

Б.М. Осовецкий

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

РОЛЬ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СОСТАВЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОГО КОМПЛЕКСА НА РОССЫПНЫЕ АЛМАЗЫ УРАЛА

Значение минералогических исследований как составной части прогнозно-поискового комплекса на россыпные алмазы Урала заключается в использовании их результатов при решении следующих задач: 1) минералогическом контроле алмазоносности россыпи, 2) оценке степени разубоживания россыпных отложений местными породами, 3) целесообразности проведения разведочных работ на данном объекте.

Ключевые слова: алмаз, поиски, россыпи, минералогия, Урал.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2025.122

Открытие кайнозойских россыпей алмазов на территории западного склона Урала и результаты детальных исследований вещественного состава их отложений дают обширную информацию о процессах россыпеобразования и особенностях данного алмазоносного района. В настоящее время открываются новые возможности для продолжения поисково-разведочных работ на россыпи алмазов в других районах западного склона Урала [7, 8]. В разрабатываемом с этой целью прогнозно-поисковом комплексе работ на россыпные алмазы Урала специальный раздел будет посвящен минералогическим исследованиям.

Следует отметить, что изучение минерального состава отложений здесь и раньше было обязательным при поисковых исследованиях на россыпи алмазов. Однако, получаемая при этом информация учитывалась в недостаточной степени.

Среди проблем, которые считались наиболее актуальными при рассмотрении данных минералогических исследований, одной из первоочередных являлось обнаружение минералов-спутников как индикаторов близости коренного источника алмазов. Действительно, такие находки были не редкостью и им придавалось важное поисковое значение. В рассматриваемом в настоящее время проекте прогнозно-поискового комплекса на россыпные алмазы западного Урала эта задача как обязательная исключается в связи с окончательным решением вопроса об удаленности

коренных источников уральских россыпных алмазов. Однако, в качестве вспомогательной она остается, и даже может иметь определенное значение при оценке степени алмазоносности россыпей проявления на поисковой стадии.

Ранее вполне приемлемым считалось применение методики выделения тяжелой фракции отложений путем промывки пробы в лотке с получением «серого» шлиха. Однако такой способ выделения тяжелых минералов в значительной степени ограничивал реальные возможности минералогических методов. В рассматриваемом проекте прогнозно-поискового комплекса отмывке шлиха в лотке отводится сугубо вспомогательная роль. Она рекомендуется только для решения некоторых вспомогательных задач (например, обнаружения минералов-спутников как индикаторов повышенной алмазоносности россыпи).

Наконец, изучение минерального состава тяжелой фракции россыпных отложений нередко проводилось уже в ходе разведочных работ. Нами предлагается выполнять минералогические исследования на стадии поисков или даже в процессе специальных тематических исследований. При этом возможна ситуация, когда из числа нескольких полигонов, на которых было проведено поисковое бурение, должен быть выбран только один для постановки разведочных работ, и минералогические данные при этом могут иметь определяющее значение.

Целью настоящей статьи является рассмотрение основных направлений и методов использования минералогических исследований в рамках разрабатываемого прогнозно-поискового комплекса работ на россыпные алмазы западного склона Урала.

При этом мы исходим из следующего основного поискового критерия: кайнозойские россыпи алмазов в палеодолинах рек на территории западного склона Урала образуются только в результате перемыва отложений промежуточного коллектора (такатинского или силурийского) [7]. После выбора подходящего участка на основе анализа геологического строения территории необходимо рассматривать роль многих других факторов, влияющих на формирование кайнозойских россыпей алмазов (динамики водного потока, неотектонической обстановки, геоморфологических факторов и др.). При этом одним из первых индикаторов, свидетельствующих о возрасте пород источника питания обломочного материала россыпи, является минеральный состав тяжелой фракции.

