

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 553.078.2

П.А. ИГНАТОВ¹, Н.Р. ЗАРИПОВ¹, В. КИМ², А.П. ГУНИН²

**ТИПЫ ОСВЕТЛЕННЫХ КРАСНОЦВЕТНЫХ КИМБЕРЛИТОВМЕЩАЮЩИХ
ПОРОД ВЕНДА—КЕМБРИЯ ЗИМНЕБЕРЕЖНОГО РАЙОНА
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

В Зимнебережном районе Архангельской алмазоносной субпровинции во вмещающих красноцветных терригенных породах венда—кембрия по формам выделения, геологическому положению, минеральному и элементному составу выделены типы осветления: диагенетическое, катагенетическое (оглеение) и эндогенное. Эндогенное прожилковое осветление отличается наличием сапонита и концентрациями калия, железа, цинка, рубидия, стронция и никеля относительно участков оглеения. Показан ореол эндогенного осветления вокруг трубки Архангельская, размер которого достигает диаметра кратера.

Ключевые слова: Архангельская алмазоносная субпровинция; кимберлит; вторичные изменения; оглеение; поисковые признаки; типы осветления; диагенетический, катагенетический, эпигенетический.

Поиски кимберлитов в Архангельской алмазоносной субпровинции осложнены рядом негативных моментов: перекрытие вмещающих кимберлиты пород венда—кембрия мощным чехлом каменноугольно-пермских и четвертичных отложений; скрытым типом разломов, контролирующим размещение кимберлитов; слабыми магнитными свойствами кимберлитов, что затрудняет использование геофизических методов поисков; небольшим эрозионным срезом кимберлитов; почти полным отсутствием пиропов во многих алмазоносных трубках, что осложняет применение шлихо-минералогических методов [1, 6]. В этой связи необходимо искать новые признаки кимберлитов. Для этого проводятся исследования по обнаружению во вмещающих породах вокруг кимберлитовых тел ореолов макро- и микротектоники и новообразований в породах венда—кембрия [3, 4, 8].

Авторами выявлено эндогенное прожилковое осветление в тонкообломочных красноцветных породах венда—кембрия, вмещающих кимберлиты, которое можно рассматривать в качестве нового поискового признака. Этому вопросу посвящена предлагаемая работа. Под осветлением авторы подразумевают пятна, полосы, линзы и прожилки белого, светло-серого, зеленовато-светло-серого и голубовато-светло-серого цветов, которые отчет-

ливо выделяются на фоне пород красно-коричневой окраски.

Фактической основой послужила специальная документация стенок карьеров трубок Архангельская и Карпинского-1 по примерно 300 точкам наблюдений, а также по керну около 800 поисковых, разведочных и инженерно-гидрогеологических скважин, расположенных на различном удалении от кимберлитовых тел. Для изучения рассматриваемой вторичной минерализации проанализировано около 100 проб.

Минеральный и элементный составы и структура осветлённых пород диагностировались в прозрачных шлифах, а также с применением рентгенофазового, рентгенофлуоресцентного и рентгеноспектрального анализов.

К породам красноцветной формации в Зимнебережном районе Архангельской области относятся отложения венд-кембрийского структурного этажа, представленные аргиллитами, алевролитами и песчаниками верхнего венда (венда—кембрия). Псаммитовые компоненты золотицкой подсвиты, занимающей верхнюю часть разреза, сложены кварцем с подчиненным количеством полевых шпатов, мусковита и биотита, акцессорного магнетита. Глинистая составляющая представлена каолинитом и калиевой гидрослюдай. В песчани-

ках в поровом цементе встречаются диагенетические кальцит и доломит. Осадочные породы имеют преимущественно красно-бурую окраску различных тонов. Она обусловлена дисперсными оксидами и гидрооксидами трехвалентного железа, обволакивающими или цементирующими песчаные и алевритовые зерна. Источником оксидов и гидрооксидов, видимо, являлись красноцветные образования докембрия, широко распространенные в областях древней денудации.

