

К ВОПРОСУ ОБ ИСТОЧНИКАХ РОССЫПНЫХ АЛМАЗОВ ЭБЕЛЯХСКОГО РАЙОНА (АРКТИЧЕСКАЯ ЗОНА РОССИИ)

А. А. Бочнева

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (Москва, Российская Федерация)

А. В. Лаломов

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (Москва, Российская Федерация), Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 11 сентября 2021 г.

Работа посвящена выявлению потенциально алмазоносных площадей на основе геолого-статистического анализа данных шлихоминералогического опробования аллювиальных отложений реки Эбелях и ее притоков. Произведено сжатие информации минерального поля алмазоносной россыпи реки Эбелях, выделены главные по информативности компоненты на основе информационной энтропии (К. Шеннон). Пространственная неоднородность полиминеральных полей, выявленная с помощью метода энтропии, позволила оконтурить участки возможной локализации промежуточных коллекторов (или их бывшего развития) в Эбеляхском районе.

Ключевые слова: арктический регион, россыпи, алмазы, геолого-статистические методы.

Введение

Проблема промежуточных коллекторов занимает ведущее место в геологии алмазоносных россыпей. Сравнительный анализ имеющихся материалов по россыпной алмазоносности разных провинций мира, приуроченных к древним платформам (Африкано-Аравийской, Южно-Американской, Индостанской, Австралийской, Северо-Американской, Восточно-Европейской, Сибирской, Китайско-Корейской), показывает, что древние осадочные комплексы являются не только важнейшим источником высококачественных алмазов в современных россыпях, но и самостоятельным промышленным типом алмазоносных месторождений [1—6].

Вторичные, промежуточные источники алмазов (коллекторы) — различные по возрасту (от докембрийских до кайнозойских) алмазоносные терри-

генные формации, подвергшиеся выветриванию и площадному размыву с переотложением алмазов в более молодые рыхлые образования. Роль вторичных источников в питании алмазных россыпей соизмерима с ролью коренных первоисточников, а во многих районах превышает ее (исключение — карстовые россыпи Бакванги в Заире). Источники многих богатейших россыпей алмазов (в частности Уральских россыпей, россыпи Эбелях в Анабарском районе) так и остаются до конца не установленными из-за многократного переотложения алмазов в промежуточных коллекторах. Древние алмазоносные формации могут представлять интерес с точки зрения обнаружения самостоятельных россыпных месторождений (протерозойские конгломераты Сопа серии Лаврас в Южной Америке, серии Тортья в Западной Африке и др.; палеозойские — свита Итараре в Южной Америке; мезозойские, особенно широко распространенные на платформах Гондва-



Рис. 1. Эбеляхский алмазоносный район
Fig. 1. Ebelyakhskiy diamond region

ны; кайнозойские, известные во всех алмазоносных провинциях мира). Приходится, однако, учитывать, что большинство древних алмазоносных россыпей литифицировано или даже метаморфизовано, и их отработка требует дробления плотных алмазодержащих пород, при котором существенно дробятся и свойственные россыпям крупные ювелирные алмазы. Поэтому среди древних россыпных месторождений разрабатываются преимущественно наиболее богатые участки месторождений или участки, подвергшиеся глубокому химическому выветриванию [6—10 и др.].

Главными провинциями развития промежуточных коллекторов алмазов являются древние платформы (кратоны), а в пределах более молодых структур — фрагменты древних платформ, ассимилированные в последующие тектоно-магматические циклы (например, фрагменты Сино-Корейской платформы на Дальнем Востоке [11—13]).

На территории России известно несколько возрастных групп алмазоносных россыпей, среди которых древнейшими образованиями, имеющими промышленное значение, являются среднедевонские россыпи Урала и Тимана. Широко распространены и алмазоносные осадочные формации мезозойского возраста, среди которых также известны промышленные месторождения — на Сибирской платформе («Водораздельные галечники» Мирнинского района) [14; 15].

В арктическом регионе России располагаются крупная россыпная Анабаро-Оленёкская провинция [16; 17] и два потенциальных региона — Беломорский и Тимано-Уральский.

На севере Анабаро-Оленёкской провинции в северо-восточной части Сибирской платформы расположен Эбеляхский алмазоносный район с уникальными по масштабам аллювиальными россыпями алмазов (рис. 1)¹. Большая часть рассматриваемой территории располагается в пределах Эбеляхского блока, входящего в состав Анабарской антеклизы, которому в рельефе отвечает слабоволнистое плато, выработанное в карбонатных породах среднего кембрия, с сохранившимися фрагментами поверхностей выравнивания двух уровней — на отметках 220—240 и 165—200 м [10].

В геологическом строении непосредственного района месторождения (бассейна реки Эбелях) принимают участие морские карбонатные породы среднего кембрия и континентальные отложения мела и четвертичного комплекса (рис. 2).

Образования среднего кембрия представлены известняками джахтарского горизонта и доломитами анабарской свиты, имеющими залегание, близкое к горизонтальному. На известняках установлена маломощная (0,5—1 м) кора выветривания, которая представлена темно-серой карбонатной глиной с обломками известняков. На доломитах анабарской свиты также развиты коры выветривания, как правило, переотложенные. В составе переотложенных кор выветривания преобладают местные породы (95,5%). На долю экзотических пород,

¹ Подготовлено авторами на основе <https://1.bp.blogspot.com/-RrpQIBnStkU/XEschoOCZ-I/AAAAAAAAA5Gc/bx8NGg5o nm0iu5NbDzq2kHIWBbKdMjDACLcBGAs/s0/Fizicheskaya-karta-Rossii.jpg>.

