

S u m m a r y

The data obtained by the parametric fathometer "Arasound" in 1997 during the run of the research ship "Academician Sergey Vavilov" in the eastern part of the White Sea were processed. Six accumulative and two erosion tidal landform types are characterized. Sand ridges, sand waves of two types, sand ripple and glib sands may be mentioned among accumulative forms. The conditions of such landform existence and their distribution within the area are discussed.

УДК 551.4.037:550.8.012(-925.12)

© 1999 г. **И.С. НОВИКОВ, А.И. ДАК**

**СКЛОНОВЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ
КИМБЕРЛИТОВ В ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
СЕВЕРА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Введение

Изучение закономерностей формирования ореолов рассеяния минералов кимберлитовых тел в пределах Сибирской платформы началось в 50-х годах, еще на стадии поиска первых кимберлитопоявлений. С тех пор выполнено большое количество тематических исследований, опубликовано значительное число статей и монографий, затрагивающих этот вопрос. Можно признать, что на качественном уровне проблема решена. Однако до построения полноценной теории формирования шлихо-минералогических ореолов рассеяния минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) еще далеко. Во-первых, исследователи рассматривают преимущественно вопросы эволюции минеральной ассоциации, уже попавшей в аллювиальные отложения. Особенно подробно рассмотрен вопрос сохранности минералов в зависимости от их удаления от коренного источника [1–11]. Однако перед тем как попасть в русловые отложения, продукты разрушения кимберлитов должны сначала переместиться комплексом процессов по склону, если только кимберлитовое тело не выходит на поверхность непосредственно в русле реки. Формирующийся при этом первичный склоновый ореол рассеяния является основным источником, из которого характерные минералы кимберлитов попадают в речную сеть. Во-вторых, эволюция первичной ассоциации кимберлитовых минералов рассматривается, как правило, вне связи с конкретными геолого-геоморфологическими особенностями территории. Закономерности формирования первичных склоновых ореолов не только не нашли должного отражения в публикациях, но и вообще разработаны недостаточно. Очевидно, что в таких ореолах ведущую роль играют склоновые процессы, контролируемые в основном геолого-геоморфологическими обстановками. В геологическом отношении на севере Сибирской платформы можно выделить следующие крупные области (рис. 1): Анабарский щит, в пределах которого на поверхность выходят глубоко метаморфизованные породы архея и протерозоя; область распространения венд-кембрийских карбонатных пород из основания разреза Анабарской антеклизы и область выхода на поверхность песчаных пермских пород, пронизанных долеритовыми интрузиями, относящихся к верхам разреза антеклизы. Таким образом, для начала достаточно охарактеризовать ореолы для трех основных геологических обстановок. В основу данной публикации легли результаты, полученные А.И. Даком (АК "Алмазы России-Саха") в ходе тематических работ 1989–1991 гг. по картированию минералогических ореолов рассеяния ряда кимберлитовых тел и материалы геоморфологических исследований И.С. Новикова (ИГ СО РАН), проводившихся в 1993–1994 гг. Было изучено пять участков (рис. 2), из которых "Хардах", "Архей" и "Харахта" расположены в области

