

*Г.П. КУДРЯВЦЕВА, Е.М. ВЕРИЧЕВ, В.К. ГАРАНИН, Н.Н. ГОЛОВИН,
О.В. ПАЛАЖЧЕНКО, Т.В. ПОСУХОВА*

МИКРОКРИСТАЛЛЫ АЛМАЗА ИЗ КИМБЕРЛИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

С целью выяснения связи морфологических особенностей микрокристаллов алмаза и качеством ювелирных камней проведено сравнительное изучение микрокристаллов алмаза из кимберлитовых трубок Архангельской алмазоносной провинции (ААП): высокоалмазоносной трубки им. В. Гриба и трубки Пионерская с пониженной алмазоносностью. Выявлены различия морфологических характеристик микроалмазов из этих тел, что указывает на связь между качеством макрокристаллов и морфологией микрокристаллов алмаза. Установлено, что у макро- и микрокристаллов алмаза из трубки Пионерская развитие форм растворения свидетельствует о более длительном пребывании кристаллов алмаза в кимберлитовом расплаве за счет более медленного его подъема к земной поверхности. Отмечена перспективность исследований микрокристаллов алмаза из кимберлитовых тел с различной алмазоносностью и их ореолов с целью внедрения типоморфизма микрокристаллов этого минерала при поисках новых месторождений.

До недавнего времени микроалмазы (< 0,5 мм) из кимберлитов не привлекали большого внимания геологов, что связано с несколькими причинами. Во-первых, такие алмазы относятся к техническим группам, следовательно, имеют низкую стоимость. Во-вторых, микроалмазы являются технически сложным объектом изучения, так как приготовление из них препаратов, пригодных для стандартных спектроскопических и других исследований, весьма затруднительно. В-третьих, микроалмазы до последнего времени не считались перспективными для целей разработки новых технологий поиска алмазоносных кимберлитовых тел.

В конце XX в. открыты уникальные месторождения технических алмазов импактного и метаморфогенного генезиса [6], установлено широкое развитие микроалмазов в различных космических объектах, выявлена неоднородность внутреннего строения макрокристаллов алмаза [7]. Новые данные изменили отношение к алмазам, в частности, к микроалмазам из кимберлитов. Проведено изучение типоморфизма микрокристаллов алмаза [10], содержания азота в них [3], оптических спектров и окраски [5], а также особенностей использования алмаза в поисковых целях [3]. Генетическая связь между микрокристаллами и породами, из которых извлекают микроплазмы, недостаточно ясна. Как следует из [11], микроалмазы, подвергшиеся растворению в мантии, кристаллизовались спонтанно еще до их захвата кимберлитовым расплавом, т. е. они представляют собой ксенокристаллы. Другие исследователи указывают на генетическое родство микрокристаллов алмаза с кимберлитовой или лампроитовой магмой и связывают образование микроалмазов непосредственно из таких расплавов [11]. Р.Л. Траутман [11] полагает, что существование различных кристаллических форм алмаза в пределах одного кимберлитового или лампроитового тела свидетельствует о наличии более одного зарождения при кристаллизации. Важно, что существует определенная связь между

типоморфными особенностями микроалмазов и качеством ювелирного алмазного сырья в отдельных кимберлитовых и лампроитовых трубках [12]. Это положение может быть использовано для предварительной оценки алмазоносности кимберлитов или лампроитов на основе особенностей микрокристаллов алмаза. Причем особо интересно сравнение микроалмазов из различных кимберлитовых тел, отличающихся содержанием и качеством макрокристаллов алмаза.

Результаты исследований и их обсуждение

Объект наших исследований — коллекция микроалмазов, отобранных из кимберлитовых трубок ААП: трубки Пионерская (месторождение им. М.В. Ломоносова, Золотицкое поле) и месторождения им. В. Гриба (Верхотинское поле) [4]. Данные кимберлитовые тела различаются как петрохимическим и минеральным составами кимберлитов, так и качеством и содержанием алмазов [4, 8].