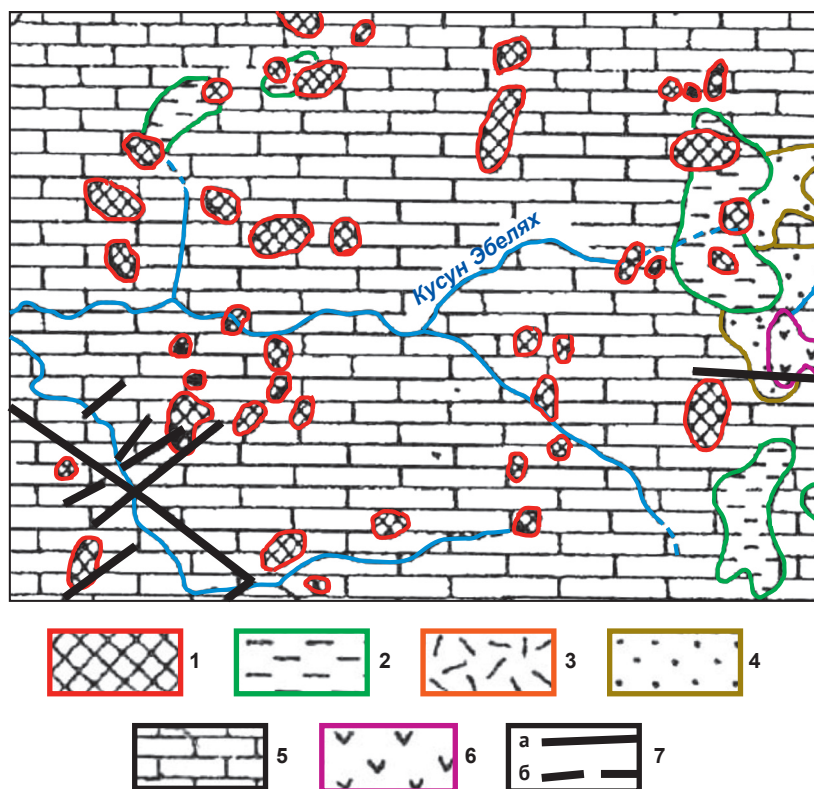


Рис. 2. Схема размещения осадочных коллекторов в Эбеляхском районе: 1 — нижний мел, 2 — юра, 3 — триас, 4 — пермь, 5 — кембрий, 6 — долериты, 7 — разрывные нарушения: достоверные (а) и предполагаемые (б) (по В. Т. Подвысоцкому [22])
Fig. 2. Scheme of sedimentary hosts in Ebelyakhskiy region: 1 — Lower Cretaceous, 2 — Jurassic, 3 — Triassic, 4 — Permian, 5 — Cambrian, 6 — dolerites, 7 — faults: proved (a) and estimated (b) (by V. T. Podvysotsky [22])

представленных кремнем, кварцем, кварцитами и конгломератами, приходится 4,5%. Возраст перетолженных кор выветривания синхронен перекрывающим осадкам и поэтому имеет широкий диапазон от нижнемелового до четвертичного времени. Остаточные коры выветривания представлены доломитовой мукой. Мощность кор выветривания колеблется от 0,5 до 10 м и более. Возраст остаточных кор выветривания остается дискуссионным.

Четвертичный комплекс отложений представлен преимущественно галечно-гравийно-песчаными разностями. Они приурочены к пяти надпойменным террасам реки Эбелях с незначительным изменением состава отложений от V до I террасы. Общая мощность четвертичных отложений — в среднем 26—27 м. Современные осадки представлены отложениями пойменного аллювия и русла. Это валунно-галечно-гравийно-песчаные или глинисто-песчаные разности общей мощностью до 4 м [7].

Долинная аллювиальная россыпь реки Эбелях (правого притока реки Анабар) является крупнейшим россыпным месторождением алмазов мирового класса [18—21]. Она имеет облик выдержанной лентовидной залежи протяженностью более 100 км, и практически на всем протяжении современный аллювий содержит алмазы в промышленных концентрациях. Алмазоносны также притоки реки Эбе-

лях, в которых выявлены промышленные россыпи протяженностью от 4 до 18 км, и соседний правый приток Анабара — река Биллях (см. рис. 2). Среднее содержание алмазов с учетом полного включения в продуктивный пласт осадков русла и русловой фации низкой и высокой поймы составляет 1,4 кар/м³, максимальные содержания достигают 82,81 кар/м³. Средняя масса алмазов — 19,9 мг. Наблюдается четкая закономерность снижения средней массы алмазов к истокам реки от 25,6 мг в приустьевой части до 16,5 мг в верховье. На нижнем участке реки найдены наиболее крупные алмазы, превышающие десятки каратов.

Содержание алмазов в россыпи тесно связано с литологией вмещающих и подстилающих пород [23]. Наиболее алмазоносными являются валунно-галечно-гравийные, галечно-гравийно-песчаные отложения и перетолженные коры выветривания. Распределение алмазов в аллювиальном разрезе неравномерное. Отмечается увеличение содержания к основанию пласта независимо от его мощности. В поперечном разрезе россыпи высокие содержания алмазов приурочены к пристречневым участкам (рис. 3). Дифференцированное распределение алмазов в поперечном профиле долины подчеркивает их струйчатое распределение в плане. Главная минеральная ассоциация россыпи имеет



Рис. 3. Разрез россыпи реки Эбелях (по В. Т. Подвысоцкому [22]): 1 — лед, 2 — русловой аллювий, 3 — аллювий низкой поймы, 4 — аллювий высокой поймы, 5 — аллювий I надпойменной террасы, 6 — кора выветривания, 7 — доломиты
Fig. 3. Placer section of the river Ebelyakh (by V. T. Podvysotsky [22]): 1 — ice, 2 — channel alluvium, 3 — low floodplain alluvium, 4 — high floodplain alluvium, 5 — alluvium of terrace I above the floodplain, 6 — weathering crust, 7 — dolomites

циркон-альмандин-ильменитовый состав и образована «транзитными» устойчивыми минералами, сохраняющимися в условиях длительного переотложения. Из минералов — спутников алмаза в составе этой ассоциации присутствует пикроильменит [24].

По существующим промышленно-генетическим классификациям [7] россыпь реки Эбелях относится к группе уникальных месторождений, а суммарные запасы россыпных алмазов по Анабарскому алмазодобному району превосходят многие зарубежные аналоги.

