



ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВНИХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ С КОНЦЕНТРАЦИЯМИ СКАНДИЯ НАКЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Р.У. ЕРЕМЕНКО^{1,*}, П.А. ИГНАТОВ¹, П.Н. ИЛЛАРИОНОВ²

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² АК «АЛРОСА» (ПАО)
б, Ленина ул., г. Мирный 678174, Республика Саха (Якутия), Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены петрохимические характеристики глинистых отложений дяхтарской свиты Накынского кимберлитового поля, содержащей материал переотложенных кор выветривания позднего триаса — раннеюрского возраста. На сегодняшний день оно является наиболее перспективным на скандиевое оруденение по сравнению с другими площадями Мало-Ботубинского и Ыгыаттинского алмазоносных районов Якутии, где также известны концентрации скандия.

Цель. Установить геохимические характеристики концентраций скандия в отложениях дяхтарской свиты Накынского кимберлитового поля.

Материалы и методы. Используя петрохимические модули проанализировано 9022 рентгенофлюоресцентных анализа пород дяхтарской свиты, выполненных в лаборатории Вилуйской ГРЭ АК АЛРОСА (ПАО).

Результаты. По пересчету петрохимических модулей, дяхтарская свита в разных соотношениях сложена: глинистыми породами (42%); глинистыми силицитами (31%), слабоглинистыми силицитами (15%), гидролизатными глинистыми породами (9%) с примесью силицитов (4%). Абсолютное большинство проб с концентрациями скандия выше 100 г/т оказались в гидролизатных глинистых породах (83%), которые содержат продукты зрелых кор выветривания. Также для скандиеносных пород характерно формирование в континентальных условиях, нормальная железистость, неперенесенность и слабощелочная среда.

Заключение. Установленные закономерные изменения коэффициентов корреляции Sc/V, Sc/Ti и Sc/K, Sc/Rb с ростом содержания скандия указывают на вероятные формы нахождения скандия в ванадиеносном титаномагнетите и сорбционную в монтмориллоните.

Ключевые слова: алмазоносные поля, скандий, дяхтарская свита, геохимия осадочных пород

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках геологических заданий МГРИ при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-27-00280.

Для цитирования: Еременко Р.У., Игнатов П.А., Илларионов П.Н. Петрохимические характеристики древних кор выветривания с концентрациями скандия Накынского кимберлитового поля. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(3):78—87.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-78-87>

Статья поступила в редакцию 17.07.2024

Принята к публикации 14.09.2024

Опубликована 30.09.2024

* Автор, ответственный за переписку

PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ANCIENT WEATHERING CRUSTS WITH SCANDIUM CONCENTRATIONS IN THE NAKYN KIMBERLITE FIELD

RUSLAN U. EREMENKO^{1,*}, PETR A. IGNATOV¹, PAVEL N. ILLARIONOV²

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117997, Russia*

² *JSC ALROSA (PJSC)
6, Lenina str., Mirny 678174, Republic of Sakha /Yakutia/, Russia*

ABSTRACT

Background. The study examines the petrochemical characteristics of clayey deposits from the Dyakhtar Formation in the Nakyn Kimberlite Field, which contain material from redeposited weathering crusts of the Late Triassic to the Early Jurassic age. Currently, this Formation is considered the most promising for scandium mineralization compared to other areas in the Malo-Botuobinsky and Ygyattinsky diamond-bearing regions of Yakutia with the identified scandium concentrations.

Aim. To establish the geochemical characteristics of scandium concentrations in the sediments of the Dyakhtar formation of the Nakyn kimberlite field.

Materials and methods. Using petrochemical modules, 9022 X-ray fluorescence analyses of rocks of the Dyakhtar formation were analyzed, performed at the Vilyui Geological and Exploration Laboratory of ALROSA,

Results. The recalculation of the petrochemical modules has revealed that the Dyakhtar Formation comprises the following components in different proportions: clayey rocks (42%), clayey silicites (31%), weak clayey silicites (15%), hydrolyzate clayey rocks (9%) with an admixture of silicites (4%). The vast majority of samples with scandium concentrations exceeding 100 g/t were found in hydrolyzate clayey rocks (83%), which contain products of mature weathering crusts. In addition, scandium-bearing rocks are characterized by formation under continental conditions, by normal iron content and lack of translocation, as well as a weak alkaline environment.