Морфологические типы и состав зон осветления

По форме выделений и взаимоотношению с вмещающими породами венда—кембрия выделяется три типа осветления: 1) послойное мелкопятнистое и мелко-линзовидное; 2) относительно крупное субпластовое; 3) мелкое секущее прожилковое. Первый и второй типы осветления широко распространены, третий встречается редко.

Мелкопятнистое осветление отмечается в виде мелких (несколько сантиметров) гнёзд и пятен неправильной формы. Данный тип наиболее характерен для диагенетического осветления, признаком которого является хаотическое распределение мелких голубовато-светло-серых пятен по породе (рис. 1, а). В данном случае локальные восстановительные условия формировались, по-видимому, в илах мелководного морского бассейна [2]. Мелкопятнистое осветление может развиваться по обра-

зованиям, напоминающим цианобионты (определение профессора Г.Н. Садовникова) (рис. 1, б).

Особое пятнистое осветление приурочено к прикровельной части толщи венда—кембрия (30—50 см), несогласно перекрытого каменноугольными отложениями. Здесь в кровле отмечены послойные и соединяющиеся с ним ветвящиеся червеобразные и септарияльные пятна осветления (рис. 1, в, г). Кайма желтоватого цвета по контуру осветления (рис. 1, г) сложена гидроксидами железа, которые образовались, вероятно, до осветления в условиях кислородного обмена. Осветление пород, возможно, возникло при захоронении осадка в бескислородной обстановке.

По форме выделений и положению в разрезе образования, показанные на рис. 1 в, г напоминают палеопочвы, описанные в красноцветных толщах Предуралья [9]. Их образование можно связать с процессами выветривания, сопровождавшими региональный перерыв в осадконакоплении (силур—ранний карбон).

Часто отмечается пятнистое и мелколинзовидное эпигенетическое осветление, связанное с проницаемыми песчаными образованиями. Помимо седиментогенного происхождения песчаных линз и слойков, некоторые пятна могут иметь биотурбационное происхождение. В характерных случаях видно, как осветление из такого типа песчаного пятна расщепляется по более проницаемым слойкам и не затрагивает глинистый материал (рис. 2, а).

