

А.А. БОЧНЕВА

## ЭНТРОПИЙНОЕ ПОЛЕ МИНЕРАЛОВ РОССЫПЕЙ ЭБЕЛЯХСКОГО АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА

Изложены результаты статистического анализа данных шлихоминералогического опробования аллювиальных отложений р. Эбелях и ее притоков. Используются математические методы сжатия путем выбора из исходной информации наиболее информативных признаков. Построены шлихоминералогические схемы распределения содержаний минералов. Произведено сжатие информации минерального поля алмазоносной россыпи р. Эбелях, выделены главные по информативности компоненты на основе информационной энтропии.

Данные минералогического анализа аллювия рек, полученные при шлиховой съемке и поисках, являются важнейшим источником информации о минеральном составе пород, развитых в области питания россыпей. В [1] введено понятие «терригенно-минералогическая провинция» для определения областей, поставляющих в аллювий определенные комплексы минералов, характеризующиеся высокой информативностью. Поскольку они имеют сложный поликомпонентный состав и включают минералы, поступавшие из разных источников и преобразованные в процессе миграции, качественное сопоставление подобных данных зачастую не позволяет точно установить источники сноса и эволюцию минеральных парагенезисов. Это заставляет исследователей использовать математические методы сжатия многофакторной минералогической информации [2, 6, 7].

При анализе алмазоносных площадей следует также учитывать, что высокая устойчивость и миграционная способность алмаза [3] в несколько раз выше таковой его генетических спутников (пироп, пикроильменит, хромшпинелиды, хромдиопсид), что приводит к вхождению алмаза в состав транзитных минеральных ассоциаций, образованных устойчивыми минералами, несущими информацию о строении бассейна питания в целом, в том числе об осадочных породах, которые могли служить промежуточными коллекторами алмаза [5]. Важно отметить, что в процессе переноса и формирования парагенезисов кластогенных минералов происходит, с одной стороны, их «очищение» от малоустойчивых минералов, с другой, пополнение минералами, поступающими из различных частей бассейна, часто путем многократного переотложения [3].

С учетом таких особенностей при анализе изученного объекта (россыпь р. Эбелях) матрица данных шлихоминералогического анализа сокращалась с помощью статистических методов без потери важной информации.

Долинная аллювиальная россыпь р. Эбелях — крупнейшее россыпное месторождение алмазов мирового класса. Она расположена в северо-восточной части Сибирской платформы, в пределах

Анабарского алмазоносного района, в долине правого притока р. Анабар — р. Эбелях. Ее долина выработана в карбонатных породах среднего кембрия, которые представлены доломитами анабарской свиты и известняками джахтарского горизонта [5]. В строении бассейна питания россыпи участвуют карбонатные породы среднего кембрия, отложения мела, ниже-верхнечетвертичные отложения пяти надпойменных террас, средне-верхнечетвертичные образования погребенных долин, верхнечетвертичные современные делювиально-солифлюкционные отложения склонов и современные осадки русла низкой и высокой пойм.

Долинная россыпь р. Эбелях прослежена по всей длине реки на расстояние  $\approx 100$  км, однако коренные источники алмазов Эбеляхского россыпного поля окончательно не установлены. В настоящее время севернее поля известны две кимберлитовые трубки. Алмазы (содержание до  $0,4$  кар/м<sup>3</sup>) обнаружены в мезо-кайнозойских промежуточных коллекторах, в каменноугольных и пермских конгломератах на соседних территориях.

Поэтому предполагается, что россыпь сформирована за счет размыва многочисленных промежуточных коллекторов позднепалеозойского и мезо-кайнозойского возрастов, расположенных в пределах сводового поднятия и его склонов на древней поверхности выравнивания с реликтами кор химического выветривания. Все это обусловило значительную (несколько километров) протяженность россыпи и алмазоносность аллювия долины р. Эбелях и ее притоков.

Алмазоносность россыпи достаточно высокая, но неравномерная, концентрация от  $0,3$  до  $3$  кар/м<sup>3</sup>, максимальные количества свойственны западинам рельефа плотика [5]. Фиксируется слабая, но значимая положительная корреляционная связь содержания алмазов с мощностью аллювия. Средняя масса кристаллов в общем стабильная,  $15$ – $20$  мг, алмазы сортированы по крупности, отмечен механический износ [5]. Преобладают ромбододекаэдры V разновидности, двойники, сростки, додекаэдры, присутствуют алмазы типа карбонадо. Россыпи притоков р. Эбелях сформированы в аллювии днищ долин мелких речек, ручьев Гусиный, Ыра-

ас-Юрях, Холомолох и других в пределах Эбеляхского сводового поднятия, его склонов и образуют одноименное россыпное поле.