Conclusion. The observed systematic changes in the correlation coefficients Sc/V, Sc/Ti, Sc/K, and Sc/Rb with increasing scandium concentrations suggest probable forms of scandium occurrence in vanadium-bearing titanomagnetite and its sorption in montmorillonite.

Keywords: diamond-bearing fields, scandium, Dyakhtar Formation, geochemistry of sedimentary rocks

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the work was carried out within the framework of geological assignments of MGRI with the financial support of RNF grant No. 23-27-00280.

For citation: Ignatov P.A., Eremenko R.U., Illarionov P.N. Petrochemical characteristics of ancient weathering crusts with scandium concentrations in the Nakyn kimberlite field. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(3):78—87. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-3-78-87>

Manuscript received 17 July 2024

Accepted 25 September 2024

Published 30 September 2024

* Corresponding author

Введение

В последние годы в Мало-Ботуобинском, Средне-Мархинском и Ыгыаттинском алмазодобывающих районах Якутии установлены высокие, вплоть до промышленных, концентрации скан-

дия и ряда попутных компонентов: ванадия, никеля, кобальта, лантана, церия и неодима [4, 5]. Они выявлены по данным анализов рядового литогеохимического опробования керна поисковых скважин. Опробование было нацелено

на обнаружение геохимических признаков кимберлитов и скоплений минералов — их индикаторов и минералов — спутников алмаза в осадочных породах нижнего палеозоя, потенциально вмещающих кимберлиты, и в базальных горизонтах перекрывающих их отложений. Ведущими признаками таких образований считаются аномальные концентрации хрома, никеля и кобальта [7]. Пробы отбирались, в том числе, из горизонтов древних кор выветривания, захороненных под чехлом каменноугольно-пермских и юрских отложений, достаточно распространенных в Якутской алмазональной провинции [2].

Большая часть концентраций скандия локализована именно в древних корах выветривания [4]. В частности, в Накынском кимберлитовом поле Средне-Мархинского района самые многочисленные и высокие скопления скандия локализованы в отложениях дяхтарской свиты триас-раннеюрского возраста, содержащей материал переотложенных кор выветривания [1, 9]. Петрохимические характеристики этой свиты в контексте условий и форм концентраций скандия ранее не рассматривались и изложены ниже.

Фактический материал и методы исследований

Накынское поле Средне-Мархинского района расположено на юге Якутской алмазональной провинции. В нем осваиваются месторождения алмазов в кимберлитах трубок Нюрбинская и Ботуобинская, известны алмазональные дайки Майская, Мархинская, Озерное. Все тела перекрыты терригенными отложениями дяхтарской свиты и вышележащими юрскими прибрежно-морскими отложениями. Накынское поле хорошо изучено поисковым бурением по различным сетям от 20×40 до 500×500 м. В каждой скважине с интервалом порядка 5 м производилось штучное опробование. Содержания элементов корректно определены методом рентген-флуоресцентного анализа (РФА), который используется в практике работ Вилуйской ГРЭ. Анализы выполнены в ее центральной аналитической лаборатории с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра S8 TIGER «BRUKER» (Германия). Это позволило собрать единую базу данных из более чем 45 000 анализов. Все они имеют геологическую привязку и проанализированы в открытой геоинформационной среде QGIS. Расчеты выполнены по стандартной методике в программе Excel.

Перед началом интерпретации геохимических данных дяхтарской свиты проведен отбор результатов анализов. Удалены анализы проб, в которых

скандий не определен. Также удалены значения с сомнительной достоверностью (420 значений с одним результатом 0,5001 — значение, которое, скорее всего, является браком, так как множество значений выше и ниже данного имеют максимум 1—2 повторения). Также были убраны пробы из скважин, непосредственно вскрывших кимберлиты. В результате получен массив из 9021 пробы глинистых пород дяхтарской свиты.

Выбраны генетические петрохимические модули: гидролизатный модуль, алюмокремневый модуль и общая нормативная щелочность, а также элементные фациальные индикаторы, такие как Fe/Mn и Ti/Zr, которые фиксируют глубину осадконакопления и дальность переноса вещества соответственно.