Минеральные ассоциации тяжелой фракции отложений палеозойских коллекторов алмазов. Обзор работ по исследованию минерального состава тяжелой фракции палеозойских алмазоносных отложений западного склона Урала, в первую очередь, позволяет сделать вывод о

существенном влиянии методики ее выделения на получаемые результаты. Почти все ранние исследования основывались на изучении состава шлихов. В частности, Н.Б.Бекасовой [1] для такатинских пород западного склона Урала было выделено 7 терригенно-минералогических провинций. При этом в составе шлихов постоянным и обычно преобладающим минералом являлся циркон. Кроме того, в переменных количествах обычно отмечались лейкоксен, рутил и турмалин. Аналогичные результаты получены и уральскими исследователями [9], если исключить указанные авторами оксиды железа, которые явно являются аутигенными.

Нами еще в 60-х годах прошлого века были выполнены методические работы с целью сравнения минерального состава тяжелой фракции такатинских отложений, полученного при отмывке шлиха и при разделении навески в бромформе [3]. В первом случае минеральная ассоциация оказалась цирконовой, во втором – лейкоксеновой. Лейкоксеновая минеральная ассоциация в тяжелой фракции такатинских отложений надежно доказана также Ю.Г.Пактовским [6].

В отличие от них, в алмазоносных силурийских отложениях минеральный состав тяжелой фракции, полученной после разделения навески в бромформе, характеризуется мономинеральной цирконовой ассоциацией [5].

Первоисточниками питания для обломочного материала аллювия как раннесилурийских, так и раннедевонских речных систем являлись древние (вероятно, докембрийские) коры выветривания, сформировавшиеся на кимберлитах и вмещающих докембрийских породах территории восточной части Волго-Уральского щита. В долинах этих рек происходила транспортировка алмазов в восточном направлении до побережья моря. Процессы дополнительной сортировки обломочного материала и обогащения его алмазами происходили на морском побережье за счет волновой деятельности или ветрами.

Различие минеральных ассоциаций в составе тяжелой фракции силурийских и такатинских отложений можно объяснить следующим образом. Речные системы в раннесилурийское время предположительно имели типичные признаки неразвитых эрозионных ложбин. Реки были относительно небольшими по протяженности, фации нечетко выраженными, сортировка обломочного материала по крупности и плотности проявлялась в крайне слабой степени. В результате, при переносе к морскому побережью состав тяжелой фракции отложений палеорек в основном соответствовал таковому в породах источников питания. Отсюда, в составе тяжелой фракции силурийских отложений циркон являлся преобладающим минералом.

В раннетакатинское время эрозионная деятельность на территории платформы значительно усилилась. Произошло заметное углубление речной сети, она получила более широкое распространение по площади. В результате эрозией были вскрыты новые кимберлитовые тела, в том числе многие располагались на значительном удалении от побережья моря. Отсюда, перенос обломочного материала в реках раннедевонского времени осуществлялся на значительно большие расстояния. При таком переносе происходила естественная сортировка тяжелых минералов по гидравлической крупности. В результате по мере переноса роль циркона как минерала, обладающего меньшей миграционной способностью, постепенно снижалась. Соответственно, преобладающим минералом в составе тяжелой фракции девонских отложений оказался лейкоксен. Определенное влияние на указанные процессы могло оказать различие климатической обстановки раннесилурийского и раннедевонского времени, которая обычно существенно влияет на характер речной деятельности и особенно эрозионных процессов.

Следствием описанной выше эволюции россыпеобразования могло также быть различие крупности алмазов в разновозрастных коллекторах. В частности, в отложениях силурийского коллектора алмазы должны быть крупнее, что унаследовали бы и образованные за счет их размыва кайнозойские россыпные отложения.

Минералогический контроль алмазоносности кайнозойских россыпей. Присутствие в тяжелой фракции кайнозойских речных отложений территории западного склона Урала минеральных ассоциаций с преобладанием циркона или лейкоксена является одним из поисковых критериев на алмазоносные россыпи. В отличие от них, при детальном изучении минерального состава тяжелой фракции современного аллювия западного склона Урала нами установлено почти повсеместное присутствие эпидотовой ассоциации, за исключением Косьвинской провинции (здесь она пироксеновая) [3].