В составе аллювия преобладают местные породы (доломиты, редко долериты); количество кварцитов, кремней и других пород обычно не превышает 3%. Среди минералов тяжелой фракции распространены алмадин (до 60%), лимонит (8,2%), ильменит (5,8%), пироксен (4,9%), пикроильменит (4,5%), реже пироп (до 3,5%), циркон (знаки), эпидот (знаки), рутил (единичные знаки)[5].

Поскольку минеральные ассоциации аллювия рек, дренирующих области сноса, представляют собой поликомпонентные системы, то для интерпретации данных шлихоминералогического анализа, при котором обычно определяется более 40 минералов, целесообразно применять различные способы сжатия минералогической информации. Один из таких методов — информационной энтропии (К. Шеннона), показавший положительные результаты, в частности, при прогнозе эндогенной оловянно-вольфрамовой минерализации и россыпей оловорудных районов Восточной Якутии [7].

Показатель энтропии рассчитывался по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^N P_i \log P_i,$$

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

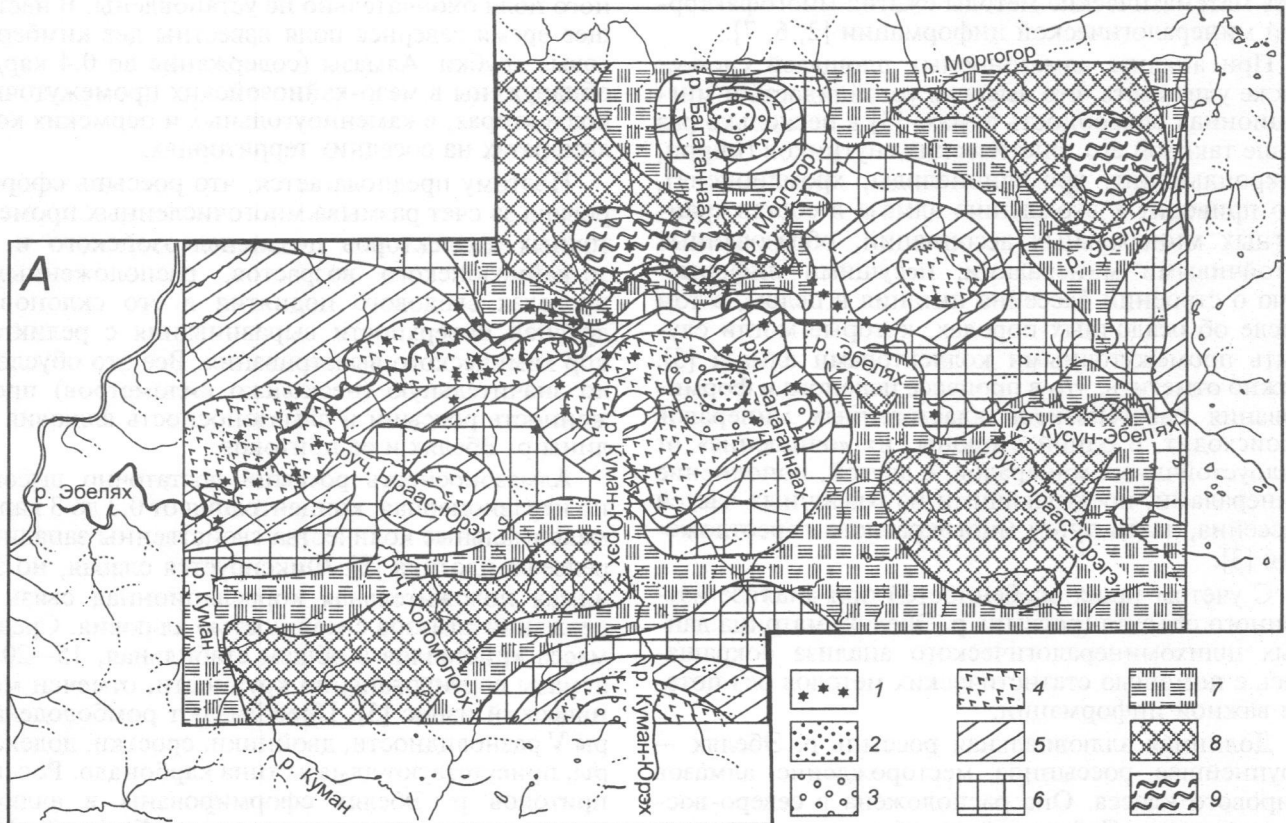
$$P_i = \frac{C_i}{C_{\phi i} \sum_{i=1}^N C_i C_{\phi i}},$$