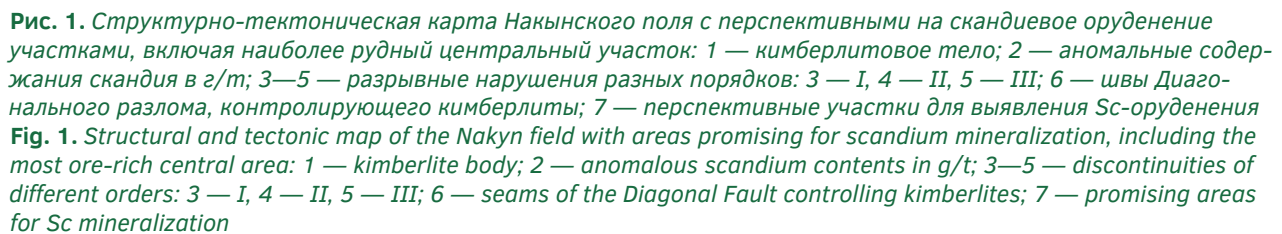
Анализ геохимических данных дополняет рассмотренные ранее перспективы обнаружения собственно скандиевых месторождений в Накынском поле [4]. Здесь выделены наиболее перспективные на скандий участки, расположенные вдоль Ботуобинского, Лиственичного и Дюстахского разломов (рис. 1).

Результаты исследований

Древние коры выветривания Якутии, в том числе и в Накынском поле, сложены главным образом монтмориллонитом с примесью других глинистых минералов и сидерита [2, 3, 10]. Глинистый состав кор выветривания, очевидно, делает их хорошим сорбентом.

В Накынском поле широко распространены переотложенные коры выветривания триас-раннеюрского возраста, относящиеся к дяхтарской свите. Они представлены карбонатно-алеврито-глинистым материалом карстовых, делювиальных, аллювиально-пролювиальных и озерных отложений, выполняющих пологие впадины древнего тектоно-эрозионно-карстового рельефа [1, 9]. Коры выветривания этого возраста затрагивают и позднедевонские кимберлиты [3, 6, 10]. В рассматриваемом районе, вероятно, и в раннекаменноугольное время проявлялось интенсивное выветривание, широко распространенное в Западной Якутии [2].

Проявлений триасового магматизма, характерного для большей части Западно-Якутской алмазональной провинции, в Накынском поле нет [14]. Здесь широко распространены силлы и особенно дайки среднепалеозойских траппов, а также эруптивные брекчии базитов и единичные тела среднепалеозойских монцонит-порфиров [8, 12, 13].



Гидролизатный модуль вычисляется по формуле $Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO/SiO_2$. Показатель дает возможность разделять терригенные и глинистые отложения по содержанию либо продукты гидролиза (каолинит, оксиды алюминия, железа, марганца), либо кремнезем. Чем выше значения

В малочисленных гидролизатных породах, которые содержат либо каолинит, либо свободные оксиды алюминия, железа и марганца, содержится

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

Таблица 1. Соотношение проб с повышенным содержанием Sc в разных по петрохимическим модулям отложениях
Table 1. Ratio of samples with elevated Sc content in different petrochemical modules of sediments

Породы	Количество проб	Процент проб от общего числа	Процент проб с содержанием выше 100 г/т
Гидролизатные глинистые породы	806	8,9	82,76
Глинистые породы	3800	42,1	13,79
Глинистые силициты (кремнисто-глинистые сланцы)	2765	30,7	3,45
Слабоглинистые силициты	1331	14,8	0
Силициты (кремни, фтаниты, яшмы, лидиты)	319	3,5	0
Всего	9021	100	100,00

Таблица 2. Соотношение проб с повышенным содержанием Sc с отложениями различной щелочности
Table 2. Correlation of samples with elevated Sc content with sediments of different alkalinity

Пробы	Количество проб	Процент проб от общего числа (%)	Процент проб с содержанием выше 100 г/т (%)
Гиперщелочные	3	0,03	0
Высокощелочные	50	0,55	0
Повышенно щелочные	2357	26,13	6,90
Нормально щелочные	3362	37,27	13,79
Гипощелочные	3249	36,02	79,31
Всего	9021	100	100,00

83% от всех проб с содержанием Sc выше 100 г/т; 17% относятся к глинистым породам, и только 1 проба относится к глинистым силицитам (кремнисто-глинистые сланцы), мезомиктовым и полимиктовым кварцевым песчаникам и алевролитам. В то же время силициты и слабоглинистые силициты вообще не содержат повышенных концентраций скандия.

Алюмокремневый модуль, который зачастую дублирует гидролизатный модуль, также подтвердил, что большинство проб с повышенным содержанием скандия относятся к гидролизатным породам, связанным с корами выветривания.