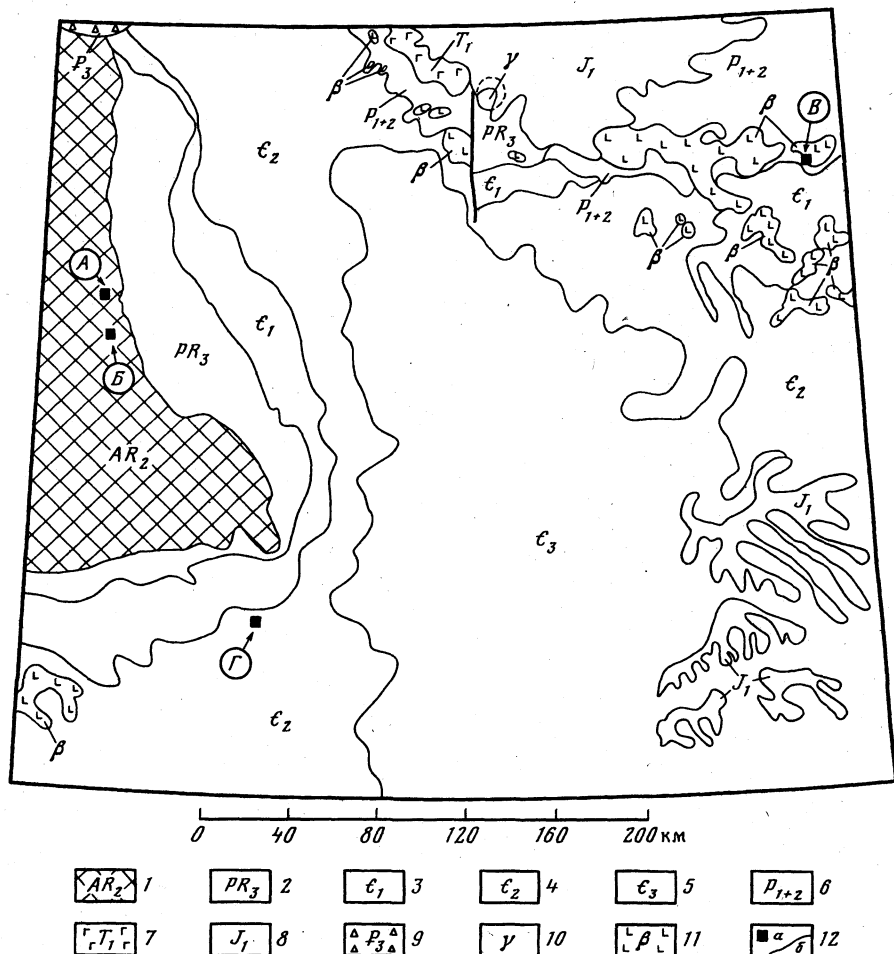


Рис. 1. Положение изученных участков "Харахта" (А), "Хардах" и "Архей" (Б), "Нюрба" (В) и "Куранах" (Г) в геологической структуре севера Сибирской платформы

Фундамент платформы: 1 – позднеархейские кристаллические сланцы и гнейсы; чехол платформы: 2 – позднепротерозойские сланцы, песчаники, конгломераты; известняки, мергели, доломиты: 3 – раннекембрийские, 4 – среднекембрийские, 5 – позднекембрийские; 6 – пермские песчаники, алевролиты, мергели; 7 – раннетриасовые базальты и их туфы; 8 – раннеюрские песчаники, алевролиты, глины; нестратифицированные образования: 9 – позднепалеогеновые импактиты Попигаевского кратера, 10 – гранитные интрузии, 11 – долеритовые тела; прочие обозначения: 12 – а – изученные участки, б – геологические границы

выхода на поверхность метаморфических пород Анабарского щита. "Куранах" характеризует обстановки в области развития карбонатных пород основания антеклизы, а участок "Нюрба" расположен в области распространения песчаных пород периферии антеклизы.

Геолого-геоморфологические обстановки формирования склоновых ореолов рассеяния. В настоящее время в пределах кристаллических пород Анабарского щита известно несколько кимберлитовых трубок, ни одна из которых не была обнаружена шликовым методом. Часть трубок была предсказана шликовой съемкой и открыта при проведении горных выработок на участках магнитных аномалий (Харахта), другие обнаружены только благодаря геофизике (Архейская, Орион, Полярная), и третьи найдены по результатам дешифрирования аэрофотоматериалов (Хардах и др.).