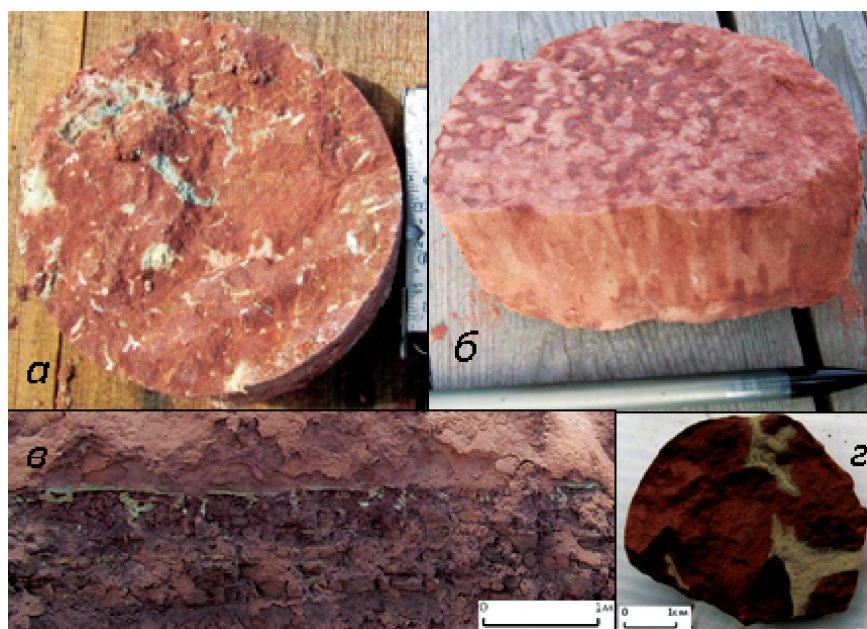


Рис. 1. Диагенетическое (а, б) и эпигенетическое осветление (в): а — диагенетическое пятнистое осветление алевритов венда, фото керна скв. 774е-1, глубина 77 м; б — диагенетическое осветление в алевритопесчанике по остаткам цианобионтов, фото керна скв. 774б-3, глубина 115 м; в — пятна эпигенетического осветления, связанные с древней корой выветривания в прикровельном горизонте золотицкой подсвиты падунской свиты венда, юго-западный борт карьера тр. Архангельской; г — фото септарияльных эпигенетических осветленных пятен в алевритопесчаниках венда, залегающих под урзугской свитой (скв. 5055-2, глубина 71,5 м)

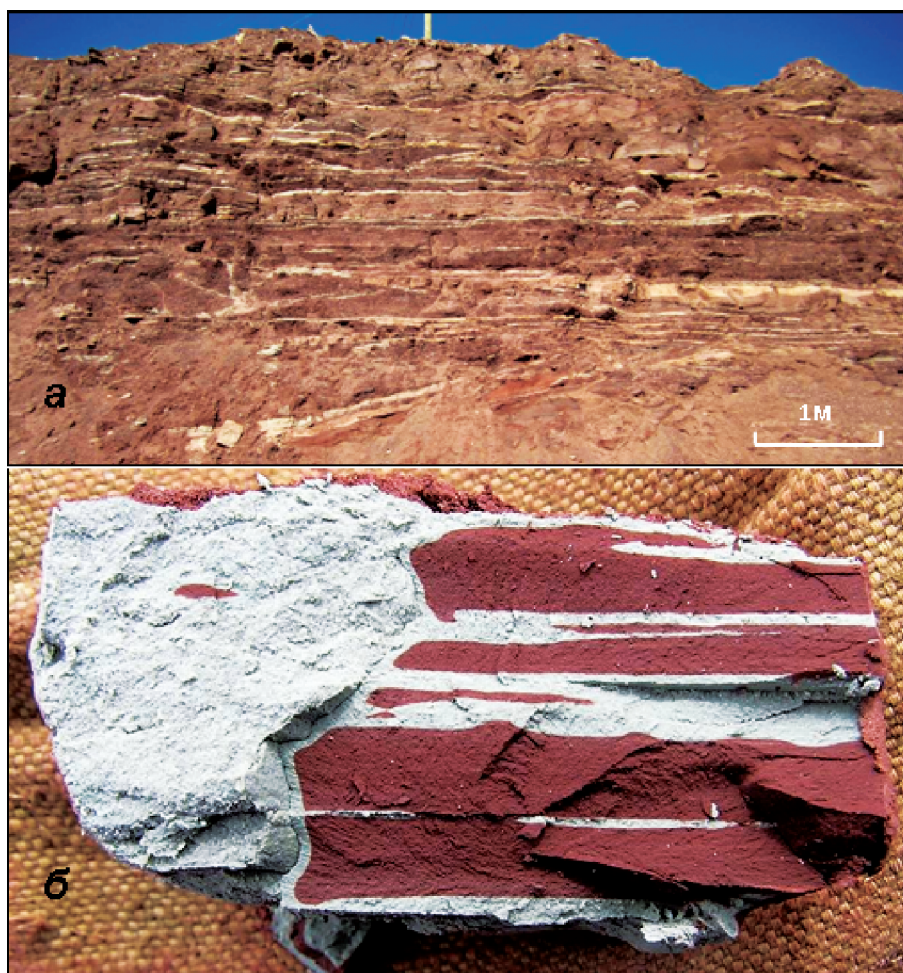


Рис. 2. Катагенетическое осветление (оглеение): *а* — осветление, распространенное по песчаному материалу, выполняющему крупное пятно (текстуру биотурбации) и мелкие линзовидные слои в красноватом аргиллите венда. Фото керна скв. ВК-42-1, глубина 91,5 м, диаметр керна 110 мм; *б* — субпластовое осветление в красноватых породах венда. Южная стенка карьера тр. Архангельская