Среди микрокристаллов алмаза из трубки Пионерская встречены октаэдрические кристаллы и их сростки, неправильной формы обломки, своеобразные коробчатые скелетные образования. Октаэдрические микрокристаллы — в основном правильные, неискаженные острореберные плоскогранные формы с редкими треугольными фигурами травления на поверхности (111) [9]. Некоторые микрокристаллы характеризуются ступенчато-пластинчатыми гранями с обратнопараллельными треугольными пирамидами и ребристым строением ребер. Микрокристаллы со скульптурой в виде крупных грубослоистых наростов треугольной формы обладают полицентрически растущими гранями (111). Присутствуют также зерна микрокристаллов алмаза сглаженных форм, гемиморфные, на кривогранной поверхности которых развиты занозистые и каплевидные структуры. Впервые в России среди микроалмазов из трубки Пионер-

ская описаны своеобразные коробчатые скелетные формы — кристаллы октаэдрического габитуса с кривогранной поверхностью, покрытой матовой оболочкой и имеющие типичное сложное внутреннее строение — пустотелые, неравномерно и полностью заполненные тонкими алмазными пластинками, растущими под углом к поверхности, а также скелетные кристаллы таблитчатой и крестообразной форм, которым присущи разрастания по отдельным кристаллографическим направлениям и неровный пластинчато-ступенчатый характер вогнутых поверхностей на месте граней. Образование скелетных форм здесь связывается с рядом факторов: быстрым охлаждением вещества, резким увеличением степени пересыщения, значительным содержанием примесей [9]. Широкое разнообразие габитусных форм алмаза в трубке Пионерская отражает сложную эволюцию кимберлитов при образовании трубочных тел. На ранних стадиях в мантийных условиях возникают совершенные кристаллы, некоторые в условиях агрессивной среды кимберлитового расплава растворяются, в результате появляются кривогранные формы с занозистым или каплевидным рельефом поверхности [4]. На заключительной стадии становления трубки формируются также новообразованные кубические и пластинчатые скелетные формы. Неравновесный захват примесей и высокие скорости кристаллизации способствовали образованию дефектных кристаллов с зонально-секториальным строением [9].

Подробно микрокристаллы из кимберлитов трубки Пионерская описаны в [9], поэтому особое внимание уделено микроалмазам из трубки им. В. Гриба: изучено 17 кристаллов, для которых проведено визуальное описание и получены цифровые изображения в оптическом микроскопе и методом растровой электронной микроскопии в режиме вторичных электронов (JSM-820, фирма «JEOL», ускоряющее напряжение 15 КэВ, увеличения от 140 до 1500).

Исследования микрокристаллов из этой трубки показывают, что в отличие от трубки Пионерская в изученной коллекции отсутствуют коробчатые и скелетные формы [9]. Мелкие кристаллы из трубки им. В. Гриба представлены двумя главными типами: техногенными осколками и обломками более крупных кристаллов алмаза и целыми кристаллами и их закономерными сростками правильных кристаллографических форм (табл. 1). Все кристаллы прозрачны, бесцветны, некоторые осколки имеют слабый желтый оттенок. В четырех кристаллах встречены приповерхностные и внутренние включения черного цвета, визуальная диагностика которых затруднительна.

Техногенные осколки макрокристаллов алмаза не имеют правильных кристаллографических фрагментов и характеризуются вытянутой, округлой, прямоугольной формами с гладкими или ребристо-ступенчатыми поверхностями скола и заостренными ребрами скола. Встречен также один обломок, у которого сохранился фрагмент треугольной грани октаэдра с типичными ступенями по-

Таблица 1

Характеристика микрокристаллов алмаза из трубки им. В. Гриба

Образование	Описание
Октаэдр (III/2)	Бесцветный прозрачный кристалл с желобообразным строением ребер, тонколаминарным строением дитригональных пирамидальных граней. Содержит приповерхностное и внутреннее черные включения.
Осколок	Бесцветный, прозрачный. Два типа скола поверхности: техногенный гладкий и природный неровный. Содержит два черных внутренних включения.
Осколок	Бесцветный, прозрачный, округлой формы, с гладкой сколовой поверхностью.
Сросток трех октаэдров	Бесцветный, прозрачный, с отбитой вершиной. Округлые ребра и вершины, тонкая параллельная штриховка на ребрах октаэдров.
Осколок	Бесцветный, прозрачный, сильно вытянутый, с гладкой поверхностью.
Осколок	Бесцветный, прозрачный, с гладкой сколовой поверхностью.
Обломок	Бесцветный, прозрачный, уплощенный, таблитчатой формы (часть грани (100), с неровной поверхностью и ступенчатым строением).
Осколок	Бесцветный с желтоватым оттенком, прозрачный. Сколовая поверхность: гладкая и бугристая.
Обломок	Бесцветный с желтоватым оттенком, прозрачный. Сколовые поверхности гладкие. Сохранилась округленная вершина кристалла.
Осколок	Бесцветный, прозрачный, вытянутой формы с гладкой и кое-где ребристой поверхностью сколов.
Двойник октаэдров	Бесцветный, прозрачный. Поверхность октаэдров гладкая, штриховки нет. Слабо округлены вершины двойника. Содержит одно приповерхностное и внутреннее черные включения.
Обломок октаэдра	Бесцветный, прозрачный. Сохранились три гладкие грани (111). Тонкая параллельная штриховка на ребрах.
Октаэдр (I/1)	Бесцветный прозрачный гладкогранный кристалл. Заметна тонкая параллельная штриховка на ребрах, переходящая в короткие неглубокие каверны возле одной из вершин кристалла.
Осколок	Бесцветный, прозрачный, с гладкой сколовой поверхностью.
Двойник октаэдров (II/1)	Бесцветный, прозрачный. Поверхность неровная, одна из вершин отбита. В зоне двойникового шва развиты четырехугольные впадины.
Обломок	Бесцветный, прозрачный с сохранившейся гранью (111) ламинарного строения. Сколовые поверхности гладкие.
Агрегат типа «борт»	Бесцветный прозрачный агрегат однородных сросшихся очень мелких округлых слабораскристаллизованных индивидов алмаза.