По условиям образования она сходна с некоторыми уральскими россыпями, а также с россыпями Лихтенбургского района ЮАР [1; 25].

Предполагается, что россыпь сформирована за счет размыва многочисленных промежуточных коллекторов позднепалеозойского и мезозой-кайнозойского возраста, формировавшихся в условиях неоднократного возобновления карстово-эрозионных процессов в карбоне, перми, раннем мелу, палеогене и неогене, сопровождавшихся накоплением полигенного комплекса осадков от переотложенных кор выветривания до аллювиальных и озерных фаций [26; 27]. Все это обусловило значительную протяженность россыпи и алмазодобность всех уровней аллювия долины реки и ее притоков [28]. Однако достоверные промежуточные коллекторы с установленной алмазодобностью неизвестны.

Общие запасы алмазов россыпи реки Эбелях составляют 23,3 млн кар по категории С1 и 2,8 млн кар по категории С2 [29] при содержаниях 1—5 кар/м³.

Цели и методы исследования

Основной задачей исследований, результаты которых изложены в данной статье, было изучение минеральных ассоциаций разновозрастных потенциально алмазодобных промежуточных коллекторов, выявление дополнительных характеристик промежуточных коллекторов для решения прогнозных и оценочных задач, что дает возможность уточнить информацию об источниках сноса и об эволюции сложившихся в процессах переноса и переотложения минеральных парагенезисов. Такими дополнительными характеристиками (критериями) могут являться модели структуры поликомпонентного минерального поля (минеральных ассоциаций).

В ассоциациях изучаемых аллювиальных россыпей и свит зачастую отсутствуют парагенетические минералы — спутники алмаза (пироп, пикроильменит) и, напротив, могут быть широко представлены минералы, характеризующие другие комплексы пород, например характерные для ультраосновных пород платиноносной формации (хромшпинелиды, платина, осмистый иридий, ильменит), метаморфизованных осадочных пород (циркон, ставролит) и др. [30; 31]. Так, для россыпей дальнего сноса, образовавшихся в результате многократного переотложения, парагенетические спутники алмаза, неустойчивые к механическому износу, теряются, и алмазы ассоциируются с набором устойчивых к переносу минералов, плотность которых близка к плотности алмаза (3,48—3,52). Вхождение алмаза в эти ассоциации объясняется его специфическими россыпеобразующими свойствами, что

способствует его концентрации в весьма широком диапазоне литогенетических обстановок, обуславливая его сохранность при многократном перетолжении и присутствие в древних ископаемых формациях. То есть высокая устойчивость и миграционная способность алмаза [25], намного превосходящая миграционную способность его генетических спутников (пироп, пикроильменит, хромшпинелиды, хромдиопсид), приводит к тому, что сам алмаз входит в состав ассоциаций, образованных транзитными устойчивыми минералами, несущих информацию о строении бассейна питания в целом, в том числе о присутствии в нем осадочных пород, которые могли выступать в качестве промежуточных коллекторов алмаза [8].

Каждый район и россыпь имеет свой набор аллювиальных спутников алмазов. К числу аллювиальных спутников может быть отнесено большинство минералов тяжелой фракции россыпей: магнетит, лимонит, гематит, хромшпинелид, гранат, циркон, оливин, пироксен, рутил, монацит и др. Эти минералы имеют различное происхождение, и источником их являются разнообразные породы. Обнаружение их в россыпях совместно с алмазом не указывает на источник алмазов, поэтому установить последний при наличии только аллювиальных спутников трудно, особенно если первоисточником служат промежуточные коллекторы разного возраста. Этим объясняется тот факт, что на некоторых месторождениях, эксплуатирующихся уже многие годы и даже десятилетия, первоисточник до сих пор не определен.

Таким образом, при анализе минеральных ассоциаций современного аллювия и древних осадочных толщ приходится учитывать, что в процессе переноса и формирования парагенезисов кластогенных минералов, с одной стороны, происходит их «очищение» от малоустойчивых минералов, а с другой — их пополнение минералами, поступающими из различных частей бассейна, часто путем многократного перетолжения [7].

Поскольку эти ассоциации имеют сложный поликомпонентный состав и включают минералы, поступавшие из разных источников и претерпевшие различные преобразования на пути миграции, качественное сопоставление этих данных зачастую не дает однозначной информации об источниках сноса и эволюции сложившихся минеральных парагенезисов. Это служит причиной использования исследователями различных методов сжатия поликомпонентной минералогической информации — кластерного, дискриминантного, факторного анализа (и его модификации — метода главных компонент), регрессивного и логико-информационного анализов.

Один из них — метод информационной энтропии (К. Шеннона), показавший положительные результаты, в частности при прогнозе эндогенной оловянно-вольфрамовой минерализации и россыпей оловянных районов Восточной Якутии [32], продемонстрировал положительные результаты и в области

прогноза возможных промежуточных коллекторов алмазных россыпей.

В качестве исходной информации для расчета энтропии и построения схем распределения были использованы данные шлихоминералогического опробования по 21 минералу из фондовых отчетов. Общее количество проб составляет 98, данные представлены в процентах от выхода тяжелой фракции. В большинстве своем пробы были взяты из русел рек, ручьев и притоков в бассейне реки Эбелях; также присутствуют единичные пробы из шурфов и канав.

Показатель энтропии рассчитывался по формуле

$$H = -\sum_i^N P_i \log P_i,$$

где P_i — доля i -го компонента в системе из N компонентов (минералов шлиха) в каждой пробе; $\sum_i^N P_i = 1$; при этом

$$P_i = \frac{C_i}{C_{\Phi i} \sum_i^N \frac{C_i}{C_{\Phi i}}},$$

где C_i — содержание минералов в пробе; $C_{\Phi i}$ — их фоновые значения [33].

В качестве последних были взяты средние содержания минералов по шлихам. Величина P_i указывает «вклад» каждого минерала в общий состав шлиха и отражает распределение данного минерала по площади [34]. Определенная числовая характеристика этого показателя позволяет картировать распределение минералов по площади.