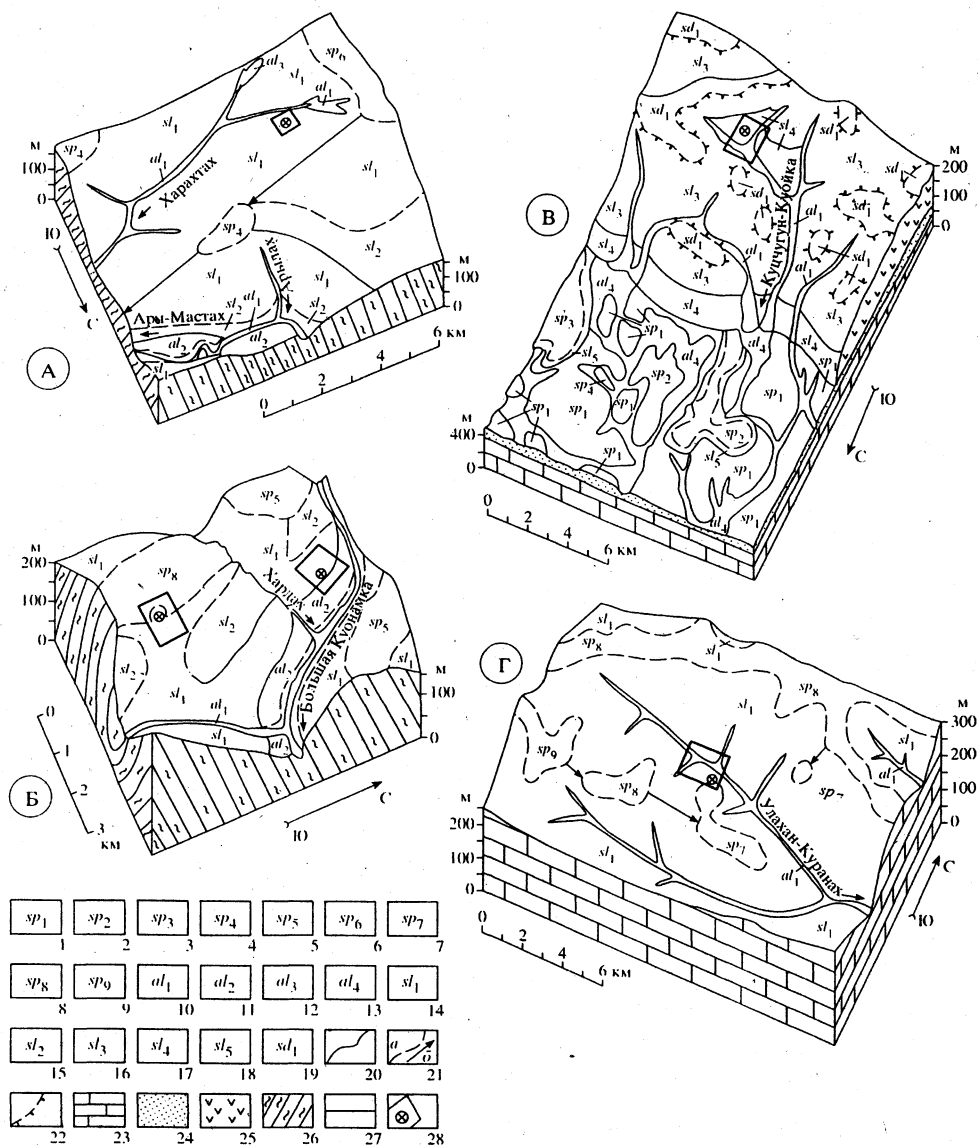


Рис. 2. Геолого-геоморфологическое строение изученных участков: **Геоморфологические элементы:** поверхности: субгоризонтальные денудационные поверхности с высотными отметками: 1 – 106–115 м, 2 – 121–124 м, 3 – 133–138 м, 4 – 150–158 м, 5 – 200–205 м, 6 – 255–260 м, 7 – 283–287 м, 8 – 316–325 м, 9 – 341–350 м; субгоризонтальные элементы аллювиального рельефа: 10 – русло, пойма и первая терраса инстративных водотоков, 11 – вторая терраса, 12 – заболоченные верховья мелких водотоков, 13 – русло, пойма и первая терраса перстративных водотоков; склоны: 14 – слабонаклонные солифлюкционные, 15 – средней крутизны десерпционные, 16 – средней крутизны осыпные и десерпционные, 17 – слабонаклонные поверхности десерпционных шлейфов, 18 – слабонаклонные солифлюкционно-десерпционные; 19 – отпрепарированные кровли межпластовых интрузий; **геоморфологические границы:** 20 – линии подошвы, 21 – скругленные бровки (а) и гребни (б), 22 – обрывистые бровки. **Элементы геологии:** 23 – позднепротерозойские и раннекембрийские известняки и доломиты, 24 – пермские песчаники, алевролиты, 25 – интрузии долеритов, 26 – позднеархейские кристаллические сланцы и гнейсы, 27 – геологические границы. **Прочие обозначения:** 28 – участки с изученными склоновыми ореолами кимберлитовых тел. Названия участков см. рис. 1

