

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ,
МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 553.078.2

ОСВЕТЛЕНИЕ КЕМБРИЙСКИХ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОРОД
НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

П.А. ИГНАТОВ¹, Н.Р. ЗАРИПОВ¹, О.К. КИЛИЖЕКОВ², Л.В. ЛИСКОВАЯ³

*¹Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 23; e-mail: petrignatov@gmail.com*

*²Ботубинская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО)
678174, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Вилюйская, д. 7б; e-mail: kilizhekovOK@alrosa.ru*

*³Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО)
678174, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, Чернышевское шоссе, д. 7; e-mail: liskovayaLV@alrosa.ru*

В Накынском рудном поле Средне-Мархинского района Якутской алмазоносной провинции изучено осветление терригенно-карбонатных красноцветных пород кембрия. Исследование велось в первую очередь по данным бурения поисковых и разведочных скважин около кимберлитовых тел Майское, Озерное, рудопроявления Мархинское и трубки Нюрбинская. Установлены разнообразные формы осветления, которые объединены в послойные и прожилковые типы. Выявлена пространственная приуроченность прожилкового и прожилково-послойного осветления к кимберлитам, эруптивным брекчиям базитов и кимберлитоконтролирующим разломам. Приведены сравнительные геохимические данные по неизмененным красноцветным породам, послойному и прожилковому осветлению. Предполагается экзогенное катагенетическое и эндогенное синмагматическое происхождение осветления.

Ключевые слова: Якутская алмазоносная провинция; оглеение; кимберлит; водород; анаэробные бактерии.

CLARIFICATION OF RED-COLORED ROCKS OF CAMBRIAN IN NAKYN
ORE FIELD OF YAKUTIAN DIAMONDIFEROUS PROVINCE

P.A. IGNATOV¹, N.R. ZARIPOV¹, O.K. KILIZHEKOV², L.V. LISKOVAYA³

*¹Russian State Geological University
117997, Russia, Moscow, Miklouho-Maklaya street, 23; e-mail: petrignatov@gmail.com*

*²Botuobinskaya Exploration Expedition PJSC «ALROSA»
678174, Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Mirny, Viluykaya ul., 7b; e-mail: kilizhekovOK@alrosa.ru*

*³Geo-Scientific research Enterprise PJSC «ALROSA»
678174, Russia, Republic of Sakha (Yakutia), Mirny, Chernyshevskoye Shosse, 7; e-mail: liskovayaLV@alrosa.ru*

Clarification of terrigenous-carbonate red-colored rocks of Cambrian was researched in Nakyn ore field of Yakutian diamondiferous province. The study was provided by the core data of prospecting and exploration holes, which drilled near and through kimberlites Mayskoe, Ozerne, ore manifestation Marhinskoe and pipe Nurbinskaya. Different morphological types of clarification were discovered, which connected in two main groups: layered and vein clarification. It was found, that vein and vein-layered clarification are spatially connected with kimberlites, eruption breccia of basic rocks and kimberlite-control faults. Geochemical comparative data is presented by initial red rocks, for layered and vein clarification. Genesis of clarification is assumed to be exogenic catagenetic and endogenic sinmagmatic.

Key words: Yakutian diamondiferous province; gleying; kimberlite; hydrogen; anaerobic bacteria.

В Накынском рудном поле Якутской алмазоносной провинции распространено осветление кембрийских красноцветных пород. Вторичное осветление обнаруживается в ряде разрезов глубоких поисковых и разведочных скважин, пройденных на месторождениях алмазов Ботуобинское, Нюрбинское, Майское, и Мархинское, на участке рудопроявления Озерное. В них вскрыты многочисленные интервалы прожилков и послойного осветления. Поскольку эти новообразования встречены в экзоконтактах с кимберлитами, то они, наряду с другими вещественно-структурными данными [4, 6], могут служить новыми локальными поисковыми признаками кимберлитовых тел и их кустов.

По геолого-геофизическим данным фундамент в Накынском поле представлен гранито-гнейсами и кристаллическими сланцами раннего архея, залегающими на глубинах 3,7–4 км [9]. Платформенный чехол представлен двумя структурными ярусами — венд-нижнепалеозойским и мезозойско-кайнозойским [7].

Нижнепалеозойский ярус включает отложения венда, кембрия, нижнего ордовика и силура мощностью около 3,5–3,8 км. Вендские отложения сложены терригенными породами мощностью до 110 м и залегающей на них карбонатной толщей мощностью 450 м. Породы венда повсеместно распространены на изучаемой площади. Отложения кембрия в Накынском поле представлены тремя отделами. Верхний отдел кембрийской системы представлен мархинской свитой и сложен пестроцветными известняками, доломитами, аргиллитами, алевролитами. Общая мощность мархинской свиты 500–540 м. Осветление наиболее ярко проявлено и максимально изучено в красноцветных породах мархинской свиты.