Второй тип осветления проявлен главным образом в виде протяжённых от нескольких дециметров до нескольких десятков метров субпластовых линз, мощностью от нескольких долей сантиметра до нескольких метров (рис. 2, *б*). Они широко распространены на изучаемой территории. Это осветление преимущественно развито по периметру линз и слоёв песчаников на контакте с глинистыми алевролитами или аргиллитами. Данный тип осветления имеет много общего с описанными в красноватых терригенных формациях явлениями катагенетического оглеения [2]. К ним относятся форма осветлённых образований, субсогласное с напластованием залегание, локализация в дифференцированных разрезах, в которых чередуются песчаники и глинистые породы.

Предполагается, что при увеличении пластового давления из глинистых пластов, как относительно более пластичных, в обладающие жестким каркасом песчаные слои выжимались растворённые органические вещества, служившие пищей для анаэробных микроорганизмов, и создавалась вос-

становительная по железу обстановка [2, 11]. Если толща сложена однородной песчаной породой мощностью от нескольких десятков метров, то оглеение не происходит, поскольку кислородный обмен в водоносных горизонтах препятствует развитию осветляющих породу бактерий [2].

Результаты рентгенофазовых анализов красноватых отложений и пород из участков оглеения показали лишь отсутствие гематита в осветленных породах (табл. 1).

По данным рентгеноспектрального анализа в осветленных породах содержания Fe_2O_3 , MnO , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , CaO , TiO_2 , Sr и Ba ниже, а содержания SiO_2 выше по сравнению с красноватыми породами (табл. 2).

Вынос железа и марганца в процессе оглеения связан с увеличением их миграционных свойств в восстановительных условиях. Алюминий и калий, вероятно, мигрируют в виде металлоорганических комплексов. Натрий хорошо растворяется в подземных водах. Кальций и его аналог в геохимических процессах стронций становились подвижными

Таблица 1

Состав красноцветных пород венда и участков послонного катагенетического осветления (оглеения)
по данным рентгенофазового анализа

Номер пробы	Полевое определение	Состав
155-19-52	Осветленный аргиллит	Кварц, слюда, каолинит
155-19-52	Красный аргиллит	Кварц, слюда, каолинит, гематит, полевой шпат
155-19-68,6	Осветленный аргиллит	Кварц, каолинит, слюда, полевой шпат
155-19-68,6	Красный аргиллит	Кварц, каолинит, слюда, гематит
155-20-71,5	Осветленный аргиллит	Кварц, каолинит, слюда, полевой шпат
155-20-71,5	Красный аргиллит	Кварц, каолинит, слюда, гематит, полевой шпат
АЛ81-3-96	Вторично зеленый аргиллит	Кварц, каолинит, слюда, полевой шпат
АЛ81-3-96	Красный аргиллит	Кварц, каолинит, слюда, гематит, полевой шпат

Примечание. Анализы выполнены на приборе ДРОН-2 в лаборатории МГРИ-РГГРУ (аналитик М. Ю. Гурвич).

Таблица 2

Результаты рентгеноспектрального анализа (вес. %)

Номер пробы	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃ вал.	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	Sr	Ba
155-19-52	78,6	11,1	1,43	0,055	0,52	0,14	0,48	0,0045	0,53	0,006	0,02
155-19-52	67	15,8	2,43	0,11	4,82	0,37	0,66	0,013	0,83	0,013	0,029
155-19-68,6	70	16,3	1,96	0,066	0,68	0,17	0,53	0,005	0,74	0,011	0,024
155-19-68,6	64,4	18,3	2,41	0,08	5,25	0,22	0,53	0,015	0,94	0,014	0,028
155-20-71,5	72,3	14,9	1,77	0,067	0,57	0,14	0,5	0,004	0,7	0,01	0,024
155-20-71,5	61,4	19,3	2,56	0,17	7,03	0,32	0,73	0,019	0,93	0,016	0,032
АЛ81-3-96	65,4	17,6	3,4	0,073	2,66	0,14	1,1	0,012	0,7	0,009	0,029
АЛ81-3-96	58,5	19,4	3,66	0,085	8,7	0,16	1,12	0,036	0,78	0,011	0,03

Примечание. Анализы выполнены в аналитическом центре ВИМС (аналитик Е.П. Шевченко).