Работы на участке "Харахтах" (рис. 2 А) имели целью изучить первичный ореол рассеяния МИК трубки Харахтах, расположенный в верховьях одноименного ручья, правого притока Ары-Мастах, впадающего в нее в 30 км выше устья. Трубка открыта в 1965 г. при проходке шурфов в пределах геофизической аномалии, кимберлитовая природа которой была предсказана заранее, по результатам детальных шлиховых поисков, когда в аллювии в верховьях ручья были установлены высокие содержания пикроильменита со следами лейкоксеновой оболочки (т.е. не подвергшегося дальнему переносу).

В геологическом строении участка принимают участие породы хапчанской серии архейского метаморфического комплекса, представленные биотит-гранатовыми гнейсами. В пределах участка развиты две субгоризонтальные заболоченные выровненные поверхности 255–260 м и 150–158 м. Развитие термокарста на поверхности с отметками 150–158 м свидетельствует о значительной мощности рыхлых отложений, что позволяет рассматривать данную поверхность как потенциальный промежуточный коллектор. На данном участке преобладают склоны двух типов: солифлюкционные с углом наклона 1–3°, покрытые сплошным маломощным чехлом рыхлых отложений, и десерционные с углом наклона 4–5°, в их пределах сквозь прерывистый чехол рыхлых отложений просвечивает слоистая структура коренных пород. В долине Ары-Мастах выделяется два уровня аккумуляции: нерасчлененные пойма и первая надпойменная терраса с отметками 83–85 м и вторая надпойменная терраса с отметками 93–95 м. Крутизна примыкающих к долине склонов до 10°, чехол отложений местами полностью отсутствует.

Очевидно, что интенсивность склоновых процессов в пределах участка незначительна, поскольку заметные концентрации кимберлитовых минералов отмечаются только в склоновых отложениях непосредственно над кимберлитовой трубкой и в пределах узкой полосы, протягивающейся вниз по склону (рис. 3 А). Миграция материала осуществляется преимущественно при сползании чехла отложений по склону.

Представляют интерес странным образом локализованные высокие концентрации пикроильменита в аллювии ручья Арылаах, расположенного *по другую сторону водораздела* (!). Впервые этот факт был установлен еще при шлиховом опробовании долины реки Ары-Мастах в шестидесятых годах, когда находки пикроильменита были сделаны не только в аллювии ручья, но и в ряде шлихов из склоновых отложений борта долины. Анализ геоморфологической ситуации позволяет связать их с разрывом аккумулятивного чехла поверхности с отметками 150–158 м, который играет роль промежуточного коллектора для материала более раннего этапа денудации трубки Харахтах (до того времени как ручей Харахтах приблизился своими верховьями к трубке, и когда она, по мере врезания ручья и формирования его долины, оказалась отделенной от долины реки Ары-Мастах водоразделом).

Опираясь на данные по ореолу трубки Харахтах, можно ожидать, что разрушение первичной магматогенной поверхности на зернах пикроильменита в характерной для района аллювиальной среде происходит на незначительном удалении от первоисточника и первым по значению прогнозным признаком в этих условиях служит сама аномально высокая его концентрация. Во-вторых, абразивно устойчивые минералы, поступающие в склоновые отложения при разрушении кимберлитового тела (оливин, пироп) сразу теряются среди сходных по свойствам минералов (альмандина, ильменита и магнетита), образующихся при разрушении вмещающих метаморфических пород и перестают улавливаться стандартными процедурами шлихового опробования даже вблизи коренного источника, поэтому на площади распространения архейских метаморфических образований выявление ореолов рассеяния минералов кимберлитового генезиса в русловых отложениях практически невозможно.