Породы ордовикской системы в районе работ представлены нижним, средним и верхним отделами. Нижний отдел представлен олдондинской свитой, сложенной в основном доломитами, известняками оолитовыми и строматолитовыми с прослоями песчаников и алевролитов. Средний отдел — станской свитой и сложен пестроцветными мергелями, аргиллитами, алевролитами с прослоями известняков. Мощность ордовика на изучаемой площади составляет порядка 500 м. Силур, распространённый в Накынском поле только в южной части, представлен известняками, доломитами мощностью до 120 м [2, 7].

Мезозойско-кайнозойский структурный ярус состоит из триасовой, юрской, меловой и четвертичной систем. Триас-юрские делювиально-карстовые образования, а также юрские континентальные, морские и дельтовые отложения с размывом залегают на породах нижнепалеозойского яруса. Мощность мезозойско-кайнозойских отложений в Накынском кимберлитовом поле составляет от 40 до 100 м и более.

Магматические образования в Накынском поле представлены среднепалеозойскими дайками и силлами, позднепалеозойскими кимберлитами и эруптивными брекчиями базитов. Все магматические образования прорывают породы нижнепалеозойского цоколя и перекрываются отложениями мезозойско-кайнозойского яруса [9].

Осадочные толщи, магматические образования и связанное с ними осветление в Накынском кимберлитовом поле изучено главным образом по керну поисковых, разведочных и гидрогеологических скважин, а также в стенках карьера Нюрбинского месторождения алмазов. Минералого-геохимическая изученность осветления базируется примерно на 130 анализах, изучено более десяти прозрачных шлифов, рентгенофазовым методом, выполненным Л.В. Лисковой в лаборатории НИГП АК АЛРОСА (дифрактометр ARLX'TRA), диагностирован состав 18 представительных проб, рентген-флюоресцентным, выполненным М.Ю. Гурвичем в лаборатории МГРИ-РГГРУ, — 70 (спектрометр «РеСПЕКТ»), высокочувствительным масс-спектрометрическим методом, выполненным Я.В. Бычковой в ИГЕМ РАН (масс-спектрометр серии XII ICP-MS Thermo Scientific) — 10.

Осветление в красноцветных породах проявлено в виде слоёв, пятен и прожилков салатно-зелёного, светло-серо-зелёного и белого цветов. Макроскопически границы осветления резкие, однако в прозрачных шлифах на протяжении нескольких миллиметров наблюдаются постепенные мелкопятнистые контакты.

Послойное осветление в ряде случаев охватывает весь вскрытый бурением разрез пестроцветной толщи кембрия, более чем 200 м. В большинстве случаев оно фиксируется в приконтактных час-

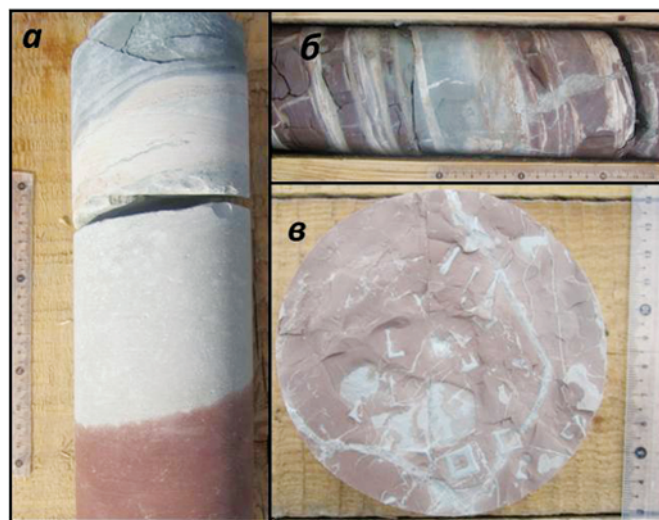


Рис. 1. Осветление красноцветных пород: под глинистыми известняками, скважина ПР-3, глубина 312,5 м (а); послойное и пятнистое по трещинам высыхания и ходам роющих организмов, скважина ПР-3 глубина 247 м (б); по контурам глиптоморфов и трещинам усыхания, скважина ПР 7-2, глубина 203,5 м (в)

тях пластов красноцветных пород, граничащих с серо-зелёными слоями известняков и доломитов (рис. 1, а). При этом мощность осветления в подстилающих первичных красноцветных породах в несколько раз больше, чем в перекрывающих.

Послойное осветление обычно сопровождается пятнистым осветлением, которое распространяется по диагенетическим нарушениям в красноцветных породах: ходам роющих организмов, трещинам усыхания, контурам глиптоморфоз (рис. 1, б, в).

Важным фактом является смещение послойного и пятнистого осветления по плоскостям микросбросов, что указывает на время его образования до хрупких тектонических деформаций.

Широкое распространение послойного и пятнистого осветления, более значительное осветление от подошвы сероцветных слоёв, чем от их кровли, осветление вдоль диагенетических трещин, тектонические микросмещения пятен и слойков осветления следует объяснить воздействием на первично красноцветные породы восстановительных по железу вод, которые отжимались из сероцветных отложений на этапе катагенеза.

Пятнистое и послойное осветление красноцветных пород, названное оглеением, изучено А.И. Перельманом, Е.Н. Борисенко и другими исследователями [1, 8]. По их мнению, оно обусловлено эпигенетическими процессами восстановительного глеевого ряда. Оглеением А.И. Перельман [8] назвал восстановительные процессы, протекающие без сероводорода и приводящие к образованию пород, илов, почв сизой, зелёной, голубоватой и пятнистой окрасок.