Общая нормативная щелочность, или «полевошпатовый индикатор», рассчитывает стандартную смесь гидрослюд и полевых шпатов и интерпретирует отклонения в ту или иную сторону. Вычисляется по формуле $K_2O + Na_2O / Al_2O_3$. При значениях модуля выше 1 речь идет о гиперщелочных породах, от 0,7 до 1,0 — высокощелочные, 0,4—0,7 — повышенно щелочные, 0,2—0,4 — нормально щелочные, все значения ниже 0,2 относят породу к гипощелочной (слабощелочной). Среди всех проб дяхтарской свиты единичными являются пробы высоко- и гиперщелочных отложений (табл. 2), в то время как гипощелочные, нормально

щелочные и повышенно щелочные представлены примерно поровну и образуют 99,5% всех типов пород. Как и в случае с гидролизатным модулем, большинство проб с повышенным содержанием Sc (79,31%) относятся к определенному типу гипощелочных пород.

Fe/Mn фациальный индикатор показывает глубину осадкообразования и указывает на то, что большинство пород (72,4%) формировались в поверхностных условиях, однако 27,6 % отложений по данному индикатору формировались в морском мелководье. Одна проба показала глубоководные условия формирования, что не сходится с палеогеографической характеристикой дяхтарского времени, а также палеогеологическими картами, но, вероятнее всего, это связано с переработкой нижележащей олондинской свиты, представленной преимущественно известняками.

Фациальный индикатор Ti/Zr указывает на дальность переноса вещества и основан на том, что при длительной транспортировке обломочной составляющей породы значения этого модуля уменьшаются вследствие лучшей сохранности циркона в сравнении с титаносодержащими минералами. 69% проб с высоким

содержанием скандия указывают на породы, которые не подвергались дальнему переносу, однако 31% проб, согласно модулю, явно дальнеприносные. Такое большое значение не может быть погрешностью метода и показывает, что среди проб с повышенным содержанием Sc есть породы как ближнего, так и дальнего сноса.

Целесообразно рассмотреть петрохимические индикаторы на конкретном геологическом разрезе, составленном по наиболее перспективному на скандиевое оруденение участку, расположенному вдоль Ботубинского разлома между Еркютейским и Лиендокитским разломом (рис. 2).

Здесь в скважинах 396-472 и 428-448 встречаются интервалы мощностью около 20 м, в которых содержание скандия превышает 100 г/т. В скважине 396-472 между пробами с содержанием скандия 133,6 и 462,5 находится проба с содержанием в 56,95 г/т.

Согласно гидролизатному модулю все пробы с содержаниями больше 100 г/т и проба в 56,95 г/т относятся к зрелым корам выветривания. Показатель общей нормативной щелочности соответствует слабощелочным, кроме проб с 56,95 и 107,7 г/т, которые относятся к нормально щелочным и не сильно отличаются от остальных по значению модуля щелочности. Согласно Fe/Mn фациальному индикатору все пробы являются континентальными отложениями за исключением нижней (141 г/т), которая относится

к мелководным отложениям, что, скорее всего, связано с положением в нижней части разреза и эрозией карбонатных пород олдондинской свиты. Ti/Zr фациальный индикатор относит все пробы к практически не перенесенным или к слабо перенесенным. Железистый модуль в данном разрезе относит все пробы к повышенно железистым, кроме пробы в 130,2 г/т в скважине 396-472 и 199,7 г/т в скважине 428-448. Однако разница весьма незначительна, так как к высокожелезистым относятся значения в 1—3, а к нормальножелезистым 0,2—0,6 и значения в 1,03 и 0,59 соответственно отличаются от повышенно щелочных на незначительные 0,03 и 0,01.

Из менее показательных и результативных следует отметить упомянутый железистый модуль. При оценке выборки среди показателей с высоким содержанием Sc нет четкой взаимосвязи с породами определенной степени железистости. Однако отмеченные высокие концентрации скандия связаны с повышенно железистыми породами, которые составляют половину от общей выборки (9021 проба) в дяктарской свите (48,3%). Пятая часть (20,7%) относится к нормально железистым и высоко железистым и только 10,3% к слабожелезистым породам.