На территории, примыкающей к рубке Хардах, выделено два ореола МИК – участки "Хардах" и "Архей" (рис. 2Б, 3Б). В геоморфологическом строении этой территории выделяются две субгоризонтальные денудационные поверхности (316–325 м и 200–205 м). Их распространение в районе развития субвертикально падающих слоистых метаморфических толщ исключает избирательно-денудационный механизм формирования. На поверхностях развиты маломощные (примерно 0,5 м) элювиальные щебнисто-глыбовые суглинки, из которых выступают глыбовые развалы на местах выхода устойчивых пачек метаморфической толщи. Субгоризонтальные поверхности часто ограничены небольшими скальными обрывами. В настоящее время углы наклона этих поверхностей от 0 до 2°, и вынос материала с них практически исключен. Обрамляющие склоны делятся на две категории. Участки с истонченным чехлом склоновых отложений (0–0,5 м), сквозь который просвечивают метаморфические складчатые структуры, имеют углы наклона 3–10°, а

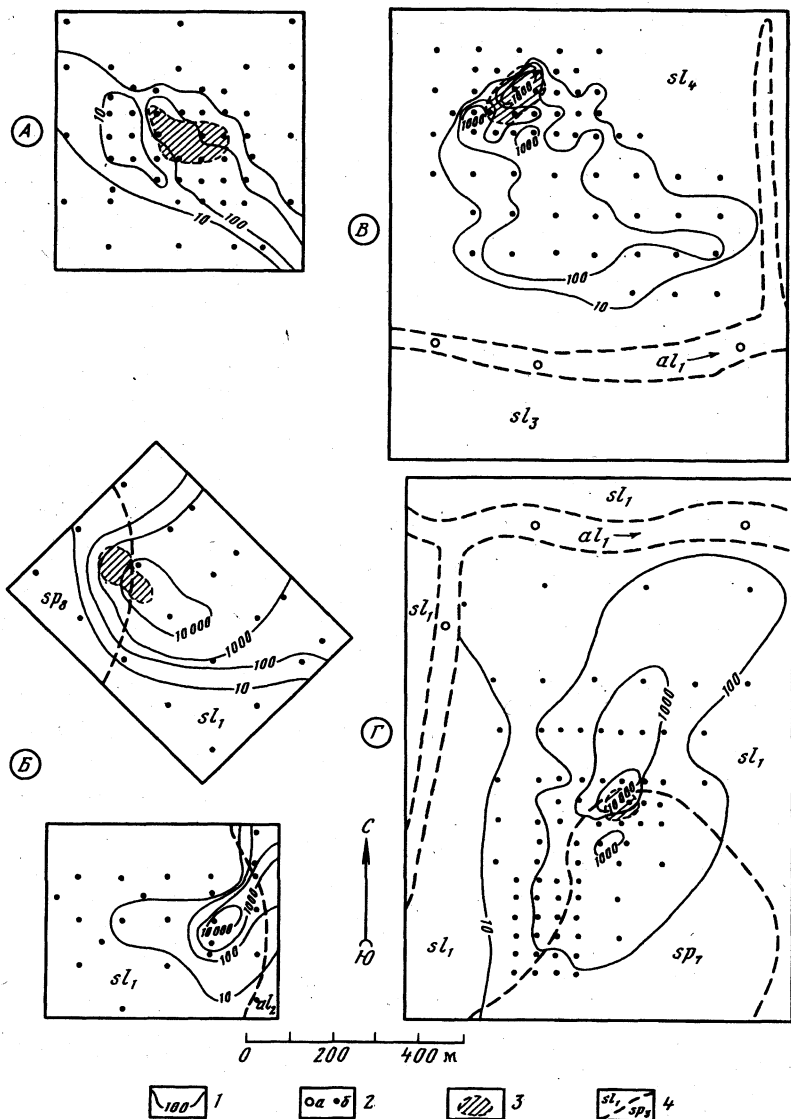


Рис. 3. Содержание минералов тяжелой фракции шлиха в склоновых ореолах
 1 – изолинии областей с суммарным весовым содержанием пиропа и пикроильменита в мг на 10 л, 2 – точки отбора проб: а – в аллювии, б – в склоновых отложениях, 3 – контуры кимберлитовых тел, 4 – геоморфологические элементы (см. рис. 2). Названия участков см. рис. 1