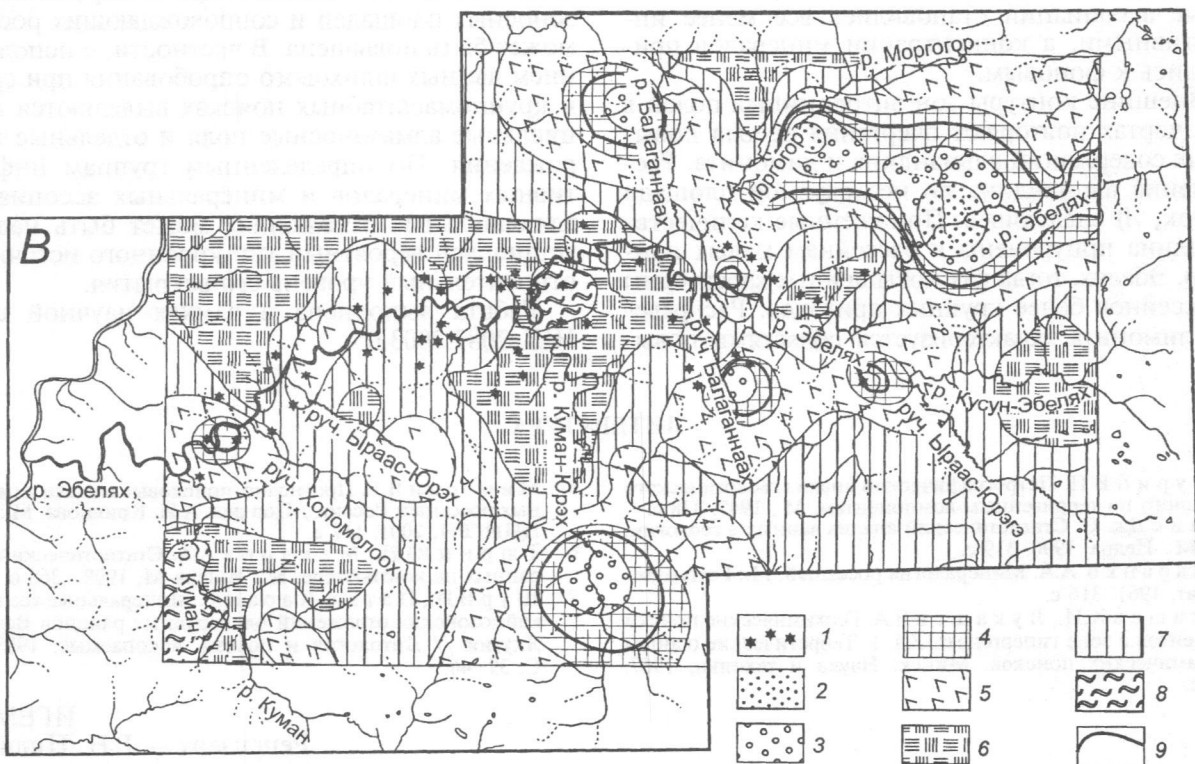
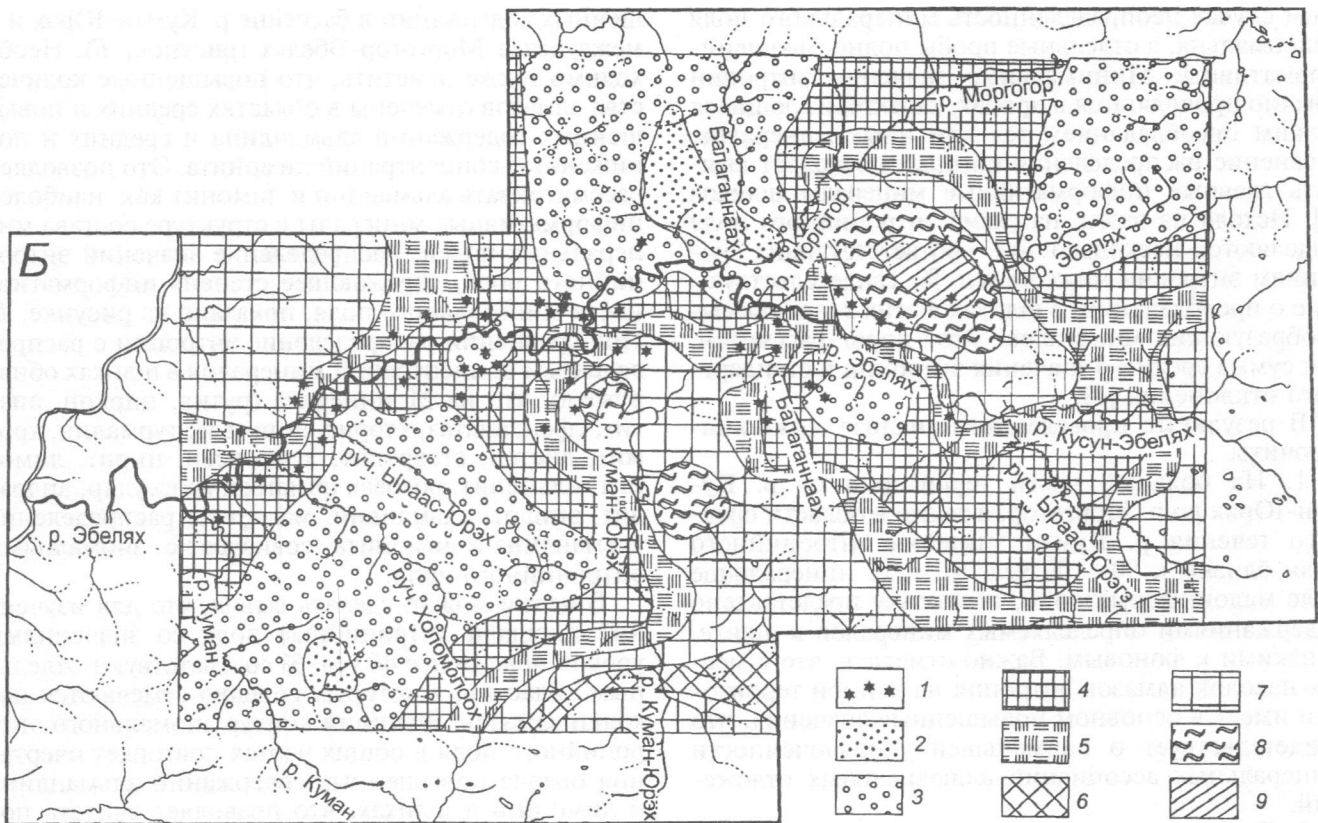
где  $C_i$  — содержания минералов в пробе, а  $C_{\phi i}$  — их фоновые значения [6].