Энтропийная характеристика минерального состава россыпей может рассматриваться в качестве суммирующего показателя аномальности минералогического состава питающих их толщ. Отражая формально уровень вариаций содержаний различных минералов от их средних значений по площади, такая характеристика выступает в качестве меры информации. По исследуемому району значения энтропии колеблются в пределах от нескольких процентов до 92% (рис. 4). Аномальность минералогического поля в пределах безрудных площадей проявляется в минимальной степени, энтропия их минерального состава стремится к 100%. Такими значениями энтропии могли бы характеризоваться шлиховые пробы, в которых содержание всех определяемых минералов точно соответствует фоновым содержаниям. В этом случае неопределенность минерального поля максимальна, а отдельные пробы полностью неинформативны. Минимальные значения энтропии обычно проявляются в пробах, характеризующихся резким преобладанием тех или иных минералов, сравнение распределения которых позволяет выявить главные информативные минералы шлихов [32]. Исходя из этого, на схеме энтропийно-

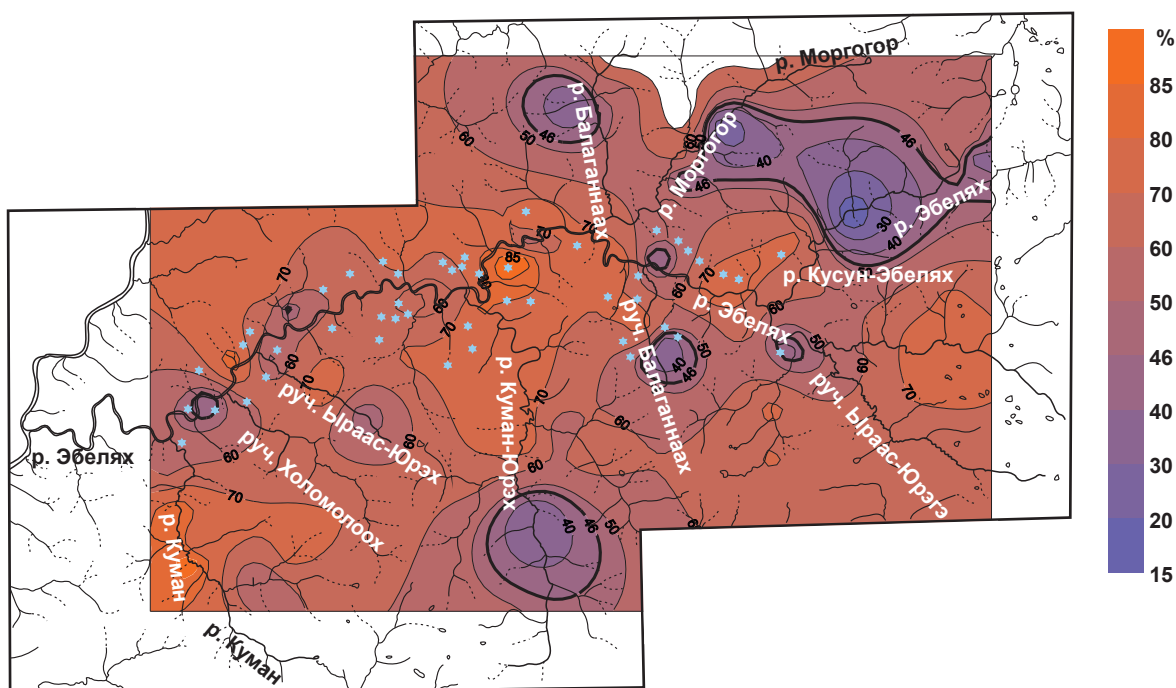


Рис. 4. Распределение значений энтропийного поля (%) на территории Эбеляхского алмазоносного района. Звездочками отмечены точки отбора проб с количеством кристаллов алмаза от 1 до 53

Fig. 4. Distribution of entropy field values (%) on the territory of the Ebelyakhskiy diamond region. Asterisks mark the sampling points with the number of diamond crystals from 1 to 53

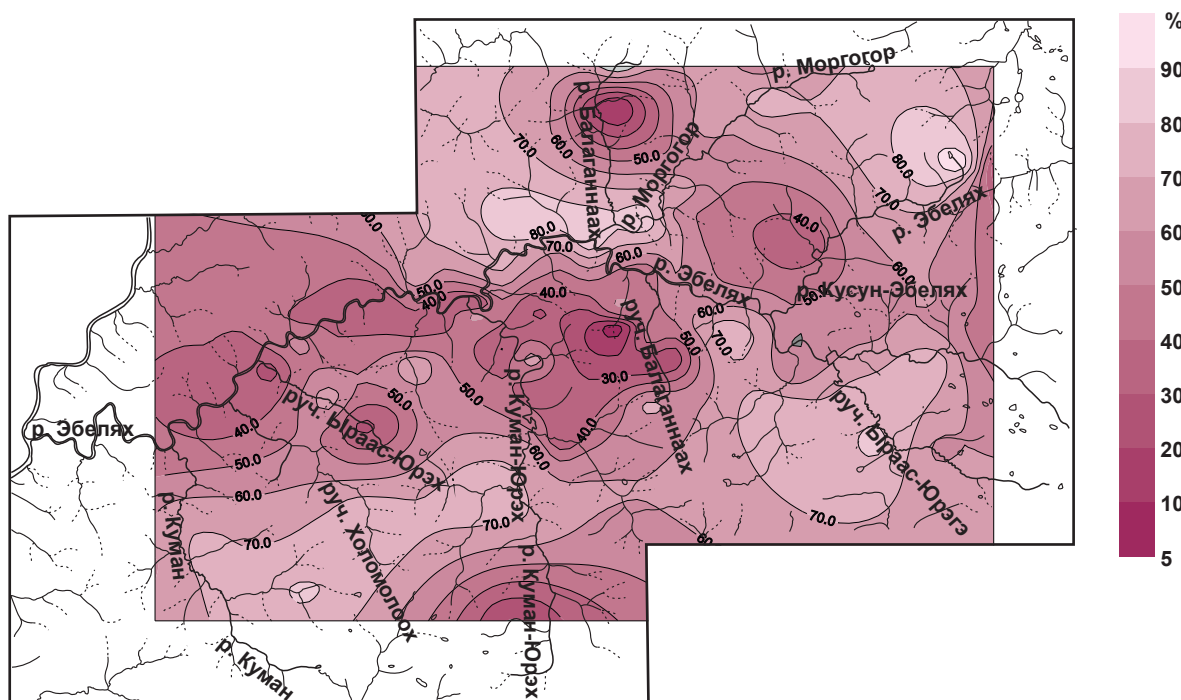


Рис. 5. Распределение значений содержания альмандина на территории Эбеляхского алмазоносного района