участки, покрытые более мощным плащом делювия, имеют углы наклона до 3° . На склонах первого типа происходит транзитное перемещение материала, и в естественных ловушках возможно накопление тяжелой фракции. На склонах второго типа происходит накопление склоновых отложений и разубоживание тяжелой фракции. В долинах Большой Куонамки и ее правых притоков развиты пойма и первая надпойменная, а местами и вторая надпойменная террасы; отложения последней частично перекрыты делювиальным шлейфом. Анализ аэрофотоматериалов позволяет уверенно выделить неглубокую круглую воронку диаметром около 200 м, образованную при разрушении пород кимберлитовой трубки Хардах, разрывающую бровку субгоризонтальной поверхности. Важно отметить наличие в пределах расположенного ниже склона ряда диагональных ложбин, образованных в ходе избирательной денудации пород основания, которые позволяют материалу

перемещаться вкост падения склона и попадать в русловый аллювий реки Хардах на протяжении примерно 1750 м от устья. Однако это не единственный источник кимберлитового материала в аллювии данного ручья. В одной из десяти отобранных проб по левому борту ручья Хардах было найдено 18 знаков пикроильменита прекрасной сохранности. Изучение результатов работ предшественников показало, что еще в 1963 г. при отборе бортовых шлихов в долине Большой Куонамки в одной пробе близ устья ручья Хардах был установлен свежий пикроильменит. Это послужило нам основанием для постановки детального шлихового опробования на участке "Хардах". Всего было отобрано около 50 шлихов из склоновых отложений. Обнаруженные в них кимберлитовые минералы характеризуются идеальной сохранностью. Для сравнения был изучен ореол на трубке Хардах (участок "Архей"). Набор кимберлитовых минералов и их физиографические характеристики в обоих ореолах идентичны. Это позволяет предположить существование неизвестного кимберлитового тела на левобережье ручья Хардах в его приустьевой части. Тело перекрыто шлейфом склоновых отложений, затрудняющим его обнаружение поверхностным шлихованием. Судить о размерах тела сложно, так как проведенное опробование не дало отчетливой картины строения ореола.

В качестве объекта для изучения поведения кимберлитовых минералов в поле развития пермских отложений был выбран ореол кимберлитовой трубки Нюрба, расположенной в верховьях реки Куччугуй-Куойка, левого притока реки Куойка, впадающего в нее примерно в 30 км от устья (рис. 2В, 3В). В геологическом строении территории принимают участие известняки еркекетской свиты нижнего кембрия, слагающие днище долины реки Куччугуй-Куойка в ее нижнем течении. На известняках несогласно залегают пепельно-серые полевошпат-кварцевые пески пермской системы, перекрытые большей частью породами трапповой формации нижнетриасового возраста. Трапповые покровы на вершинах возвышенностей района относятся к единой межпластовой интрузии долеритов, расчлененной долинами водотоков. Породами кровли, вероятно, являлись также пермские пески и песчаники с прослоями гравелитов и мелкогалечных конгломератов. Один из таких останцов кровли пермских песчаников окружает выход на поверхность кимберлитовой трубки Нюрба. Долеритовое тело в южной половине участка имеет слоистое строение, слои отпрепарированы денудацией. Видимая мощность долеритовой толщи 193 м. Структурный рельеф имеет ступенчатое строение с абсолютными отметками ступеней 207–213, 234, 250, 275–280, 306 м. От нижележащей равнины, сложенной пермскими песками и занимающей северную половину участка, долеритовые возвышенности отделены уступом крутизной 8–10°, покрытым крупными глыбами. Подножье уступа занято щебнисто-глыбовым шлейфом с углами наклона около 5°. Поверхности отпрепарированных долеритовых слоев субгоризонтальны, а крутизна разделяющих их склонов 5–8°. В центральной части южной половины участка имеется межпочпочное понижение с отметками днища 230 м, занятое аллювиально-делювиальными отложениями. Сложенная пермскими песками равнина, над которой выступают бронированные долеритовым покровом возвышенности, имеет трехъярусное строение. Абсолютные отметки ярусов 106–115, 120–124 и 133–138 м. Разделены они отчетливо выраженными уступами и имеют слабый наклон к западу. Аллювиальные образования приурочены к нижнему ярусу и образуют в его пределах сетчатую структуру; они сильно заболочены, сток часто выражен слабо.