Таким образом, по петрохимическим модулям большая часть концентраций скандия выше 100 г/т связана с глинистыми, повышенно железистыми породами зрелой коры выветривания, которые накопились в континентальных,

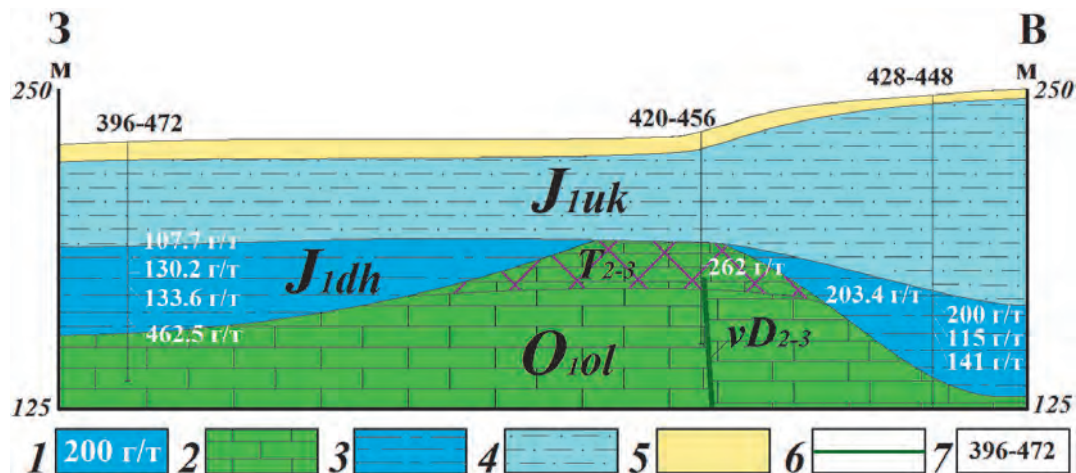


Рис. 2. Субширотный разрез перспективного участка: 1 — содержание скандия больше 100 г/т; 2 — карбонатные породы олдондинской свиты ордовика; 3 — глинистые породы дяктарской свиты; 4 — глинисто-песчаные породы укугутской свиты; 5 — четвертичные отложения; 6 — девонские дайки основного состава; 7 — номер скважины

Fig. 2. Sublatitudinal section of the prospective area: 1 — scandium content greater than 100 g/t; 2 — carbonate rocks of Oldondin Formation of Ordovician; 3 — clayey rocks of Dyakhtar Formation; 4 — clayey-sandy rocks of Ukugut Formation; 5 — Quaternary sediments; 6 — Devonian dikes of basic composition; 7 — well number

Таблица 3. Сравнение средних содержаний элементов в породах дяхтарской свиты Накынского кимберлитового поля
Table 3. Comparison of average elemental contents in rocks of the Dyakhtar Formation of the Nakyn kimberlite field

Средние содержания:	Макроэлементы в %			Микроэлементы в г/т (для микроэлементов указан кларк)				
	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Sc (12)	V (150)	Cu (55)	Rb (130)	Nb (13,6)
Проб с повышенным содержанием Sc (29)	1,5	0,1	3,7	157,1	429,1	251,4	30,4	31,3
Проб, отнесенных к зрелым корам выветривания по модулям (806)	2,6	0,1	1,1	27,9	155,7	119,6	52,1	15,0
Всех проб дяхтарской свиты (9022)	3,4	0,1	0,8	14,6	107,2	97,0	71,6	14,2

Примечание. Указаны кларковые содержания элементов по данным таблицы, составленной в отделе «Геоэкология и геохимическое картирование» ИМГРЭ. <https://www.geokniga.org/geowiki/средние-содержания-химических-элементов>

Note. The clark contents of the elements are indicated according to the table compiled in the Department of Geoecology and Geochemical Mapping of IMGRE. <https://www.geokniga.org/geowiki/средние-содержания-химических-элементов>

слабощелочных условиях и не испытали значительного перемещения.

Имеющиеся аналитические данные позволяют подойти к решению вопроса о формах концентраций скандия в дяхтарской свите. Рассмотрим распределение макро- и микроэлементов, имеющих наиболее контрастные значения, по трем группам: пробы с повышенным содержанием Sc; пробы, отнесенные по модулям к зрелым корам выветривания; все пробы дяхтарской свиты. Элементы, которые значимо отличаются в выборках, представлены в таблице 3.

Видно, что концентрации скандия в породах дяхтарской свиты сопровождаются концентрациями ванадия, меди и ниобия и деконцентрацией калия и рубидия. В породах переотложенных кор выветривания повышены концентрации скандия и меди как относительно общей выборки, так и относительно кларков. Содержания ванадия повышены только в высокоскандиевых пробах.

По расчету коэффициентов корреляции установлен тренд на увеличение положительной связи скандия с ванадием и титаном (рис. 3).