В нашем случае механизм экзогенного осветления, вероятно, сводился к следующему. Глинистые карбонатные породы служили источниками седиментогенных вод, которые отжимались в алевролиты. В сероцветных разностях отложений была бескислородная обстановка, в которой развивались анаэробные бактерии. Красноцветные алевролиты являлись средой для поступления таких вод, так как они имеют каркас в виде кварцевых зерен, тогда как глинистые известняки и известковистые аргиллиты склонны к уплотнению. В результате деятельности анаэробных бактерий образовывалась углекислота, которая растворяла карбонаты из цемента алевролитов. Образовывались ионы кальция и гидрокарбоната [1]:



При этом железо из гидроксидов, обволакивающих терригенные частицы («железистая рубашка»), переходило в раствор и выносилось в форме $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_3$, что обуславливает обеление пород. Также подвижными должны были быть калий, кальций, рубидий и стронций, что находит подтвер-

ждение в приведенных ниже геохимических данных. Восстановлению железа и переходу его в подвижное состояние мог способствовать и водород [1], выделяемый при микробиальном разложении различных видов углеводов, например, по реакции:



Отмеченные процессы, вероятно, происходили на этапе катагенеза до полной литификации глинистых пород.

Прожилковое осветление представлено единичными маломощными (от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров) крутопадающими прожилками (рис. 2, а), реже их сетчатыми или параллельными сериями (рис. 2, в, г). Прожилки имеют либо прямолинейные контакты, либо волнообразные с раздувами и ответвлениями, согласными со слоистостью (рис. 2, б).

Особенностью прожилкового осветления является присутствие в их осевой зоне ровных трещин, что подчеркивает ключевую роль тектоники в формировании данных образований. Кроме того, в плоскости таких трещин в части прожилков с осветлением установлены нитевидные выделения тёмно-синевато-серого микрозернистого материала (рис. 2, г). Такие микропрожилки в подавляющем числе случаев были обнаружены лишь в экзоконтактах кимберлитов.

Прожилки осветления распространены ограничено. Они встречаются в разрезах, в которых явно выражены признаки хрупких тектонических деформаций в виде микровзбросов и микросбросов. Кроме того, сближенные серии прожилков и их сетчатые образования наиболее часто сопровождают экзоконтакты с кимберлитами и встречены вблизи эруптивных брекчий базитов.

В этой связи следует подчеркнуть, что прожилки осветления вблизи даек и силлов основного состава трапповой формации, широко распространённых в Накынском поле, не установлены.

Пространственная связь прожилкового осветления с проявлениями глубинного эруптивного магматизма и разломами указывает на формирование осветления в связи с высокотемпературными глубинными флюидами, содержащими водород.

В ряде случаев зафиксирована пространственная ассоциация послойного и прожилкового осветления (рис. 3). При этом отчётливо наблюдается экранирование слоями и слойками известняков и доломитов распространения послойного осветления от подводящего снизу канала прожилково-трещинного осветления.

Похожая картина отмечена в обнажении в стенке карьера по трубке Нюрбинская. Здесь секущие прожилки и послойное осветление распространя-



Рис. 2. Прожилковое осветление: *а* — прожилок в 80 м от эруптивной брекчий, скважина 508-2, глубина 464,5 м; *б* — волнообразный прожилок с раздувами по слойкам, скважина ПР-7-1, глубина 433—434 м (диаметр керна 10 см); *в* — сетчатое осветление на контакте с кимберлитовой брекчий Майского месторождения алмазов, скважина Р 7—3, глубина 318 м, диаметр керна 10 см; *г* — серия параллельных прожилков в 15 м от контакта с кимберлитом Майского месторождения, скважина Р 8—6, глубина 415,5 м