Трубка Нюрба была открыта классическим способом: сначала путем прослеживания ореола кимберлитовых минералов в аллювии, затем на склоне сетью шлихов. В точках максимальных концентраций кимберлитовых минералов были пройдены шурфы, которые вскрыли кимберлит. По форме трубка представляет собой эллипс 30 × 45 м. Мощность перекрывающих отложений 2,0–3,0 м, и представлены они льдистым суглинком с валунами (до 30–40%) долеритов. Элювиальные отложения на трубке почти не наблюдаются. Вмещающие породы – рыхлые песчаники пермского возраста.

Карбонатные породы нижнего палеозоя являются характерным обрамлением для подавляющего большинства кимберлитовых тел севера Якутии, и объектом для изучения ореола кимберлитовых минералов в этой геологической ситуации была выбрана трубка Куранахская (участок "Куранах" 2Г, 3Г).

Геоморфологическое строение территории, примыкающей к трубке Куранахская, достаточно однообразно. В горизонтально залегающих кембрийских известняках выработано три денудационных уровня 283–287, 316–325, 341–350 м. Наиболее широко распространен уровень 341–350 м, образующий водоразделы почти всех водотоков. Северные склоны имеют угол наклона примерно 5°, на них встречаются развалы глыб известняков (особенно вблизи бровок). Прочие склоны характеризуются более мощным

чехлом рыхлых отложений, их крутизна не превышает 3°. Аллювиальные поверхности развиты в виде узких полос в руслах современных водотоков (первая терраса и пойма). Абсолютные отметки распространения аллювиальных образований изменяются на рассмотренном отрезке реки Улахан-Куранах с 207 до 262 м. Трубка Куранахская попадает в зону сочленения поверхности 283–287 м и нижележащего склона, что находит свое отражение в строении ее ореола. Ореол трубки был оконтурен шлифовым опробованием делювиальных осадков склонов. Важно отметить существование более раннего ореола рассеяния кимберлитовых минералов трубки Куранахская в рыхлых отложениях поверхности высотой 283–287 м. Переотложение материала этого промежуточного коллектора привело к искажению ожидавшихся параметров ореола, в первую очередь к существенному расширению потока рассеяния, составившего на одной горизонтали с телом 400 м (при диаметре трубки около 70 м), что не наблюдалось ни на одном из ореолов, описанных ранее. В изолиниях концентраций (рис. 3Г) позиция трубки выделяется очень контрастно, так что смещение ореолов разных генераций не привело к усложнению поисковой картины, а лишь увеличило площадь ореола. Физиографические особенности кимберлитовых минералов не позволяют разделить материал этих ореолов. Примечательно, что фоновое содержание тяжелой фракции в делювиальных отложениях участка крайне низкое и ореол рассеяния кимберлитового тела очень контрастен.

Заключение

Изучение склоновых ореолов кимберлитовых тел севера Сибирской платформы показывает, что здесь существует три основных типа геолого-геоморфологических обстановок.

Во-первых, это область выхода на поверхность архейско-протерозойских метаморфических пород, слагающих фундамент платформы. Широкое развитие десерпционных склонов, малая мощность склоновых отложений позволяют обнаруживать тела кимберлитов путем дешифрирования аэрофотоматериалов, обеспечивают непрерывное поступление кимберлитовых минералов в склоновые отложения. Однако высокое содержание минералов тяжелой фракции в рельефообразующих породах не позволяет в полевых условиях выделять на общем фоне собственно кимберлитовые минералы, что резко снижает здесь эффективность шлихового метода.

Во-вторых, это область выхода на поверхность кембрийских известняков основания чехла платформы. Здесь преобладают солифлюкционные склоны и значительные мощности склоновых отложений, маскирующие тела кимберлитов. Тем не менее, мерзлотные процессы обеспечивают поступление кимберлитовых минералов в склоновые отложения и их транспортировку до постоянных водотоков, что наряду с низким фоновым содержанием минералов тяжелой фракции делает эту область наиболее удобной для применения шлиховых методов поисков кимберлитовых тел.