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 [2]. Определенная числовая характеристика этого показателя позволяет картировать распределение минералов по площади.

По результатам использования энтропии на территории исследуемого района составлены шлихоминералогические карты (рисунок, А, Б), а также карта энтропийного поля (рисунок, В). Цель построения этих карт — оконтуривание границ распространения ореолов полезных компонентов и выделение главных индикаторных минералов шлихов.

Энтропийная характеристика минерального состава россыпей может рассматриваться в качестве суммирующего показателя аномальности минерального 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 до 92 усл. %. Аномальность минерального поля в пределах безрудных площадей проявляется в минимальной степени, энтропия их минерального состава стремится к 100 усл. %. Такими значениями энтропии могли бы характеризоваться шлиховые пробы, в которых содержание всех определяемых минералов точно соответствует фоновым содержаниям. В





Распределение на территории Эбеляхского алмазоносного района: А, Б, г/м<sup>3</sup> — минералов: 1 — точки отбора проб с количеством кристаллов алмаза (от 1 до 53); А — алмазидин: 2 — <20; 3 — 20–30; 4 — 30–40; 5 — 40–50; 6 — 50–60; 7 — 60–70; 8 — 70–80; 9 — 80–90; Б — лимонит: 2 — 0; 3 — 0–10; 4 — 10–20; 5 — 20–30; 6 — 30–40; 7 — 40–50; 8 — 50–60; В — значений энтропийного поля (усл. %): 2 — <30; 3 — 30–40; 4 — 40–50; 5 — 50–60; 6 — 60–70; 7 — 70–80; 8 — >80; 9 — изолинии, равные 46 усл. % энтропии