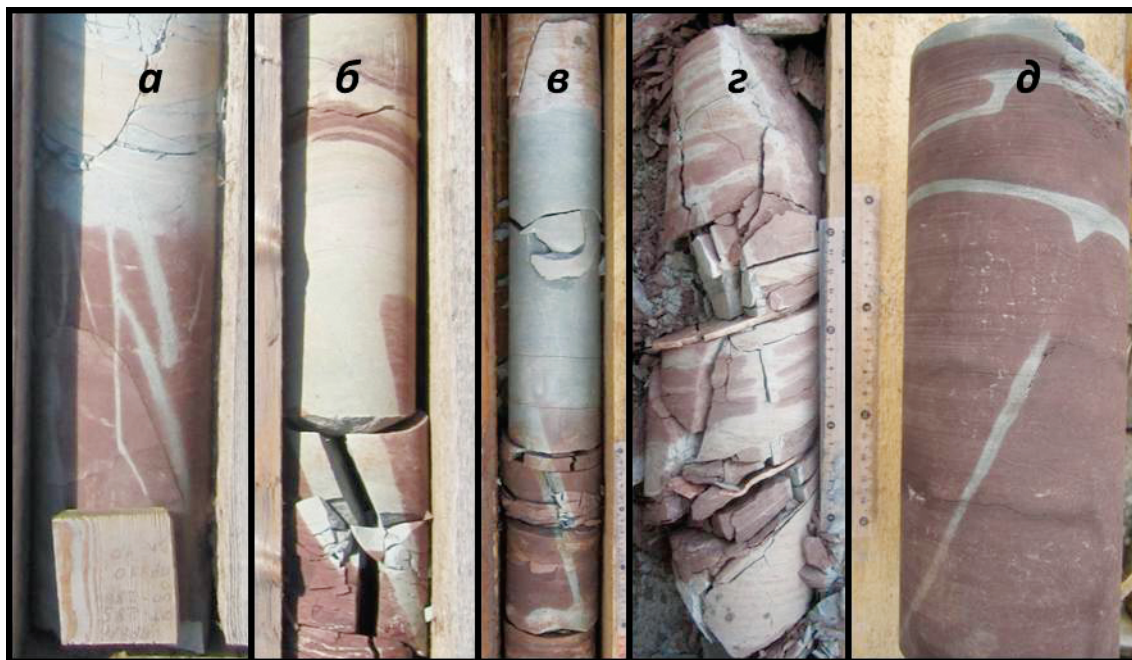


Рис. 3. Ассоциация прожилкового и субпластового осветления: *а* — скв. ПР-8-1, гл. 286; *б* — скв. ПР-8-1, гл. 266; *в* — скв. ПР-1, гл. 212,5; *г* — скв. М-22-2, гл. 275; *д* — скв. СР-46-3, гл. 349, диаметр керна 10 см

ются непосредственно от крутопадающей жилы (дайки), сложенной кимберлитовыми брекчиями (рис. 4). При этом осветленными оказываются и сами кимберлиты.

Данные факты указывают на существование единой палеогидродинамической системы трещин-

но-пластовых коллекторов, по которым двигались растворы глеевого геохимического типа и восстановительные газы.

По минеральному составу материал осветлённых новообразований почти не отличается от красноватых пород (табл. 1).

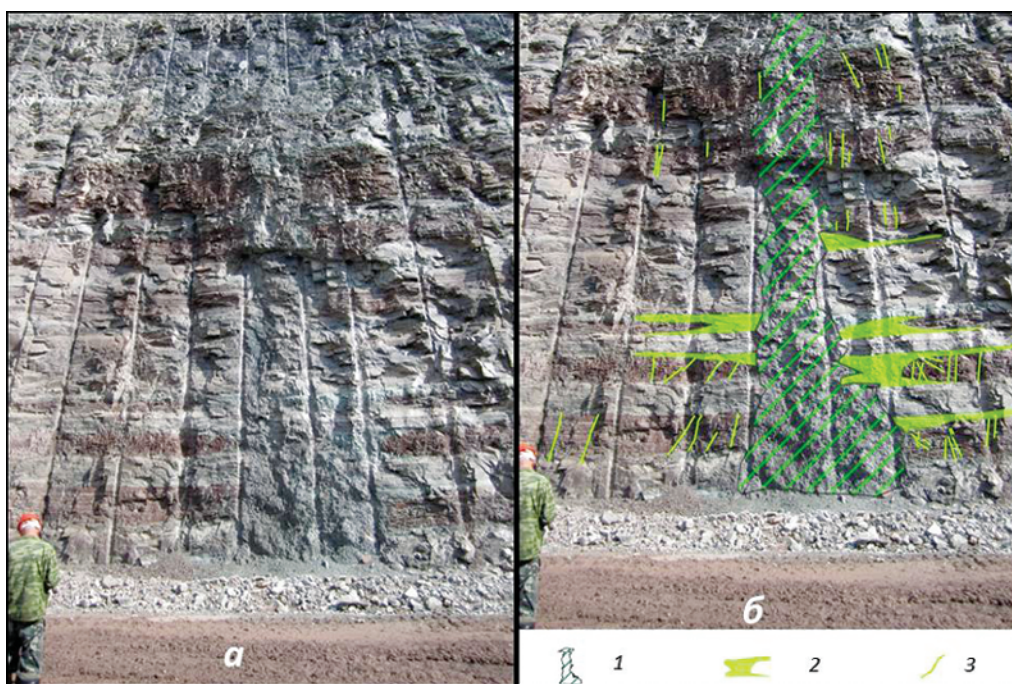


Рис. 4. Послойное и секущее освещение в экзоконтакте жилы кимберлитовой брекчии (а – фотография, б – результат дешифрирования); северный борт карьера тр. Нюрбинская, отметка 47,5 м: 1 – дайка кимберлитовых брекчий; 2 – субслоистое освещение, отходящее от кимберлита; 3 – прожилковое освещение