Fig. 5. Distribution of almandine content values on the territory of the Ebelyakhskiy diamond region

го поля выделяют несколько зон, соответствующих значениям энтропии ниже 46% и свидетельствующих о преобладании в шлихах в этих зонах россыпе-

образующих минералов. Этот порог рассчитан как сумма среднего значения энтропии и стандартного отклонения [35].

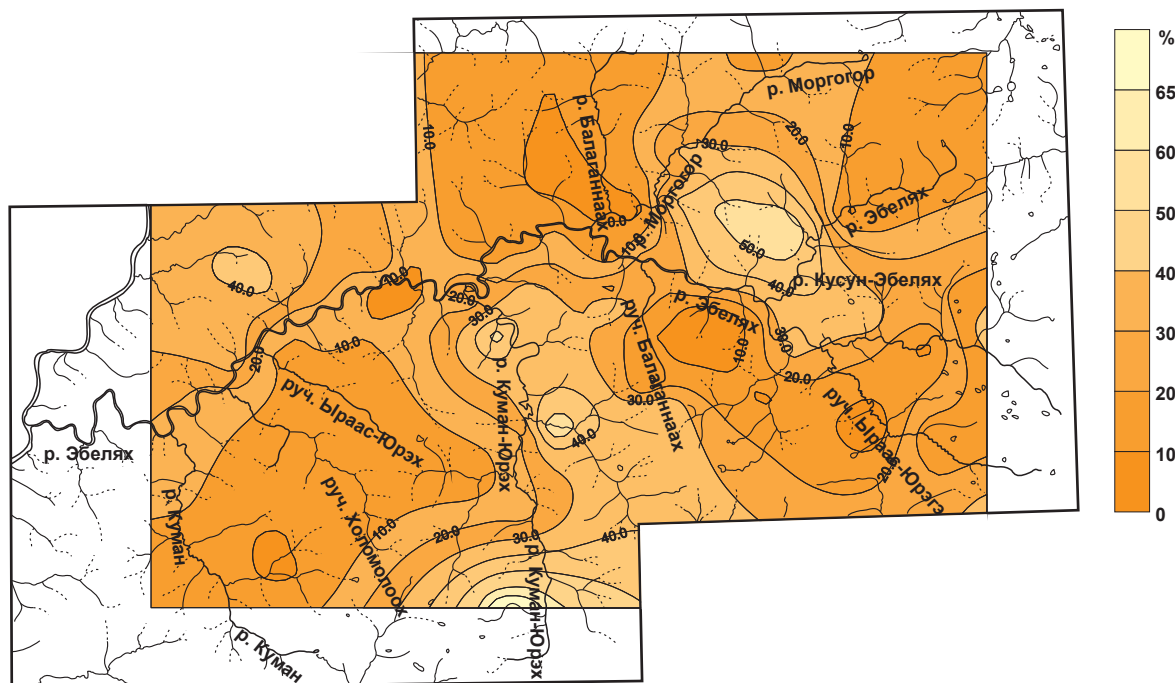


Рис. 6. Распределение значений содержания лимонита на территории Эбеляхского алмазоносного района
Fig. 6. Distribution of limonite content values on the territory of the Ebelyakhskiy diamond region

Результаты

По итогам анализа было получено следующее.

1. На большей части территории от реки Куман-Юрэх до реки Моргогор, а также в области среднего течения реки Куман значения энтропийного поля близятся к 90—100%, т. е. минералогическое поле малоинформативно, поскольку представлено содержаниями определяемых минералов в шлихе, близкими к фоновым. Важно отметить, что на данных участках в местах находок алмазов энтропия имеет в основном повышенные значения, что свидетельствует о наименьшей упорядоченности минеральных ассоциаций аллювиальных отложений.

2. Повышение значений энтропии на большей части исследуемой территории характерно для долин крупных рек. Это можно объяснить тем, что в процессе смешения и переотложения материала минеральные ассоциации становились все менее информативными, а значения содержаний минералов приближались к фоновым. Полученные результаты совпадают с таковыми по Мало-Ботубобинскому району [36]; таким образом, подтверждается правомерность предположения о существовании палеодолин в областях повышенных значений энтропии.

3. Внешние контуры зон энтропийных полей в общих чертах повторяют очертания ореола повышенных содержаний альмандин и лимонита. Как видно из рис. 5, распределение альмандин по исследуемой площади имеет следующие закономерности. Пониженные значения альмандин приурочены к бассейнам малых притоков реки Эбелях, тогда как повышенные значения характер-

ны для бассейнов более крупных притоков. Распределение лимонита характеризуется областями повышенных значений его содержания в бассейне реки Куман-Юрэх и в междуречье Моргогор-Эбелях (см. рис. 6). Необходимо также отметить, что повышенные содержания алмазов тяготеют к областям средних и повышенных содержаний альмандин и средних и пониженных содержаний лимонита. Это позволяет рассматривать альмандин и лимонит как наиболее информативные минералы в структуре состава минеральных полей. Распределение значений энтропийного поля, отражающее степень информативности минерального поля, показано на рис. 4. Сравнение распределения энтропии с распределением содержаний минералов в шлихах показало, что из 21 минерала (рутил, циркон, апатит, сфен, анатаз, хлорит, шпинель, турмалин, хромит, дистен, ставролит, лейкоксен, пирит, лимонит, ильменит, роговая обманка,grossуляр, андрадит, эпидот, альмандин, магнетит) только для альмандин и лимонита характерно совпадение картины их распределения с аномалиями энтропийного поля.