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 [7]. Исходя из этого, на схеме энтропийного поля выделяются несколько зон, соответствующих значениям энтропии ниже 46 усл. %, свидетельствующие о преобладании в шлихах в этих зонах россыпеобразующих минералов. Этот порог рассчитан, как сумма среднего значения энтропии и стандартного отклонения [4].

В результате проведенного анализа можно заключить:

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

2. Повышение значений энтропии на большей части исследуемой территории типично для долин крупных рек. Это можно объяснить тем, что в процессе смещения и переотложения материала минеральные ассоциации становились все менее информативными, а концентрации минералов приближались к фоновым.

3. Внешние контуры зон энтропийных полей в общих чертах повторяют очертания ореола повышенных содержаний алмандин и лимонита. Распределение алмандин по исследуемой площади (рисунок, А) следующее. Пониженные количества алмандин приурочены к бассейнам малых притоков р. Эбелях, тогда как повышенные характерны для бассейнов более крупных притоков. Распределение лимонита характеризуется областями повы-

шенных содержаний в бассейне р. Куман-Юрх и в междуречье Моргогор-Эбелях (рисунок, Б). Необходимо также отметить, что повышенные количества алмазов отмечены в областях средних и повышенных содержаний алмандин и средних и пониженных концентраций лимонита. Это позволяет рассматривать алмандин и лимонит как наиболее информативные минералы в структуре состава минеральных полей. Распределение значений энтропийного поля, отражающее степень информативности минерального поля, показано на рисунке, В. При сравнении распределение энтропии с распределением концентраций минералов в шлихах обнаружено, что из 21 минерала (рутил, циркон, апатит, сфен, анатаз, хлорит, шпинель, турмалин, хромит, дистен, ставролит, лейкоксен, пирит, лимонит, ильменит, роговая обманка, гроссуляр, андрадит, эпидот, алмандин, магнетит) распределение алмандин и лимонита совпадает с аномалиями энтропийного поля.

В целом можно сделать вывод, что для изученной площади энтропийные поля со значениями уровня поля менее 46 усл. % соответствуют отдельным областям, в которых нередко отмечаются находки алмазов. Внешний контур аномального энтропийного поля в общих чертах повторяет очертания ореола повышенных содержаний алмандин и лимонита в шлихах, что позволяет считать последние информативными минералами.

Итак, с использованием данной методики информативность шлихо-минералогических исследований для целей поисков и прогнозирования алмазоносных площадей и сопровождающих россыпей может быть повышена. В частности, с использованием данных шлихового опробования при средних и крупномасштабных поисках выделяются потенциальные алмазоносные поля и отдельные месторождения. По определенным группам информативных минералов и минеральных ассоциаций в аллювиальных отложениях может быть надежнее установлен вероятный тип коренного источника и относительный уровень его вскрытия.

Работа выполнена в рамках научной школы НШ-2082.2003.05.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б а т у р и н В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М., 1947. 338 с.
2. Д э в и с Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Т.1. М.: Недра, 1990. 319 с.
3. К у х а р е н к о А.А. Минералогия россыпей. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 316 с.
4. Л у к а ш е в К.И., Л у к а ш е в В.А. Геохимические поиски элементов в зоне гипергенеза. Кн. 1. Теоретические основы геохимических поисков. Минск: Наука и техника, 1967. 380 с.
5. М и н о р и н В.Е. Прогнозно-поисковые модели алмазоносных россыпей России / Под ред. А.И. Кривцова. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 2001. 117 с.
6. Т ю р и н Ю.Н., М а к а р о в А.А. Статистический анализ данных на компьютере. М.: Инфра-М, 1998. 368 с.
7. Ш у р В.И., П а т ы к-К а р а Н.Г. Минеральные ассоциации кайнозойских отложений оловорудных районов Восточной Якутии // Литология и полезн. ископаемые. 1983. № 5. С. 39–46.

ИГЕМ РАН  
Рецензент — Г.Н. Пилипенко