слоистого роста. На одном из обломков установлено два типа сколов поверхности: природный (затупленный, неровный) и техногенный (гладкий).

Среди целых микрокристаллов алмаза преобладают октаэдрические кристаллы, их сростки и двойники. Как правило, это кристаллы II и III групп по классификации З.В. Бартошинского [1]. Поверхность кристаллов в большинстве случаев гладкая, вершины сглажены, на ребрах развита тонкая штриховка, возникновение которой возможно как при росте, так и при растворении кристалла (рис. 1).

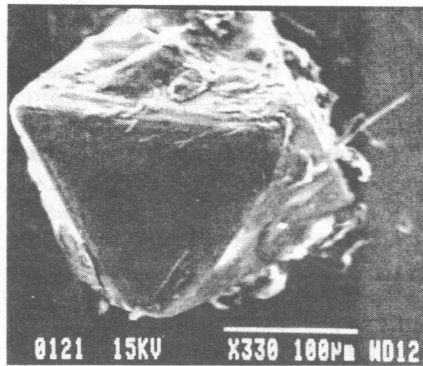


Рис. 1. Октаэдрический микрокристалл (≈ 250 мкм) алмаза из кимберлитовой трубки им. В. Гриба

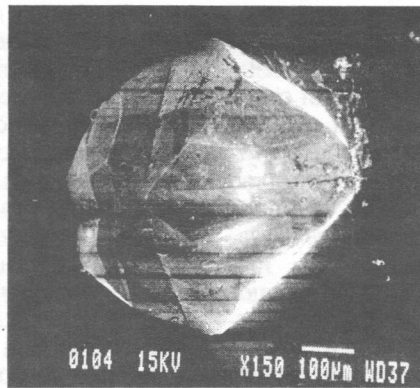


Рис. 2. Микрокристалл алмаза переходной О—Д формы с желобами вместо ребер

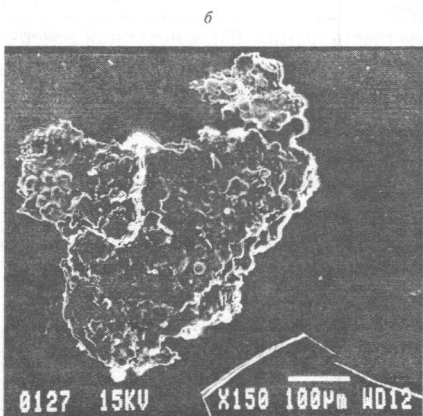
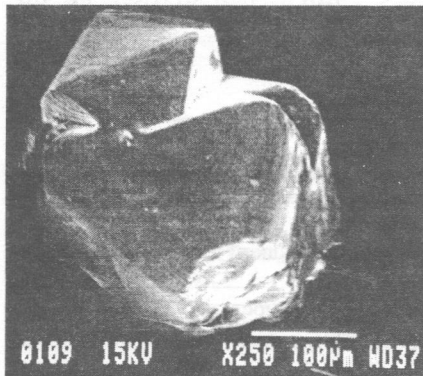


Рис. 3. Поликристаллические сростки микрокристаллов алмаза: а — закономерный сросток трех октаэдрических кристаллов; б — агрегат мелких (≈ 15 мкм) плохо окристаллизованных микрокристаллов алмаза