Таблица 1

Результаты рентгенофазового анализа

Номер п/п	Характеристика	Условные содержания, %															
		Кальцит	Доломит	Слюда	Хлорит	Каолинит, серпентин	Смектиты	Тальк	Кварц	Полевые шпаты	Гипс	Пирит	Пирит, халькопирит	Магнетит	Пироксены	Ангидрит	Рентгеноаморфные фазы
1	Красноцветный алевролит	4	21	12	5		12		31	5			4				<12
2	Красноцветный алевролит	8	16	3	3	2			31	6		2				3	26
3	Послойное осветление	3	19	5	5	3			42	3				сл			<20
4	Прожилковое осветление	16			1	3			44		1			сл			
5	То же			3	1	3			38								
6	То же	2	3	21	5		14		34								<21
7	То же	8	10	4	4	5			33	10		сл			5	4	17
8	То же	32	2					19						3	7		37
9	Тёмный налет в осевой части прожилкового осветления		36	3	3	сл.			44	5							<9
10	То же		23						48	5	24						не опр.
11	То же		36	3	3	сл.			44	5							<9
12	То же		13						69	6	2		4				<6
13	То же		7						65	14	11		3				?
14	То же	5	13	7	7	5			35	4		сл			4	4	16
15	То же		33	4	2	3			22	4	2	<1			1	3	26
16	То же	3	2	4	10	4		4		12	49				6		?

Примечание. Анализы выполнены канд. геол.-мин. наук Л.В. Лисковой на рентгеновском дифрактометре ARLX' TRA-155, Thermoscientific (Швейцария) в лаборатории НИГП АК «АЛРОСА».

Таблица 2

Результаты рентенофлуоресцентного анализа некоторых представительных проб (мас. %)

Описание	№ пробы	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr
Алевролит красноцветный	M22/2-272-1	5,5700	9,3400	0,2520	0,0480	3,4900	0,0010	0,0050	<0,001	0,0067	0,0067	0,0023	0,0089
Алевролит осветленный прожилковый	M22/2-272-2	5,2800	9,1300	0,3180	0,0640	2,3920	0,0010	0,0050	0,0020	0,0072	0,0070	0,0019	0,0138
Материал тёмного цвета в прожилке с осветлением	M22/2-272-3	4,4500	10,4700	0,3900	0,0400	2,0240	0,0020	0,0050	0,0040	0,0038	0,0074	0,0020	0,0105
Алевролит красноцветный	M-22-3-281-1	4,6700	2,9200	0,4540	0,1210	5,5860	<0,001	0,0060	<0,001	0,0077	0,0051	0,0019	0,0088
Алевролит осветленный прожилковый	M-22-3-281-2	4,6900	6,1300	0,4890	0,0550	3,1890	<0,001	0,0060	0,0010	0,0074	0,0062	0,0024	0,0088
Алевролит красноцветный	M-22-3-292-1	8,0200	7,9900	0,4480	0,0300	2,9560	0,0030	0,0010	0,0010	0,0093	0,0466	0,0022	0,0141
Осветленный прожилковый алевролит с темным мате-риалом	M-22-3-292-2	7,7000	2,8800	0,3390	0,0260	2,2020	<0,001	0,0010	0,0020	0,0091	0,0753	0,0019	0,0140
Алевролит красноцветный	ПР-3-312.5-1	5,1000	13,1000	0,3030	0,0450	2,8260	0,0010	0,0040	0,0010	0,0082	0,0109	0,0018	0,0102
Алевролит осветлённый послыйный	ПР-3-312.5-2	3,3800	12,4500	0,1980	0,0560	1,7080	0,0020	0,0050	0,0010	0,0074	0,0123	0,0018	0,0108
Алевролит красноцветный	ПР-3-323.5-1	4,2400	15,9400	0,1820	0,0600	1,8460	<0,001	0,0040	0,0010	0,0063	0,0117	0,0016	0,0100
Алевролит осветлённый послыйный	ПР-3-323.5-2	5,8800	15,2000	0,2680	0,0420	1,3400	0,0010	0,0030	0,0010	0,0060	0,0141	0,0017	0,0106
Алевролит красноцветный	ПР-8/1-197-1	5,8400	9,1000	0,4910	0,0540	4,0000	<0,001	0,0050	<0,001	0,0101	0,0075	0,0022	0,0105
Алевролит осветлённый прожилковый	ПР-8/1-197-2	5,2900	6,9700	0,4690	0,0530	3,6060	<0,001	0,0060	<0,001	0,0121	0,0082	0,0022	0,0110
Алевролит красноцветный в кимберлитовой брекчии (КБ)	P-7/3-291.5-1	2,1400	17,0800	0,1740	0,0570	1,3300	<0,001	0,0020	<0,001	0,0034	0,0087	0,0015	0,0064
Алевролит осветлённый прожилковый в КБ	P-7/3-291.5-2	3,8500	12,4500	0,2390	0,0400	1,2080	<0,001	0,0020	<0,001	0,0049	0,0815	0,0011	0,0094
Алевролит красноцветный в КБ	P-7/3-318-1	4,8800	15,6800	0,2370	0,0420	2,0010	0,0060	0,0030	0,0010	0,0063	0,0171	0,0013	0,0091
Алевролит осветлённый прожилковый в КБ	P-7/3-318-2	3,9300	14,8200	0,2040	0,0450	1,6040	<0,001	0,0020	<0,001	0,0067	0,2237	0,0022	0,0150

Примечание. Анализы выполнены на приборе «РеСПЕКТ» в лаборатории МГРИ-РГГРУ (аналитик канд. тех. наук М.Ю. Гурвич).