Коэффициенты корреляции увеличиваются в пробах, содержащих скандий больше 50 г/т. Скорее всего, это указывает на нахождение скандия и ванадия в одном минерале, предположительно, в установленном [9] в дяхтарской свите, титаномагнетите.

Коэффициенты корреляции скандия с рубидием и калием имеют обратный тренд (рис. 4).

Видно, что корреляция скандия с калием практически не меняется, а с рубидием увеличивается обратная зависимость. Возможно, это связано с тем, что рубидий вместе с калием входит в кристаллическую структуру гидрослюд, а скандий, вероятно, сорбировался монтмориллонитом. Надо отметить, что рассматриваемые зрелые коры выветривания имеют монтмориллонит-гидрослюдистый состав [9].

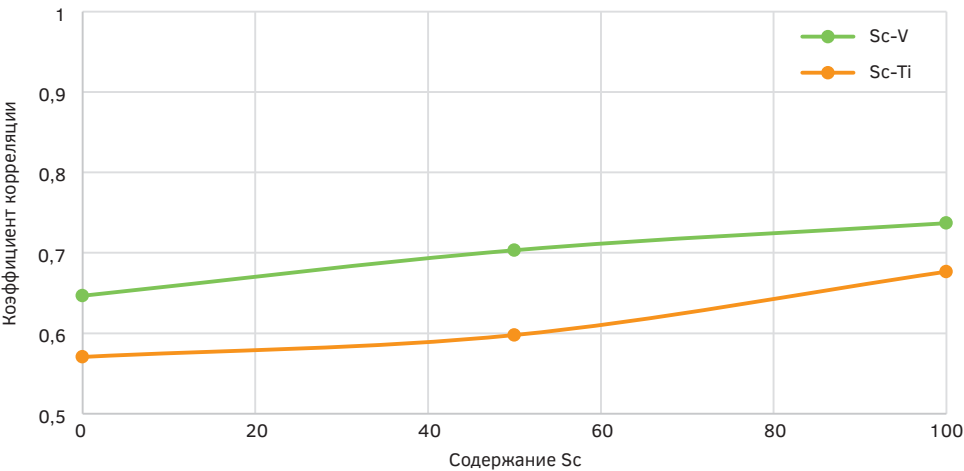


Рис. 3. Увеличение коэффициентов корреляции V и Ti со Sc с ростом его концентраций
Fig. 3. Increase of correlation coefficients of V and Ti with Sc with increase of its concentrations

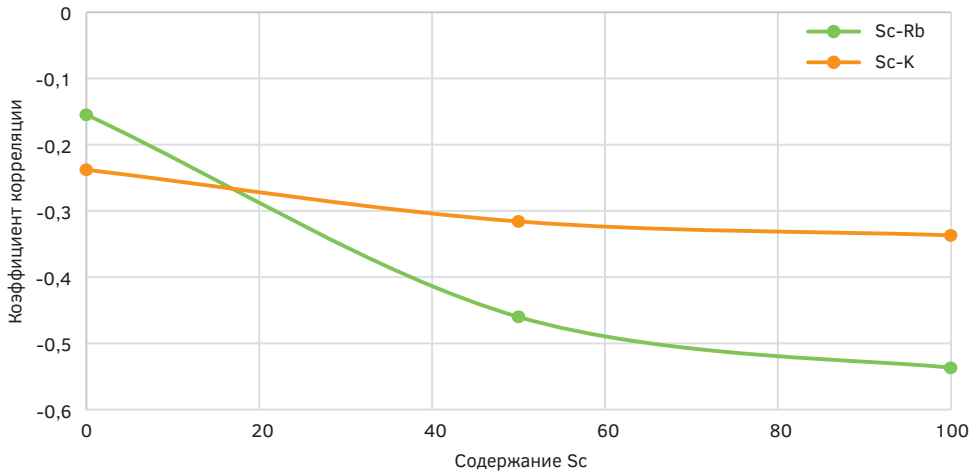


Рис. 4. Уменьшение коэффициентов корреляции K и Rb со Sc с ростом его концентрации

Fig. 4. Decrease of correlation coefficients of K and Rb with Sc with increase of its concentration

Заключение

Анализ петрохимических модулей показывает, что большая часть концентраций скандия выше 100 г/т связана с неперенесенными глинистыми, повышено железистыми породами зрелой коры выветривания, которые накопились в континентальных слабощелочных условиях.