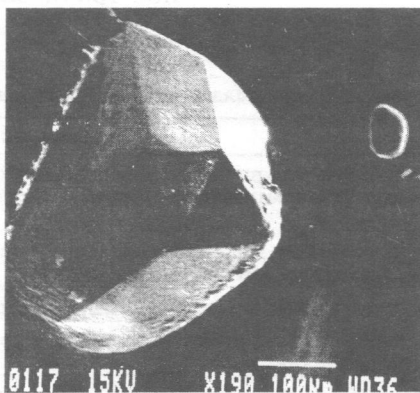


Рис. 4. Шпинелевые двойники октаэдрических микрокристаллов алмаза: а — гладкогранный; б — с корродированной поверхностью

На поверхности целых микрокристаллов алмаза заметны следы незавершенного послойного роста: образование штриховки на ребрах в околовершинных частях кристаллов. Установлены отдельные зародыши аксессуаров роста, приуроченные к реберной части кристалла. Изученным октаэдрическим кристаллам не свойственны ступенчато-пластинчатое развитие поверхности, полицентрический рост граней и обратнопараллельные тригональные пирамиды на гранях.

Встречен один микрокристалл алмаза (октаэдр-ромбододекаэдр) переходной формы (рис. 2), характеризующийся блоковым строением граней с тонкой дитригональной штриховкой. На местах ребер развиты глубокие желоба с гладкими стенками. Такая форма желобов может быть обусловлена нарастанием слоев при образовании переходной (О—Д) формы кристалла [1]. На поверхности заметны слабые пятна пигментации. По классификации З.В. Бартошинского [1] — это кристалл группы III/2. В приповерхностной и внутренней частях кристалла отмечены два мелких черных включения.

Присутствуют два вида сростков: поликристаллический сросток нескольких хорошо ограненных кристаллов (рис. 3, а) и микрозернистый, типа «борт» (рис. 3, б). Первый состоит из трех закономерных сросшихся по граням (111) разноразмерных октаэдров алмаза. Вершины октаэдров в сростке кажутся сглаженными вследствие многоглавого роста. Одна из вершин отбита при извлечении. На ребрах октаэдров заметна слабая тонкая штриховка. Второй сросток представлен микрозернистым агрегатом множества сросшихся плохо окристаллизованных кристаллов. На поверхности агрегата видны отдельные слагающие его индивиды (рис. 3, б): округлые, близкие к кубоктаэдрической форме кристаллы, плотно сросшиеся между собой в единый агрегат. По классификации [1] данный образец можно отнести к X группе.

В значительном количестве среди образцов микроалмазов обнаружены двойники октаэдров, сросшиеся по шпинелевому закону (рис. 4 а, б). Они легко распознаются по наличию двойникового шва, треугольной форме в плане, уплощенному строению, бабочкообразному соединению граней (111) в зоне двойникового шва. Сохранность поверхности двойников такая же, как и повер-

хности единичных октаэдрических кристаллов алмаза: это гладкогранные остросереберные индивиды. Таким образом, можно предположить одновременность образования октаэдров микроалмаза с включениями и двойников октаэдров с подобными включениями. Лишь у одного из двойников (рис. 4, б) наблюдаются неровная бугристая поверхность граней, выколы вдоль шва двойникования и штриховка на ребрах. В этом двойнике также установлены приповерхностное и внутреннее черные включения.

Полученные в результате исследований микрокристаллов алмаза из трубки им. В. Гриба и ранее полученных данных по микрокристаллам из трубки Пионерская [4, 8] позволяют сопоставить морфологические особенности микрокристаллов алмаза и качество и количество макрокристаллов в кимберлитах ААП.

Известно, что алмазность кимберлитовой трубки им. В. Гриба вдвое выше, чем алмазность кимберлитов месторождения им. М.В. Ломоносова [4]. В первой преобладают крупные (-4+8 мм) кристаллы октаэдрической и ромбододекаэдрической форм, высок процент кристаллов переходных О—Д форм (табл. 2) с тонкими дитригональными слоями роста граней со сноповидной штриховкой поверхности, относящиеся по геммологической классификации алмазного сырья SITY к Shapes, Cleavage, Sawables, Makeables классам. Среди алмазов месторождения им. М.В. Ломоносова (на примере трубки Пионерская) преобладают (табл. 2) округлые додекаэдрические кристаллы размером -4+2 мм с разнообразными скульптурами поверхности, образованными в результате окислительного растворения [4].