Надо отметить, что в пробах из нитевидных образований осевых частей прожилков по сравнению с вмещающими красноцветными породами и основной массой прожилкового осветления в большинстве случаев имеется гипс и отсутствует кальцит. Кроме того, за исключением следов магнетита в трёх образцах осветлённого алевролита, не обнаружено минеральных форм железа, при его содержании от 1 до 7% по данным рентген-флюоресцентного анализа.

Результаты анализов свидетельствуют о том, что окраску красноцветным породам придают тонко диспергированные оксиды и гидроксиды железа, которые могут быть определены как рентгеноаморфные фазы. В осветлённых породах двухвалентное железо может оставаться как в тонко диспергированной форме, так и образовывать минеральные образования в виде пирита или магнетита (табл. 1).

Изучение прозрачных шлифов осветлённых и красноцветных пород также указывают на присутствие железа в виде аморфных фаз и отсутствие сульфидов, либо других минеральных форм. Так, в прозрачных шлифах из красноцветных пород наблюдаются песчаные и алевритовые зёрна кварца, зёрна и агрегаты кальцита и других минералов, которые обволакиваются и цементируются красно-коричневой массой — тонко диспергированными оксидами и гидроксидами железа.

Для изучения геохимических характеристик обработаны результаты рентген-флюоресцентного анализа 70 проб, из которых 35 отобраны по красноцветным породам, 17 — по прожилковому осветлению, 15 — по послойному, 3 пробы — по тёмному материалу из плоскости трещин в прожилковом осветлении (табл. 2). Получены содержания К, Са, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Y и Zr. Наиболее представительные результаты получились по Fe, К, Ti. На рис. 5 показаны результаты анализов на Fe и К. В одной точке в целях сравнения могло быть отобрано до трёх образцов, включая красноцветную, осветлённую породу и тёмный материал из плоскости трещины в прожилковом осветлении, но преимущественно по два образца (по осветлённым и красноцветным породам).

Наиболее значительно отличаются красноцветные и осветлённые породы по содержанию железа (рис. 5). При этом различий содержаний в участках послойного и прожилкового осветления ещё не наблюдается, что подтверждает вывод о единстве палеогидродинамической трещинно-пластовой системы. Кроме железа, относительно остальных элементов заметно распределение калия и его геохимического аналога рубидия. В большинстве случаев содержание калия ниже в осветлённой породе. При этом в участках прожилкового осветления концентрация калия сопоставима с таковой в крас-

