968. – С. 38–41.
17. Борисова, Т. Ф. Распределение скандия в угольном веществе / Т. Ф. Борисова [и др.] // Химия твёрдого топлива. 1974. № 5. – С. 10–13.
18. Ломашов, И. П. О формах миграции редких и рассеянных элементов в процессе углеобразования. Докл. АН СССР, 1962. – Т. 147. – № 4. – С. 924–926.

## REFERENCES

1. Novikov, O. N. Skandij — metall kosmicheskogo veka. URL <http://ecodcom.ru/skandij-metall-space-ade> (data obrashhenija 25.01.2016).
2. Shherbina, V. V. Skandij v osadochnyh porodah. Metally v osadochnyh tolshhah. Chernye metally, cvetnye legkie metally. – Moskva: Izd-vo «Nauka», 1964. – S. 440–444.
3. Arbuzov, S. I. Redkozemel'nye jelementy i skandij v ugljah Kuzbassa / S. I. Arbuzov [i dr.] // Litologija i poleznye iskopaemye. 1997. № 3. – S. 315–326.
4. Arbuzov, S. I. Redkie jelementy v ugljah kuzneckogo bassejna / S. I. Arbuzov, [i dr.]. – Kemerovo: Kemerovskij poligrafkombinat, 1999. – 248 s.
5. Judovich, Ja. Je. Jelementy – primesi v iskopaemyh ugljah / Ja. Je. Judovich, M. P. Ketris, A. V. Merc. – Leningrad: Nauka, 1985. – 239 s.
6. Judovich, Ja. Je. Cennye jelementy – primesi v ugljah / Ja. Je. Judovich, M. P. Ketris. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2006. – 538 s.
7. Arbuzov, S. I. Redkometal'nyj potencial uglej Severnoj Azii (Sibir', Rossijskij Dal'nij vostok, Kazahstan, Mongolija) / S. I. Arbuzov [i dr.] // Blagorod-nye, redkie i radioaktivnye jelementy v rudoobrazujushhih rastvrah / Materialy Vse-ros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. – Novosibirsk: IGG SO RAN, 2014. – 759 s.
8. Arbuzov S. I., Volostnov A. V., Mezhibor A. M., et al. Scandium (Sc) geochemistry in coals (Siberia, Russian Far East, Mongolia, Kazakhstan, and Iran) // Int. J. Coal Geol., 2014. V. 125. P. 22–35. Doi: 10.1016/j.coal.2014.01.008.
9. Nifantov, B. F. Ugli Kuzbassa: himicheskie jelementy-primesi i tehnologii ih izvlechenija pri kompleksnom osvoenii mestorozhdenij / B. F. Nifantov [i dr.]. – Kemerovo: IU SO RAN, 2011. – 310 s.
10. Nifantov, B. F. Geohimicheskoe i geoteknologicheskoe obosnovanie novyh napravlenij osvoenija ugol'nyh mestorozhdenij Kuzbassa / B. F. Nifantov, [i dr.]. – Moskva: Izd-vo «Gornoe delo» ООО «Kimmerijskij centr». 2014. – 536 s. (Biblioteka gornogo inzhenera. T. 1 Geologija. Kn. 4).
11. Van, A. V. Vulkanizm i uglenakoplenie. Voprosy litologii Sibiri. Tr. SNIGGIMS. – Novosibirsk, 1973. Vyp. 170. – S. 14–21.

12. Van, A. V. O mestoraspolozhenii istochnikov peplovogo materiala v uglenosnyh otlozhenijah Kuzneckogo bassejna. Voprosy litologii Sibiri. Tr. SNIGGIMS. – Novosibirsk, 1973. Vyp. 170. – S. 111–113.
13. Seredin, V. V., Finkelman R. B. Metalliferous coals: A revive of the main genetic and geochemical types // Int. J. of coal Geol, 2008. V. 76. I. 4. P/ 253–289.
14. Rjazanov, I. V. K teorii svjazi soderzhanij jelementov – primezej v ugljah s zol'nost'ju / I. V. Rjazanov, Ja. Je. Judovich // Litologija i poleznye iskopaemye. – 1973. – № 6. – S. 53–67.
15. Gordon, S. A. O haraktere raspredelenija skandija v ugle / S. A. Gordon, [i dr.] // Issledovaniya po himii gornyh porod. – Moskva: Nedra, 1968. – S. 32–37.
16. Menkovskij, M. A. Raspredelenie skandija v produktah kislotnoj demineraliziciji kamennogo uglja / M. A. Menkovskij, [i dr.] // Issledovaniya po himii gornyh porod. – Moskva: Nedra, 1968. – S. 38–41.
17. Borisova, T. F. Raspredelenie skandija v ugol'nom veshhestve / T. F. Borisova [i dr.] // Himija tverdogo topliva. 1974. № 5. – S. 10–13.
18. Lomashov, I. P. O formah migracii redkih i rassejannyh jelementov v processe ugleobrazovanija. Dokl. AN SSSR, 1962. – T. 147. – № 4. – S. 924–926.

Поступило в редакцию 4.08.2016

Received 4 August 2016