Среди микрокристаллов из кимберлитов трубки им. В. Гриба не установлены кристаллы коробчатой и скелетной форм, характерные для микроалмазов трубки Пионерская. Среди микрокристаллов алмаза из месторождения им. В. Гриба преобладают октаэдрические кристаллы, встречаются переходные формы О—Д. Поверхность таких кристаллов не подвергалась сильной коррозии или растворению: грубоступенчатое строения граней, треугольные фигуры растворения на гранях, матировки поверхности кристаллов не обнаружены. Так же, как

и в трубке Пионерская, среди микрокристаллов из трубки им. В. Гриба присутствуют двойники октаэдров по шпинелевому закону, сростки нескольких ограниченных октаэдров алмаза и агрегаты типа «борт».

В трубке Пионерская наблюдаются октаэдрические кристаллы и их сростки, неправильной формы обломки и кристаллы коробчатых скелетных форм, скелетные кристаллы таблитчатой и крестообразной формы, а также гемиморфные кристаллы. Широко развиты скульптуры полицентрического роста граней. На гладкогранных поверхностях выделяются треугольные ямки травления, на кривогранных — занозистые и каплевидные структуры [9], что, вероятно, является свидетельством более длительного подъема, становления расплава трубки по сравнению с трубкой им. В. Гриба.

Полученные данные подтверждают вывод [11] о связи морфологических особенностей макро- и микрокристаллов алмаза, позволяя проводить

Таблица 2

Распределение по габитусу макрокристаллов алмаза (>0,5 мм) из трубки им. В. Гриба Верхотинского поля и трубки Пионерская Золотицкого поля

Трубка	Ситовой класс	Распределение по габитусным формам, кол. %					
		октаэдры (О)	ромбододекаэдры (Д)	переходной формы (О—Д)	кубы (К)	псевдогемиморфные	обломки
Им. В. Гриба	-4+8	57	21	18	5	—	—
	-4+2	36	39	22	2	1	—
	-2+1	25	39	23	5	8	—
	-1+0,5	31	36	21	5	7	—
Пионерская	-4+2	5	80	4	7	1	3
	-2+1	8	77	2	6	1	6
	-1+0,5	16	65	6	6	1	12
	+0,5	8	76	3	7	1	5

Примечание. Прочерк — не обнаружены.

предварительную оценку качества алмазного сырья в породах алмазносных тел по типоморфизму микрокристаллов алмаза на начальных стадиях геолого-разведочных работ, при оценке перспективности горизонтов месторождений при сравнительно небольших объемах опробования. Представляется целесообразным изучить микрокристаллы алмазов из других тел ААП, а также близких ореолов сноса, коллекторов. Эти исследования позволят использовать типоморфизм микрокристаллов и в поисковых целях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартошинский З.В. Минералогическая классификация природных алмазов // Минер. журн. 1983. Т. 5. № 5. С. 84—93.
2. Биленко Ю.М., Жихарева В.П. О содержании азота в микрокристаллах природных алмазов // Геология и геофизика. 1979. №9. С. 153—154.
3. Блинов А.А., Михайлов В.А. Возможности использования мелких алмазных зерен в поисковых целях на территории Якутии // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. Мирный, 1998. С. 318—319.
4. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. Архангельская алмазносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.
5. Вуйко В.И., Квасница В.Н., Коптиль В.И. и др. Оптические спектры и окраска мелких алмазов из кимберлитов // Минер. сб. Львов. ун-та. 1988. №42. В. 1. С. 13—17.
6. Гаранин В.К. Введение в минералогию алмазных месторождений. М.: Изд-во МГУ, 1989. 200 с.
7. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С. Включения в алмазе и алмазносные породы. М.: Изд-во МГУ, 1991. 240 с.

8. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Посухова Т.В., Вержак В.В., Веричев Е.М., Гаранин К.В. Два типа алмазоносных кимберлитов в Архангельской провинции // Изв. вузов. Геология и разведка. 2001. № 4. С. 36—50.
9. Гаранин В.К., Посухова Т.В. Морфология кристаллов алмаза из кимберлитов Беломорья в связи с историей их формирования // Зап. ВМО. 1995. Ч. СХХIV. № 2. С. 55—61.
10. Квасница В.Н., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. М.: Недра, 1999. 224 с.
11. Траутман Р.Л., Гриффин Б.Дж., Специус З.В. Сравнение микроалмазов из кимберлитов и лампроитов Якутии и Австралии // Геология и геофизика. 1997. №2. Т. 38. С. 323—336.
12. McCandless T.E., Gurney J.J. Microdiamonds from kimberlites and lamproites: observations and ideas concerning their origin // 6-th International kimberlite Conference. Extended Abstracts. 1996. P. 368—393.