По коэффициентам корреляций скандия с калием, рубидием и ванадием можно считать, что форма нахождения рудных концентраций скандия предполагается в виде сорбции в монтмориллоните и тонкозернистом акцессорном ванадий-скандиеносном титаномагнетите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Граханов О.С. Строение, состав и условия формирования раннемезозойских погребенных россыпей алмазов Средне-Мархинского района Западной Якутии: Автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук. Воронеж 2010.
2. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы. Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та, 1994. 240 с.
3. Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Стегницкий Ю.Б. Сравнительная минералогическая характеристика кор выветривания кимберлитовых пород трубок Нюрбинская и Ботуобинская. В сб.: Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов (мат-лы науч.-практ. конф., посв. 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Мирный, 1998. С. 132—134.
4. Игнатов П.А., Еременко Р.У., Толстов А.В., Овчинников И.М. Перспективы выявления месторождений скандия в Якутской алмазонасной провинции. Горный журнал. 2022. № 7. С. 12—21.
5. Игнатов П.А., Еременко Р.У., Толстов А.В., Овчинников И.М. Перспективы обнаружения месторождений стратегических полезных ископаемых (Си, Со, Ti, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, графит, углеводород) в алмазонасных районах юга Западной Якутии. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024. Т. 66. №1. С.65—78.
6. Килижеков О.К. Закономерности локализации и особенности разведки погребенных россыпей алмазов Средне-Мархинского района. (Якутская алмазонасная провинция): Автореф. дис. ... канд. геолого-минералогических наук. Новосибирск, 2017.
7. Кириллина А.В., Васильева В.И., Симоненко В.И. Геохимические методы поисков кимберлитов на закрытых территориях западной Якутии. В сб.: Роль геохимии в развитии мсб тпи прогноз, поиски, оценка и инновационные технологии освоения редкометалльных объектов. М.: ИМГРЭ. 2016. С. 44—47.
8. Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Егоров К.Н. и др. Среднепалеозойский базитовый магматизм северо-западной части Вилюйского рифта: состав, источники, геодинамика. Петрология. 2006. Т. 14. № 6. С. 626—648.
9. Никулин И.И., Савко А.Д. Литология алмазонасных нижнеюрских отложений Накынского кимберлитового поля (Западная Якутия). Тр. НИИ ВГУ. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2009. 134 с.
10. Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Неустроев Р.Г., Карпенко М.А., Килижеков О.К. Слонопостроенные зрелые коры выветривания кимберлитов Накынского поля (трубки Ботуобинская и Майская). В сборнике: Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные,