В целом можно сделать вывод, что для изученной площади энтропийные поля со значениями уровня поля менее 46% соответствуют отдельным областям, нередко характеризующимся находками алмазов. Видно также, что внешний контур аномального энтропийного поля в общих чертах повторяет очертания ореола повышенных содержаний альмандин и лимонита в шлихах, что позволяет считать последние информативными минералами.

Таким образом, методом энтропии было выявлено, что области пониженных значений энтропии характеризуют области наиболее упорядоченных минеральных ассоциаций. Поэтому можно предположить, что в Эбеляхском алмазоносном районе, в котором отсутствуют известные алмазоносные промежуточные коллекторы и источник алмазов не найден, подобные области могут быть интерпретированы как участки распространения промежуточных коллекторов алмазов.

Работа проведена при поддержке государственного задания по программе № FMMN-2021-0005 в ИС ГЗ, регистрационный № ЕГИСУ НИОКТР 121041500227-9 («Металлогения вулканогенных и складчатых орогенных поясов. Минеральные системы месторождений стратегических видов минерального сырья. Сравнение российских и мировых примеров»).

Литература

1. Трофимов В. С. Геология месторождений природных алмазов. — М.: Недра, 1980. — 304 с.
2. Прокопчук Б. И. Зональность и распределение алмазных россыпей на древних платформах // ДАН СССР. — 1973. — Т. 212, № 5. — С. 1188—1191.
3. Константиновский А. А. Ископаемые россыпи золота и алмазов в конгломератах // Совет. геология. — 1986. — № 1. — С. 53—61.
4. Almeida R. Brazilian diamond at Diamantina // Rocks and Minerals. — 1968. — Vol. 43. — P. 3—7.
5. Carter J. D. Diamond exploration in Western Australia // Geol. Surv. West. Austr. Annu. Rt. — 1973. — № 19. — P. 171—179.
6. Grantham D. R. The diamond deposits of Panna, Central India // Industrial Diamond Rev. — 1964. — Vol. 24, № 278. — P. 30—53.
7. Россыпные месторождения России и других стран СНГ / Отв. ред. Н. П. Лаверов и Н. Г. Патык-Кара. — М.: Науч. мир, 1997. — 479 с.
8. Файнштейн Г. Х. Некоторые вопросы теории осадочных коллекторов алмазов // Совет. геология. — 1980. — № 7. — С. 12—22.
9. Константиновский А. А. Палеороссыпи в эволюции осадочной оболочки континентов. — М.: Науч. мир, 2000. — 228 с.
10. Прокопчук Б. И., Левин В. И., Метелкина М. П., Шофман И. Л. Древний карст и его россыпная минерация. — М.: Недра, 1985. — 175 с.
11. Месторождения алмазов СССР: В 2 т. / Под. ред. Б. М. Зубарева. — М., 1984.
12. Метелкина М. П., Прокопчук Б. И., Суходольская О. В., Францессон Е. В. Докембрийские алмазоносные формации мира. — М.: Недра, 1976. — 134 с.
13. Иконников Н. Н. Россыпные продуктивные формации осадочного чехла Русской плиты // VIII Сочинение по геологии россыпей (связь россыпей с коренными источниками, россыпеобразующие формации щитов и платформ): Тез. докл. — Киев, 1987. — С. 24.
14. Граханов С. А., Маланин Ю. А., Павлов В. И. и др. Рэтские россыпи алмазов Сибири // Геология и геофизика. — 2010. — Т. 51, № 1. — С. 160—170.
15. Граханов С. А., Смелов А. П., Помазанский Б. С., Егоров К. Н. Алмазоносные юрские отложения северо-востока Сибирской платформы // Отечеств. геология. — 2013. — № 5. — С. 73—80.
16. Похиленко Н. П., Афанасьев В. П., Агашев А. М. Перспективы коренной алмазоносности арктических территорий Сибирской платформы // Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов АК «АЛРОСА»: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии: Материалы V полевого научно-практического семинара / Акционер. компания «АЛРОСА» (ПАО). — [Б. м.], 2015. — С. 158—160.
17. Соболев Н. В., Соболев А. В., Томиленко А. А. Перспективы поисков алмазоносных кимберлитов в северо-восточной части Сибирской платформы // Геология и геофизика. — 2018. — Т. 59, № 10. — С. 1701—1719.
18. Нестеренко Г. В. Происхождение россыпных месторождений. — Новосибирск: Наука, 1977. — 312 с.
19. Веклич М. Ф. Основные категории россыпей // Проблемы геологии россыпей. — Магадан, 1979. — С. 25—29.
20. Константиновский А. А. Эпохи формирования алмазных россыпей в докембрии и фанерозое // Литология и полез. ископаемые. — 2003. — № 6. — С. 622—640.
21. Природные модели алмазных россыпей в конгломератах / Сост. А. А. Константиновский, В. И. Левин, С. В. Пиотровский. — М.: Недра, 1984. — 133 с.
22. Подвысоцкий В. Т. Терригенные алмазоносные формации Сибирской платформы. — Якутск: ЯФ изд-ва СО РАН, 2000. — 332 с.
23. Воскресенский С. С. Геоморфология россыпей. — М.: Изд-во МГУ, 1985. — 208 с.
24. Самданов Д. А., Афанасьев В. П., Тычков Н. С., Похиленко Н. П. Минералогическое районирование алмазоносных территорий: опыт применения парагенетического анализа гранатов из кимберлитов // Докл. Акад. наук. — 2016. — Т. 467, № 2. — С. 192—195.
25. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Зуев В. М. История алмаза. — М.: Недра, 1997. — 601 с.
26. Афанасьев В. П., Лобанов С. С., Похиленко Н. П. и др. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. — 2011. — Т. 52, № 3. — С. 335—353.
27. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Лобанов С. С. Россыпная алмазоносность Сибирской платформы: возрастные уровни и возможные источники питания // Геология руд. месторождений. — 2011. — Т. 53, № 6. — С. 538—542.
28. Минорин В. Е. Прогнозно-поисковые модели алмазоносных россыпей России / Под ред. А. И. Кривцова. — М.: ЦНИГРИ, 2001. — 117 с.
29. Быховский Л. З., Спорыхина Л. В. Россыпные месторождения в сырьевой базе и добыче полезных