Московский государственный университет
Рецензент — В.И. Старостин

УДК 549.283+549.273.

В.П. МОЛЧАНОВ, В.Г. ХОМИЧ, Е.И. МЕДВЕДЕВ

ИНДИКАТОРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ Pd-СОДЕРЖАЩЕГО ЗОЛОТА ИЗ РОССЫПЕЙ БЛАГОДАТНЕНСКОГО УЗЛА (ПРИМОРЬЕ)

Изложены данные по типоморфизму и составу самородного золота и его площадному распределению в золоторудных образованиях и их продуктах экзогенного разрушения. Индикаторные свойства Pd-содержащего золота используются для прогноза платиноидно-золоторедкометалльной минерализации, ранее неизвестной в пределах характеризуемого узла.

Центральный Сихотэ-Алинь, особенно его северная окраина (в границах Приморского края), где известно несколько рудно-россыпных узлов, относится к числу старейших районов золотодобычи на Дальнем Востоке. Так, первые материалы о наличии золота на территории Благодатненского рудно-россыпного узла получены в начале XX в. в результате заверочных работ по следам старых разработок [1]. Интенсивная промышленная добыча россыпного золота здесь велась начиная с 30-х гг. прошлого столетия. К 40-м гг. в пределах узла выявлено Благодатненское золоторудное месторождение, а в 80-е гг. — месторождение Глухое. В связи с истощением значительной части россыпей узла и ограниченностью запасов руд Благодатненского месторождения (эксплуатация месторождения Глухое ввиду его недостаточной изученности откладывается на неопределенное время) остро стоит задача поиска новых типов коренных источников благородного металла. Решению обозначенной проблемы способствует изучение самородного

золота руд и россыпей как носителя ценной геолого-генетической информации.

Авторы изучили каменный материал, отобранный непосредственно из отвалов старых штолен и канав, а также из обнажений горных пород и рыхлых отложений узла. При исследованиях использовались методы локально-спектрального, атомно-абсорбционного и атомно-эмиссионного спектрального анализов.

В региональном плане изученный узел приурочен к юго-восточной части Амурского золотоносного пояса [10], контролируемого одноименной унаследованно развивавшейся рифтогенной системой. Рудно-россыпные проявления узла сосредоточены преимущественно на правом берегу р. Колумбе, впадающей в р. Большая Уссурка (рисунок, А). Крупные по промышленной значимости россыпи расположены (с запада на восток) в бассейнах рек Большая Приисковая, Малая Приисковая, 3-я Щедринка, Пионерка, Комсомольская, Нежданная, Большая Северная, Грозная (рисунок, Б).

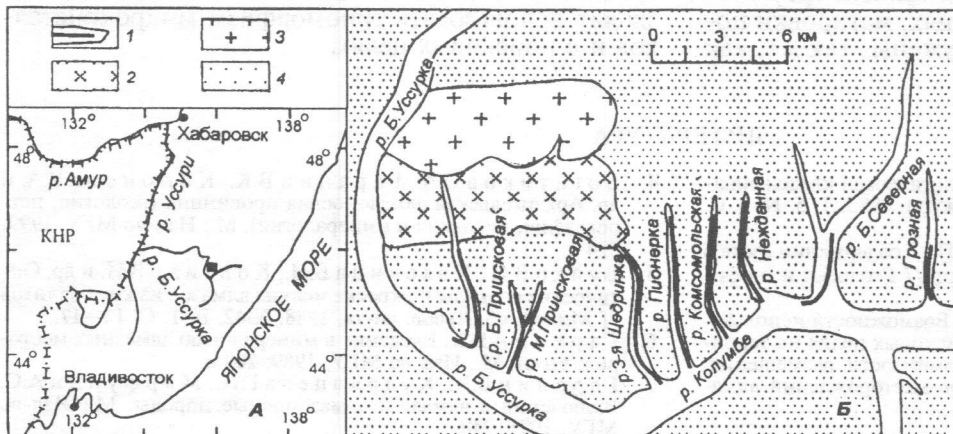


Схема размещения золотоносных россыпей Благодатненского узла: А — местоположение изученной площади; Б: 1 — золотоносные россыпи; 2, 3 — гранитоиды Приискового массива (K₂); 2 — диориты, гранодиориты, 3 — граниты; 4 — терригенные толщи (K₁)