в результате растворения карбонатов микробальной углекислотой. Титан мог мигрировать в коллоидной форме. Накопление кремнезема, вероятно, связано с синтезом новообразованных алюмосиликатов (например, каолинита) в осветленной зоне [2].

Достаточно масштабный вынос железа при субпластовом осветлении находит подтверждение в его последующем осаждении на окислительном барьере в виде часто встречающихся в красноцветных песчанках скоплений гидроксидов железа в текстурах колец Лизеганга.

Таким образом, осветление пород обусловлено в большинстве случаев микробальным процес-

сом, но также предположено его абиогенное происхождение. При абиогенном процессе восстановление оксидов железа обусловлено восстановительными газами (например, водородом, метаном). Оглеение при сероводородном восстановлении не образуется, поскольку металлы (например, железо), не мигрируют, а начинают осаждаться в виде сульфидов. Ярким подтверждением этого являются находки прожилково-вкрапленных выделений пирита, развитых как по осветленным, так и по красноцветным песчанкам (рис. 3, а, б).

Прожилковое осветление в красноцветных терригенных породах венда авторами зафиксировано и



Рис. 3. Прожилково-метазернистые выделения пирита в обеленном (а) и красноцветном (б) алевролите. Фото керн из скв. 774в-1, глубина 92,5 м

местами закартировано в околотрубочном пространстве кимберлитовых тел Золотицкого поля (трубки Архангельская, Белая, Карпинского-1, Пионерская и Снегурочка). В типичных случаях оно представлено светло-зелёными или белыми (обеление) полосами и прожилками в красноцветных породах, распространяющимися вдоль плоскостей секущих трещин мощностью от долей до 20 см (рис. 4) и по сопряженным с ними послонным зонам.

Прожилки и крупные пятна осветления характерны для красноцветных пород кратерной фации кимберлитов (ксенотуфобрекчий, туфов и туффитов) [4]. В этой связи предполагается, что прожилковое осветление во вмещающих породах может иметь эндогенное происхождение. Данный вывод придаёт этому типу осветления поисковое значение.

Зачастую, особенно в керне, диагенетическое и катагенетическое осветления макроскопически весьма похожи на прожилковое. Одним из наиболее достоверных отличительных признаков эндогенного осветления может служить новообразованный минерал группы смектитов сапонит. Он по рентгенофазовым анализам в подобного рода прожилках установлен во вмещающих породах рядом с кимберлитами Зимнебережного района. Известно, что сапонит является индикатором околотрубочного пространства в Архангельской субпровинции [8]. В пробах из указанного на рис. 4 прожилка и двух похожих на него, отобранных авторами из северных стенок карьера тр. Архангельская, минералогами НИГП АК АЛРОСА было диагностировано 6 — 9% глинистых минералов из группы монтмориллонита, которая включает сапонит.

Выделенные типы осветления отличаются между собой и от неизменённых красноцветных пород по результатам рентгенофлуоресцентного анализа (табл. 3). Наиболее контрастно оба типа осветления от красноцветных пород отличаются уменьшенным содержанием железа, в меньшей мере



Рис. 4. Прожилковое, предположительно эндогенное осветление

марганца, калия и стронция. В целом прожилковое осветление заметно ближе по геохимическим параметрам к неизменённым породам. В отличие от него участки оглеения по сравнению с красноцветными породами существенно обеднены хромом, никелем, иттрием, цинком и титаном. Прожилковое осветление от оглеения заметно отличается концентрациями калия, железа, цинка, рубидия, стронция и никеля, что можно объяснить привнесением компонентов в связи с импульсными эндогенными процессами. Повышенные концентрации кальция в местах оглеения следует связать с действием древних седиментогенных вод в зонах катагенеза. Отмеченное значительное уменьшение содержания ряда элементов в зоне оглеения по сравнению с прожилковым осветлением и первично красноцветными породами можно связать с относительно продолжительной деятельностью восстановительных подземных вод.