- ископаемых // Минер. ресурсы России. Экономика и управление. — 2013. — № 6. — С. 6—17.
30. Егорова Е. О., Афанасьев В. П., Самданов Д. А. Закономерности транспортировки индикаторных минералов при формировании механических ореолов рассеяния // Руды и металлы. — 2013. — № 6. — С. 35—39.
31. Афанасьев В. П. Миграционные свойства индикаторных минералов кимберлитов в связи с прогнозированием месторождений алмазов // Руды и металлы. — 2014. — № 1. — С. 43—48.
32. Шур В. И., Патык-Кара Н. Г. Минеральные ассоциации кайнозойских отложений оловорудных районов Восточной Якутии // Литология и полезные ископаемые. — 1983. — № 5. — С. 39—46.
33. Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. Статистический анализ данных на компьютере. — М.: Инфра-М, 1998. — 520 с.
34. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии: В 2 кн. — М.: Недра, 1990. — 319 с.
35. Лукашев К. И., Лукашев И. К. Геохимические поиски элементов в зоне гипергенеза. Теоретические основы геохимических поисков: В 2 кн. — Кн. 1. — Минск: Наука и техника, 1967. — 380 с.
36. Бочнева А. А., Патык-Кара Н. Г. Структура минеральных ассоциаций как критерий распознавания алмазоносных промежуточных коллекторов // Геоинформатика. — 2005. — № 3. — С. 31—38.

Информация об авторах

Бочнева Анна Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), e-mail: bochneva@mail.ru.

Лаломов Александр Валерианович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., д. 35), профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, д. 15), e-mail: lalomov@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Бочнева А. А., Лаломов А. В. К вопросу об источниках россыпных алмазов Эбеляхского района (Арктическая зона России) // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12, № 2. — С. 235—245. — DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-235-245.

ON THE ISSUE OF THE SOURCES OF ALLUVIAL DIAMONDS OF THE EBELYAKHSKY REGION (ARCTIC ZONE OF RUSSIA)

Bochneva, A. A.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Science (IGEM RAS) (Moscow, Russian Federation)

Lalomov, A. V.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS (Moscow, Russian Federation), Perm State University (Perm, Russian Federation)

The article was received on September 11, 2021

Abstract

The work considers the identification of potentially diamond areas based on the geological and statistical analysis of data from heavy mineral concentrate sampling of alluvial deposits of the Ebelyakh River and its confluents. The researchers compress the information of the diamond placer mineral field of the Ebelyakh River and identify the main components based on information entropy (K. Shannon). The spatial heterogeneity of polymineral fields, revealed using the entropy method, allow outlining areas of possible localization of intermediate hosts (or their former development) in the Ebelyakhskiy region.

Keywords: Arctic region, placers, diamonds, geological and statistical methods.

The work was supported by the state assignment under the program No. FMMN-2021-0005 in the IS GZ, Registration No. EGISU R & D 121041500227-9 ("Metallogeny of volcanogenic and folded orogenic belts. Mineral systems of deposits of strategic types of mineral raw materials. Comparison of Russian and world examples").