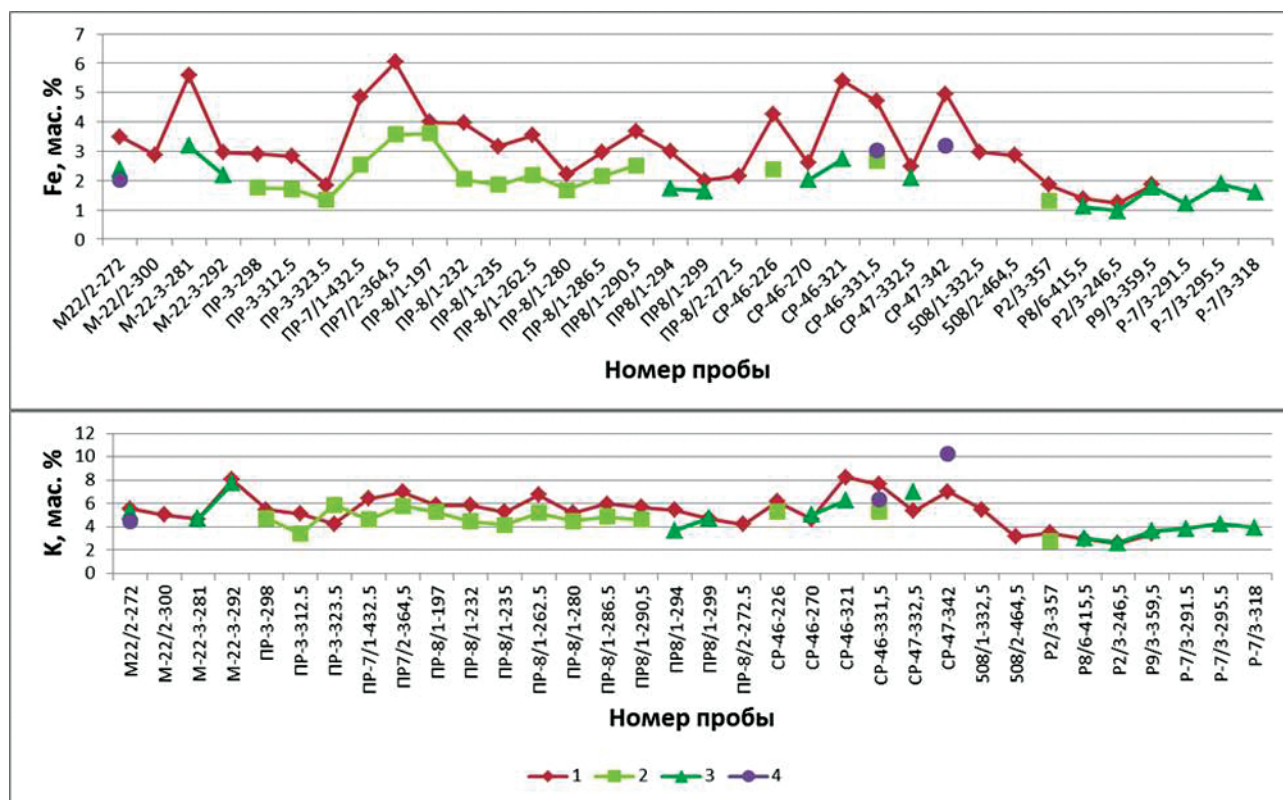


Рис. 5. Распределение железа и калия (мас. %) в осветлённых и красноцветных породах по данным рентген-флюоресцентного анализа: 1 — красноцветные породы, 2 — субпослойное осветление, 3 — прожилковое осветление, 4 — темноватый материал из плоскости трещины

ноцветных породах, тогда как в участках послойного — ниже (рис. 5).

По пяти парным пробам методом ICP-MS, выполненным Я.В. Бычковой в лаборатории ИГЕМ РАН, получены субкларковые содержания микроэлементов от Li до U (табл. 3). Установлено, что в осветлённых породах во всех пробах серебра больше, чем в красноцветных породах. Обратная кар-

тина наблюдается для молибдена. Содержание висмута относительно красноцветных пород выше в прожилковом освещении, задокументированном у контакта с кимберлитами, а его содержание в прожилковом освещении у контакта с эруптивными брекчиями базитов и послойном освещении ниже, чем в красноцветных породах. В этой связи отметим, что в кимберлитах установлены повы-

Таблица 3

Результаты ICP-MS (ppm) анализа

Проба	508/1-332-5а	508-1-332-5б	508-2-464-5а	508-2-464-5б	P2-3-357а	P2-3-357б	P8-6-415-5а	P8-6-415-5б	P9-3-359-5а	P9-3-359-5б
Порода	Красноцветный алевролит	Секущее освещение	Красноцветный алевролит	Секущее освещение	Красноцветный алевролит	Послойное освещение	Красноцветный алевролит	Секущее освещение	Секущее освещение	Красноцветный алевролит
Li	100	95	272	295	146	127	82	89	154	145
Be	1,3	1,4	1,6	1,9	1,4	1,4	0,73	0,86	1,1	1,5
Sc	15	15	14	14	13	10	8,1	9,2	10	9,7
Ti	3378	3344	3235	3187	2625	2552	1942	2068	2454	2402
V	115	100	105	103	88	84	60	62	75	76
Cr	80	74	90	84	60	58	40	46	56	57
Mn	463	460	428	366	424	434	364	367	429	422
Co	15	14	12	12	12	11	7,0	8,2	11	11
Ni	65	61	59	59	52	47	39	40	48	48
Cu	6	16	0		92	9	3,7	0,82	4,6	9,1
Zn	87	75	70	73	69	85	60	60	79	67
Rb	101	87	90	92	76	70	57	57	72	74
Sr	119	117	124	119	180	185	104	105	191	184
Y	17	17	17	16	14	15	14	15	14	13
Zr	105	101	114	112	89	90	78	109	115	87
Nb	7,3	7,4	7,2	7,0	5,6	5,4	4,2	4,4	5,1	5,2
Mo	0,34	0,21	1,17	0,05	0,17	0,031	0,11	0,039	<ПО	0,23
Ag	0,43	0,45	0,64	1,04	0,50	0,72	0,55	0,82	0,84	0,43
Cd	0,066	0,009	0,16	0,079	0,038	0,07	0,12	0,11	0,10	0,032
Cs	3,0	2,8	2,7	2,6	1,9	1,7	0,56	0,74	1,3	1,5
Ba	298	275	486	391	214	205	169	175	205	205
La	17	17	14	11	13	13	11	12	14	13
Ce	36	35	30	26	27	27	24	27	30	27
Pr	4,1	4,1	3,8	3,2	3,1	3,3	3,1	3,5	3,6	3,2
Nd	17	16	15	13	13	14	13	14	14	13
Sm	3,3	3,4	3,1	2,9	2,8	3,0	2,9	3,1	2,9	2,6
Eu	0,76	0,80	0,84	0,77	0,60	0,70	0,74	0,74	0,65	0,63
Gd	3,4	3,5	3,2	3,1	2,9	3,2	2,8	3,1	2,8	2,8
Tb	0,45	0,48	0,44	0,44	0,39	0,42	0,40	0,44	0,37	0,36
Dy	2,8	2,7	2,7	2,7	2,3	2,4	2,3	2,5	2,3	2,1
Ho	0,62	0,61	0,59	0,59	0,50	0,50	0,51	0,51	0,50	0,47
Er	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5	1,6	1,4	1,5	1,4	1,4
Tm	0,29	0,28	0,29	0,27	0,21	0,26	0,21	0,22	0,21	0,20
Yb	1,7	1,8	1,9	1,7	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4
Lu	0,27	0,27	0,27	0,26	0,22	0,22	0,18	0,22	0,22	0,20
Hf	2,7	2,6	2,9	2,8	2,2	2,4	1,9	2,6	2,9	2,1
Ta	0,42	0,45	0,38	0,41	0,34	0,32	0,23	0,26	0,28	0,31
W	1,0	0,86	2,2	0,99	1,5	0,79	0,59	1,7	0,70	0,70
Pb	4,1	2,9	3,0	2,2	3,6	2,8	5,4	3,0	3,4	3,5
Bi	0,14	0,068	0,078	0,061	0,037	0,005	0,04	0,12	0,52	0,06
Th	6,9	5,6	5,9	5,7	5,2	5,0	3,8	4,5	5,0	4,7
U	2,5	2,5	2,3	3,7	2,6	2,3	1,6	3,5	5,1	2,8