Таблица 3

Средние содержания (C_{cp}) некоторых элементов зон осветления и красноцветных пород по результатам рентгенофлуоресцентного анализа

Среднее содержание	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cr	Ni
В красноцветных породах (12 проб)	2,59	0,57	0,52	0,05	2,71	0,0054	0,0094	0,0094	0,0035	0,0265	0,0015	0,0039	0,0054
Участков оглеения (7 проб)	1,23	1,08	0,34	0,02	0,38	0,0029	0,0032	0,0027	0,0025	0,0385	0,0010	0,0019	0,0014
Зон прожилкового, предположительно эндогенного осветления (9 проб)	2,10	0,20	0,37	0,01	0,85	0,0070	0,0099	0,0074	0,0034	0,0251	0,0016	0,0025	0,0042

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

Таблица 4

Сводная характеристика различных зон осветления и красноцветных пород

Характеристика	Красноцветные породы	Зоны катагенетического субпослойного осветления	Зоны эндогенного секущего осветления
Минералогические особенности	Гематит	Каолинит	Сапонит и другие минералы группы смектита
Распространенность		Зафиксировано в большинстве задокументированных скважин	Околотрубное пространство
Геохимические особенности	Фоновые содержания K, Fe, Mn, Sr	Уменьшение содержаний относительно пород K, Fe, Zn, Rb, Sr, Y, Cr, Ni	Увеличение содержаний относительно оглеения K, Fe, Rb, Zn, Sr, Ni
Положение в разрезе		Развивается преимущественно в песчаниках на контакте с алевролитами, аргиллитами	Развивается вдоль трещин, мощность до 20 см, характерны раздувы зон секущего осветления
Предполагаемая природа явления	Оксиды и гидроксиды железа, вероятно, из области красноцветной коры выветривания	Восстановление оксидов и гидроксидов металлов в связи с деятельностью анаэробных бактерий	Воздействие эндогенных флюидов (например, водорода, метана)

Данные по различным параметрам в зонах катагенетического и эндогенного прожилкового осветления по сравнению с красноцветными породами приведены в табл. 4.

Детальное картирование прожилкового осветления

Помимо морфологии, минерального и элементного составов участков прожилкового осветления, геологическим доказательством его эндогенного происхождения являются результаты картирования околотрубного пространства тр. Архангельская в масштабах 1:500 — 1:5000. Установлено, что ореол распространения секущего осветления достигает диаметра трубы (рис. 5).

Важно отметить, что прожилки осветления откартированы по всему периметру околотрубного пространства. Они отмечены как непосредственно на тектонических контактах кратерной части трубы, так и на удалении от них на расстоянии до 300 м. Намечается неравномерность распределения прожилков по площади, которую следует связать с рудовмещающей зоной разлома северо-восточного простирания.

Откартированный ореол является примером диагностического признака околотрубного пространства. В карьере наблюдались отдельные зоны сближенных крутопадающих прожилков, протяженностью более чем 100 м, с мощностью до 10 м. Вместе с тем расстояние между отдельными прожилками достигало от десятков до 100 м. В этой связи при поисковой сети бурения вертикальных скважин 50—100 м и более вероятность вскрытия эндогенного осветления невысокая.