References

1. Trofimov V. S. Geology of natural diamond deposits. Moscow, Nedra, 1980. 304 p. (In Russian).
2. Prokopchuk B. I. Zonality and distribution of diamond placers on ancient platforms. DAN SSSR, 1973, vol. 212, no. 5. pp. 1188—1191. (In Russian).
3. Konstantinovskiy A. A. Fossil placers of gold and diamonds in conglomerates. Soviet geology, 1986, no. 1, pp. 53—61. (In Russian).
4. Almeida R. Brazilian diamond at Diamantina. Rocks and Minerals, 1968, vol. 43, pp. 3—7.
5. Carter J. D. Diamond exploration in Western Australia. Geol. Surv. West. Austr. Annu. Rt., 1973, no. 19, pp. 171—179.
6. Grantham D. R. The diamond deposits of Panna, Central India. Industrial Diamond Rev., 1964, vol. 24, no. 278, pp. 30—53.
7. Placer deposits of Russia and other CIS countries. Ed. by N. P. Laverov and N. G. Patyk-Kara. Moscow, Scientific World, 1997, 479 p. (In Russian).
8. Feinstein G. H. Some questions of the theory of sedimentary hosts of diamonds. Soviet geology, 1980, no. 7, pp. 12—22. (In Russian).
9. Konstantinovskiy A. A. Paleoplacers in the evolution of the sedimentary shell of continents. Moscow, Scientific World, 2000, 228 p. (In Russian).
10. Prokopchuk B. I., Levin V. I., Metelkina M. P., Shofman I. L. Ancient karst and its placer minerageny. Moscow, Nedra, 1985, 175 p. (In Russian).
11. Diamond deposits of the USSR. In 2 vols. Ed. by B. M. Zubarev. Moscow, 1984. (In Russian).
12. Metelkina M. P., Prokopchuk B. I., Sukhodol'skaya O. V., Frantsesson E. V. Precambrian diamond-bearing formations of the world. Moscow, Nedra, 1976, 134 p. (In Russian).
13. Ikonnikov N. N. Placer productive formations of the sedimentary cover of the Russian platform. VIII Meeting on the geology of placers (connection of placers with indigenous sources, placer-forming formations of shields and platforms). Tez. dokl. Kiev, 1987, p. 24. (In Russian).
14. Grakhanov S. A., Malanin Yu. A., Pavlov V. I., Afanasyev V. P., Pokhilenko N. P., Gerasimchuk A. V., Lipashova A. N. The Rhaetian placers of diamonds of Siberia. Geology and Geophysics, 2010, vol. 51, no. 1, pp. 160—170. (In Russian).
15. Grakhanov S. A., Smelov A. P., Pomazansky B. S., Egorov K. N. Diamond-bearing Jurassic deposits of the north-east of the Siberian platform. Native Geology, 2013, no. 5, pp. 73—80. (In Russian).
16. Pokhilenko N. P., Afanasyev V. P., Agashev A. M. Prospects for the primary diamond-bearing potential of the Arctic territories of the Siberian platform. In the collection: Geological support of the mineral resource base of ALROSA diamonds: problems, solutions, innovative developments and technologies. Materials of the V field scientific and practical seminar. Joint-stock company "ALROSA" (PJSC). [S. l.], 2015, pp. 158—160. (In Russian).
17. Sobolev N. V., Sobolev A. V., Tomilenko A. A. Prospects of explorations for diamond-bearing kimberlites in the north-eastern part of the Siberian platform. Geology and Geophysics, 2018, vol. 59, no. 10, pp. 1701—1719. (In Russian).
18. Nesterenko G. V. The origin of placer deposits. Novosibirsk, Nauka, 1977, 312 p. (In Russian).
19. Veklich M. F. Main types of placers. Problems of geology of placers. Magadan, 1979, pp. 25—29. (In Russian).
20. Konstantinovskiy A. A. Epochs of the formation of diamond placers in the Precambrian and Phanerozoic. Lithology and mineral resources, 2003, no. 6, pp. 622—640. (In Russian).
21. Natural models of diamond placers in conglomerates. Comp. A. A. Konstantinovskiy, V. I. Levin, S. V. Pitrovskiy. Moscow, Nedra, 1984, 133 p. (In Russian).
22. Podvysotsky V. T. Terrigenous diamond-bearing formations of the Siberian platform. Yakutsk, YAF Publ. House of the SB RAS, 2000, 332 p. (In Russian).
23. Voskresensky S. S. Geomorphology of placers. Moscow, Publ. house of Moscow State Univ., 1985, 208 p. (In Russian).
24. Samdanov D. A., Afanasyev V. P., Tychkov N. S., Pokhilenko N. P. Mineralogical zoning of diamond-bearing territories: experience of using paragenetic analysis of garnets from kimberlites. Reports of the Academy of Sciences, 2016, vol. 467, no. 2, p. 192—195. (In Russian).
25. Kharkiv A. D., Zinchuk N. N., Zuev V. M. The history of diamond. Moscow, Nedra, 1997, 601 p. (In Russian).
26. Afanasyev V. P., Lobanov S. S., Pokhilenko N. P., Koptil V. I., Mityukhin S. I., Gerasimchuk A. V., Pomazansky B. S., Gorev N. I. Polygenesis of diamonds of the Siberian platform. Geology and Geophysics, 2011, vol. 52, no. 3, pp. 335—353. (In Russian).
27. Afanasyev V. P., Pokhilenko N. P., Lobanov S. S. Placer diamond content of the Siberian platform: age levels and possible sources. Geology of ore deposits, 2011, vol. 53, no. 6, pp. 538—542. (In Russian).
28. Minorin V. E. Predictive and search models of diamond-bearing placers in Russia. Ed. A. I. Krivtsov. Moscow, TsNIGRI, 2001, 117 p. (In Russian).
29. Bykhovskiy L. Z., Sporykhina L. V. Alluvial deposits in the raw material base and mineral extraction. Min-

- eral resources of Russia, Economics and management, 2013, no. 6, pp. 6—17. (In Russian).
30. Egorova E. O., Afanasyev V. P., Samdanov D. A. Regularities of transportation of indicator minerals during the formation of mechanical dispersion halos. Ores and metals, 2013, no. 6, pp. 35—39. (In Russian).
31. Afanasyev V. P. Migration properties of indicator minerals of kimberlites in connection with the prediction of diamond deposits. Ores and metals, 2014, no. 1, pp. 43—48. (In Russian).
32. Shur V. I., Patyk-Kara N. G. Mineral associations of Cenozoic deposits of tin-ore regions of Eastern Yakutia. Lithology and mineral resource, 1983, no. 5. pp. 39—46. (In Russian).
33. Tyurin Yu. N., Makarov A. A. Statistical analysis of data on a computer. Moscow, Infra-Moscow, 1998, 520 p. (In Russian).
34. Davis J. S. Statistical data analysis in geology. In 2 b. Moscow, Nedra, 1990, 319 p. (In Russian).
35. Lukashev K. I., Lukashev I. K. Geochemical searches of elements in the hypergenesis zone. Theoretical foundations of geochemical prospecting. In the 2 b. B. 1. Minsk, Science and Technology, 1967, 380 p. (In Russian).
36. Bochneva A. A., Patyk-Kara N. G. The structure of mineral associations as a criteria for recognizing diamond-bearing intermediate hosts. Geoinformatika, 2005, no. 3, pp. 31—38. (In Russian).

Information about the authors

Bochneva, Anna Alexandrovna, PhD of Geology and Mineralogy, Senior Researcher, Institute of Ore Deposit Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS (35, Staromonetny Lane, Moscow, Russia, 119017), e-mail: bochneva@mail.ru.

Lalomov, Alexander Valerianovich, Doctor of Geology and Mineralogy, Leading Researcher, Institute of Ore Deposit Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS (35, Staromonetny Lane, Moscow, Russia, 119017), Professor, Perm State University (15, st. Bukireva, Perm, Russia, 614068), e-mail: lalomov@mail.ru.

Bibliographic description of the article

Bochneva, A. A., Lalomov, A. V. On the issue of the sources of alluvial diamonds of the Ebelyakhsky region (Arctic zone of Russia). *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2022, vol. 12, no. 2, pp. 235—245. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-2-235-245.

© Bochneva A. A., Lalomov A. V., 2022