Примечание. Анализы выполнены на масс-спектрометре серии XII ICP-MS Thermo Scientific в лаборатории ИГЕМ РАН (аналитик канд. геол.-мин. наук Я. В. Бычкова).

шенные содержания висмута [3]. Примерно также ведёт себя гафний. Концентрация других микроэлементов, включая иттрий и редкие земли, практически не изменяется в первичных и осветлённых разностях пород.

Приведенные геохимические данные указывают на незначительные отличия процессов послыйного и прожилкового осветления, обусловивших вынос железа и в меньшей степени калия, рубидия. Также незначительно отличается осветление, пространственно связанное с кимберлитами, что требует дальнейших исследований.

В целом приведённые геологические наблюдения и минералого-геохимические данные по осветлению кембрийских красноцветных пород Накынского алмазоносного поля позволяют утвер-

ждать, что эруптивный магматизм в виде кимберлитов и брекчий базитов сопровождался активизацией трещинно-пластовой системы восстановительных газодовых систем глеевого типа.

Часть пластового и пятнистого осветления (оглеение), вероятно, возникла в процессе катагенеза при участии микробиального водорода и гидрокарбонат-иона в условиях элизионного режима древнего артезианского бассейна. Прожилковое осветление и часть пластового осветления, по-видимому, связаны с восходящими флюидами глубинного мантийного водорода. Другим источником водорода могли служить нефтегазовые скопления, прорванные кимберлитами, эруптивными брекчиями, а также тектоническими нарушениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко Е.Н. Геохимия глеевого катагенеза в породах красноцветной формации. М.: Наука, 1980. 164 с.
2. Граханов О.С., Серов И.В. Древние россыпи ближнего сноса Средне-Мархинского алмазоносного района // Известия вузов. Геология и разведка. 2009. № 3. С. 22–27.
3. Дунин-Барковская Э.А., Уханов А.В. Висмут в кимберлитовых породах Якутии // Геохимия. 1974. № 11. С. 24–27.
4. Игнатов П.А. Методы обнаружения скрытых рудоконтролирующих структур в осадочных толщах на примерах месторождений урана и алмазов // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении: XXI Междунар. научн. конф., посвящ. 100-летию академика В.И. Смирнова. Сб. трудов в 2-х томах. Том 1. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 169–186.
5. Игнатов П.А., Зарипов Н.Р., Ким В., Гунин А.П. Типы осветленных красноцветных кимберлитовмещающих пород венда-кембрия Зимнебережного района Архангельской области // Известия вузов. Геология и разведка. 2015. № 2. С. 15–21.
6. Ковальчук О.Е., Игнатов П.А., Кряжев С.Г. Методика локального прогнозирования кимберлитовых тел на основе комплексного исследования вторичной постмагматической минерализации кимберлитов и вмещающих пород, а также продуктов разрушения кимберлитов // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. Материалы V полевого научно-практического семинара. Айхал, 2015. С. 96–106.
7. Никулин И.И. Литологические типы пород в структурах Накынского поля Западной Якутии // Вестник ВГУ. 2006. № 2. С. 87–94.
8. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М.: Изв. высшей школы, 1961. 496 с.
9. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.

УДК 519.237.8

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АССОЦИАЦИЙ СУБВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ОСНОВНОГО СОСТАВА ДЖУСИНСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ЮЖНЫЙ УРАЛ

Е.И. ЯРЦЕВ, Н.Н. ШАТАГИН

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, e-mail: yar@geol.msu.ru*

Изучение субвулканических тел позднеживетского габбро-диабазового комплекса выявило неоднородность этих образований: одни тела имеют по отношению к оруденению секущее положение, на другие оруденение наложено. Предварительная петрохимическая классификация даек позволила выявить две различные по составу группы. В связи с этим была проведена типизация данных образований, которые, по-видимому, подразделяются на группу дорудных субвулканических тел и группу пострудных секущих даек. Методы статистической обработки данных химического анализа с использованием модулей программы STATISTICA 10 позволили выявить две подгруппы габбро-диабазового субвулканического комплекса и определить индикаторные геохимические ассоциации для каждого из них.

Ключевые слова: Джусинское месторождение; колчеданные руды; Южный Урал; статистика; кластерный анализ.