Выводы

1. В Зимнебережном районе в красноцветных породах венда—кембрия установлены морфологические, минералогические и геохимические признаки зон осветления разного происхождения:

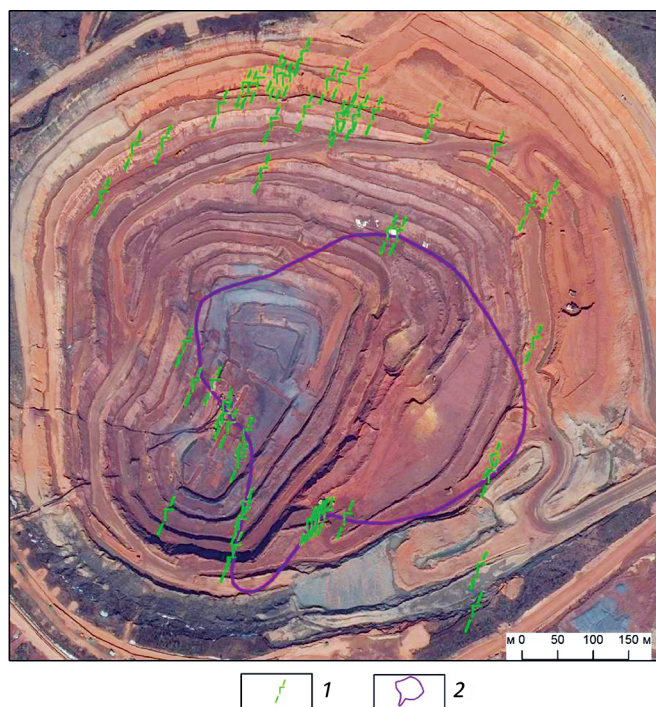


Рис. 5. Ореол прожилкового осветления вокруг кимберлитов тр. Архангельская на космическом снимке карьера 2013 г. [https://www.google.ru/maps]: 1 — проявления прожилкового осветления, откартированные авторами; 2 — контур трубы Архангельская под чехлом перекрывающих отложений

диагенетического, катагенетического (оглеения) и эндогенного.

2. Показаны результаты детального картирования эндогенного прожилкового осветления в околотрубном пространстве трубы Архангельская, ореол которого достигает 300 м от края кратерных фаций.

3. Прожилковое осветление следует считать локальным поисковым признаком кимберлитовых тел в Зимнебережном районе. Для его диагностики необходим комплексный анализ морфологии, минерального и элементного составов новообразований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андросов Е.А., Вержак В.В., Ларченко В.А., Минченко Г.В. О структурном контроле размещения кимберлитовых тел на примере Архангельской кимберлитовой провинции // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (алмазы-50). СПб. ВСЕГЕИ, 2004. С. 9–18.
2. Борисенко Е.Н. Геохимия глеевого катагенеза в породах красноцветной формации. М.: Наука, 1980. 164 с.
3. Игнатов П.А., Болонин А.В., Калмыков Б.А., Андросов Е.А., Гунин А.П. Палеотектонические структуры Зимнебережного алмазоносного района Архангельской области // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2008. № 3. С. 13–20.
4. Игнатов П.А., Болонин А.В., Васильев И.Д., Фомин А.А., Ким В. Контакты кимберлитовой трубки Архангельская и деформации вмещающих и перекрывающих пород // Известия вузов. Геология и разведка. 2009. № 5. С. 28–34.
5. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск. ОАО «Правда Севера», 2004. 283 с.
6. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М.: Изв. высшей школы, 1961. 496 с.
7. Портнов А.М. Кимберлиты — мантийные флюидизиты // Природа, 2012. №12. С. 42–48.
8. Соболев В.К., Макеев А.Б., Кисель С.А. и др. Новые индикаторные признаки пород, вмещающих кимберлиты. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 60 с.
9. Чалышев В.И. Методика изучения ископаемых почв. М.: Наука, 1978. 78 с.
10. Экологическая энциклопедия: в 6 т. / Редкол.: Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. и др. Т. 1. А — Г. М.: ООО «Издательство «Энциклопедия», 2008. 416 с.
11. Япаскурт О.В. Предметаморфические изменения осадочных пород в стратиферии: Процессы и факторы. М.: ГЕОС, 1999. 260 с.

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

²ОАО «Севералмаз»
(163000, г. Архангельск, ул. Карла Маркса, 15;
e-mail: apgunin@severalmaz.ru)