В-третьих, особый класс составляют области выходов на поверхность песчаных пермских пород, пронизанных интрузиями долеритов. Здесь солифлюкционно-десерпционные процессы пологих склонов в пермских отложениях и десерпционно-осыпные процессы крутых склонов в долеритах приводят к разубоживанию кимберлитовых минералов либо слишком мелкой, либо слишком крупной фракцией склоновых отложений, что затрудняет обнаружение кимберлитового тела при шлиховом опробовании, однако при квалифицированном отборе шлихов, несмотря на сравнительно низкое содержание минералов тяжелой фракции в склоновых отложениях, это вполне возможно.

Сложная геоморфологическая история территории в позднем мезозое-кайнозое обусловила наличие в ее пределах многочисленных разновозрастных субгоризонтальных денудационных поверхностей, прослеженных в высотном интервале от 105 до 350 м. Рыхлые отложения, перекрывающие эти поверхности, служат промежуточными коллекторами. Их размыв существенно осложняет картину современных склоновых ореолов и приводит к распространению повышенных концентраций МИК как в вышележащих частях склонов, так и даже на противоположных склонах локальных водоразделов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазные месторождения Якутии / Под ред. Бобривич А.П. и др. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 525 с.
2. Афанасьев В.П., Варламов В.А., Гаранин В.К. Зависимость износа кимберлитовых минералов от условий и дальности транспортировки // Геология и геофизика. 1984. № 10. С. 119–125.
3. Афанасьев В.П. О механическом износе кимберлитовых материалов в шлихах // Сов. геология, 1986. № 10. С. 3–12.
4. Афанасьев В.П. К методике минералогического картирования шлиховых ореолов кимберлитовых тел // Геология и геофизика. 1989. № 5. С. 36–42.
5. Афанасьев В.П. Закономерности эволюции кимберлитовых минералов и их ассоциаций при формировании шлиховых ореолов // Геология и геофизика. 1991. № 2. С. 78–84.
6. Боткунов А.И. Изменение спутников алмаза в процессе аллювиального переноса // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. С. 147–152.
7. Подвысоцкий В.Т., Белов Е.Н. Состав и условия формирования древних осадочных коллекторов и россыпей алмазов. Якутск: 1995. 164 с.
8. Прокопчук Б.И., Кострюков М.С., Королева Н.М. Сохранность пироба в зависимости от условий транспортировки рыхлых отложений // Изв. вузов. Геология и разведка. 1964. № 5. С. 58–63.
9. Рожков И.С., Михалев Г.И., Прокопчук Б.И., Шамилина Э.А. Алмазоносные россыпи Западной Якутии. М.: Наука, 1967. 280 с.
10. Салтыков О.Г., Скриплева Г.И. Эволюция зерен пикроильменита в потоковых отложениях Малоботуобинского района // Геология и геофизика. 1973. № 2. С. 112–117.
11. Харьков А.Д. Минералогические основы поисков алмазных месторождений. М.: Недра, 1978. 136 с.

ОИГТИМ СО РАН, Новосибирск

Поступила в редакцию

03.02.97

SLOPE DISPERSION AUREOLE OF KIMBERLITE MINERAL DETECTORS UNDER THE GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS AT THE NORTHERN PART OF SIBERIAN PLATFORM

I.S. NOVIKOV, A.I. DUCK

Summary

Complex geomorphological development of the territory under consideration caused the existence of several subhorizontal denudation surfaces within the height's range of 105–350 m. Unconsolidated sediments of low thickness occurring on these surfaces serve as intermediate collectors. Their erosion makes the pattern of recent slope aureoles rather complicated and causes their propagation up the slopes and over local watersheds.

УДК 551.435.132

© 1999 г. Г.А. ПОСТОЛЕНКО

О СЛОЖНОСТИ СТРОЕНИЯ ТЕРРАСОВЫХ РЯДОВ В РЕЧНЫХ ДОЛИНАХ

Изучение речных долин и аллювия речных террас составляет одну из важных сторон каждого регионального исследования. Между тем, единства в представлениях о механизме формирования рельефа речных долин, о причинах образования речных террас и аллювиальных свит до сих пор нет. Важным этапом в становлении взглядов на эти проблемы представляются работы Н.И. Кригера [1], введшего в литературу понятие "террасового ряда" и установившего наличие математической закономерности в высотах террас одного ряда, а также работы С.В. Лютцау [2, 3], выявившего различные морфологические типы