- методические, инновационно-технологические пути ее повышения: материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённая 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ — НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). 2018. г. Мирный. С. 156—160.
11. *Скляр Е.В.* Интерпретация геохимических данных. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с. ISBN: 5-89594-063.
12. *Томшин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т.* Особенности магматических формаций из Накынского кимберлитового поля. Якутской провинции. Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 12. С. 1678—1689.
13. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.
14. *Черенков В.Г., Корнилова В.П., Голубева Ю.Ю., Герасимова М.В.* Базиты Вилуйско-Мархинского дайкового пояса (Вилуйский палеорифт) и их соотношения с кимберлитами Накынского поля. Руды и металлы. 2021. № 4. С. 85—108.
- ### REFERENCES
1. Grakhanov O.S. Structure, composition and conditions of formation of Early Mesozoic buried diamond placers of the Sredne-Markhinsky region of Western Yakutia: Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geological and mineralogical Sciences Voronezh, 2010 (In Russ.).
2. Zinchuk N.N. Weathering crusts and secondary alteration of kimberlites of the Siberian Platform. Novosibirsk: Novosibirsk University Publ., 1994. 240 p. (In Russ.).
3. Zinchuk N.N., Melnik Yu.M., Stegnitsky Yu.B. Comparative mineralogical characterization of weathering crusts of kimberlite rocks of Nyurbinskaya and Botuobinskaya pipes. In: Geology, regularities of location, methods of forecasting and prospecting for diamond deposits (materials of the scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of YANIGP CRNIGRI ALROSA. Mirny, 1998. P. 132—134 (In Russ.).
4. Ignatov P.A., Eremenko R.U., Tolstov A.V., Ovchinnikov I.M. Prospects for identification of scandium deposits in the Yakutsk diamondiferous province. Gornyy Zhurnal. 2022. No. 7. P. 12—21 (In Russ.).
5. Ignatov P.A., Eremenko R.U., Tolstov A.V., Ovchinnikov I.M. Prospects for the discovery of deposits of strategic minerals (Si, Co, Ti, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, graphite, hydrocarbon) in the diamond-bearing regions of the south of Western Yakutia. News of higher educational institutions. Geology and exploration. 2024. Vol.66. No.1. P. 65-78. (In Russ.).
6. Kilizhekov O.K. Regularities of localization and peculiarities of exploration of buried diamond placers of the Sredne-Markhinsky district. (Yakutsk diamondiferous province). Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geological and mineralogical Sciences Novosibirsk, 2017 (In Russ.).
7. Kirillina A.V., Vasilieva V.I., Simonenko V.I. Geochemical methods of searching for kimberlites in the closed areas of western Yakutia. In: Role of geochemistry in the development of Mineral resource base of solid minerals forecast, prospecting, evaluation and innovative technologies of development of rare-metal objects. Moscow: IMGRE, 2016. P. 44—47 (In Russ.).
8. Kiselev A.I., Yarmolyuk V.V., Egorov K.N., et al. Middle Paleozoic basite magmatism of the northwestern part of the Vilyui rift: composition, sources, geodynamics. Petrology. 2006. Vol. 14. No. 6. P. 626—648 (In Russ.).
9. Nikulin I.I., Savko A.D. Lithology of diamondiferous Lower Jurassic sediments of the Nakyn kimberlite field (Western Yakutia). Proc. VGU RESEARCH INSTITUTE. Voronezh: Voronezh State University, 2009. 134 p. (In Russ.).
10. Sablukov S.M., Sablukova L.I., Neustroev R.G., Karpenko M.A., Kilizhekov O.K. Complexly constructed mature weathering crusts of kimberlites of the Nakyn field (Botuobinskaya and Mayskaya pipes). In the collection: The effectiveness of geological exploration for diamonds: predictive resource, methodological, innovative and technological ways to improve it: materials of the V All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the Diamond Laboratory TsNIGRI — NIGP ALROSA (PAO). 2018. Mirny. P. 156—160 (In Russ.).
11. Sklyarov E.V. Interpretation of geochemical data. Moscow: Intermet Engineering, 2001. 288 p. (In Russ.). ISBN: 5-89594-063.
12. Tomshin M.D., Fomin A.S., Kornilova V.P., Cherny S.D., Yanygin Y.T. Features of magmatic formations from the Nakyn kimberlite field. Yakutsk province. Geology and Geophysics. 1998. Vol. 39. No. 12. P. 1678—1689 (In Russ.).
13. Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. Root diamond deposits of the world. Moscow: Nedra, 1998. 555 p. (In Russ.).
14. Cherenkov V.G., Kornilova V.P., Golubeva Yu. V. Basites of the Vilyuisko-Markhinsky dyke belt (Vilyuisky paleorift) and their relations with kimberlites of the Nakyn field. Ores and Metals. 2021. No. 4. P. 85—108 (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Еременко Р.У. — провел исследования, верифицировал данные, провел статистический анализ, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Игнатов П.А. — разработал концепцию, методологию, проведение исследования, провел редактирование рукописи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Илларионов П.И. — разработал методологию, провел исследования, верифицировал данные, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ruslan U. Eremenko — conducting research, verifying data, conducting statistical analysis, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Petr A. Ignatov — development of the concept, methodology, research, editing of the manuscript, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Pavel N. Illarionov — methodology, research, data verification, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Еременко Руслан Умарович — аспирант, инженер-исследователь кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: eremenko-ruslan@mail.ru

тел.: +7 (916) 017-36-29

SPIN-код: 3885-1807

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1997-8723>

Ruslan U. Eremenko — graduate student, research engineer at the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: eremenko-ruslan@mail.ru

tel.: +7 (916) 017-36-29

SPIN-code: 3885-1807

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1997-8723>

Игнатов Петр Алексеевич* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: ignatovpa@mgri.ru

тел.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-код: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Petr A. Ignatov* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor, Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: ignatovpa@mgri.ru

tel.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-code: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Илларионов Павел Николаевич — руководитель направления АК АЛРОСА (ПАО).

6, ул. Ленина, г. Мирный, Республика Саха (Якутия)

e-mail: IllarionovPN@alrosa.ru

Pavel N. Illarionov — Head of the Department of AK ALROSA (PJSC).

6, Lenin str., Mirny, Republic of Sakha (Yakutia),

Russia

e-mail: IllarionovPN@alrosa.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author