Классическим примером являются результаты изучения минерального состава тяжелой фракции отложений Волынского месторождения, полученные еще в 70-х годах прошлого столетия сотрудниками Пермского университета. Исследования выполнены по методике с выделением тяжелой фракции в бромформе из класса частиц размером 0,25-0,1 мм [2].

В составе тяжелой фракции отложений этого месторождения преобладающими оказались минералы, являющиеся индикаторами размыва отложений *алмазоносного промежуточного коллектора* – такатинской свиты (табл. 1). С использованием представительного фактического материала

(пробы были отобраны из керна скважин трех разведочных линий, всего выполнено 25 детальных минералогических анализов) было установлено присутствие в тяжелой фракции россыпи циркон (14%) – турмалин (17%) – лейкоксеновой (46%) минеральной ассоциации (табл. 1).

Таблица 1

*Минеральный состав аллотигенной части тяжелой фракции
(0,25-0,1 мм) отложений Волынского месторождения, %*

РЛ	Лейко-ксен	Цир-кон	Турма-лин	Ана-таз	Иль-менит	Эпи-дот	Амфи-болы	Про-чие
130	44,1	16,4	16,4	3,9	6,8	2,5	2,1	6,0
126	46,2	7,4	16,1	2,5	6,2	3,5	5,5	7,8
118	47,4	18,3	19,2	5,3	0,9	1,0	0,5	6,9

Однако, в речных палеодолинах всегда в той или иной степени происходит разубоживание концентраций алмазов, поступивших из пород промежуточного коллектора, материалом местных неалмазоносных пород. Так, минералогические исследования в процессе разведочных работ на россыпи в Чикман-Нярском районе [2] показали сильное разубоживание обломочного материала речных отложений местными неалмазоносными породами. В результате, в тяжелой фракции преобладающим минералом оказался ильменит (35-58%), присутствовали пироксены (в отдельных прослоях до 50% и более), а также амфиболы (до 5% и более) и эпидот (до 6% и более). При этом минералогические индикаторы участия в формировании этой россыпи отложений такатинской свиты также присутствовали (содержание лейкоксена, циркона и турмалина - до 35%) (табл. 2). В ходе разведочных работ содержания алмазов в россыпи оказались некондиционными.

Таблица 2

*Минеральный состав аллотигенной части тяжелой фракции
0,25-0,1 мм отложений Чикман-Нярской депрессии (РЛ 161), %*

Гори-зонт	Иль-менит	Лейко-ксен	Пиро-ксены	Цир-кон	Турма-лин	Эпи-дот	Амфи-болы	Про-чие
1	34,9	13,1	33,2	3,6	3,4	4,0	4,3	3,0
2	52,2	18,3	4,3	8,2	3,7	2,8	1,2	7,8
3	48,2	22,2	4,6	8,1	5,3	2,3	1,9	6,8
4	57,6	18,4	0,6	10,7	3,9	2,1	0,5	2,9

Для отложений недавно открытой Сюзёвской россыпи [8] характерна лейкоксен-турмалин-цирконовая минеральная ассоциация. Хотя основным источником питания алмазоносного обломочного материала также являлись такатинские отложения, роль лейкоксена в тяжелой фракции оказалась подчиненной (табл. 3).

Таблица 3

*Минеральный состав аллотигенной части тяжелой фракции
0,25-0,1 мм отложений Сюзёвской россыпи, %*

Глубина, м	Лейко- ксен	Цир- кон	Турма- лин	Ана- таз	Иль- менит	Эпи- дот	Ав- гит	Про- чие
Скважина 39								
1-7	7,1	8,0	9,0	1,4	69,7	0,9	0,7	0,9
8-18	11,7	25,7	18,8	12,7	27,8	0,3	0,6	1,6
19-24	7,8	40,0	21,7	10,3	15,0	0,5	2,3	2,3
25-30	3,2	43,5	24,3	8,5	7,3	0,2	6,0	6,2
31-32	3,5	46,0	22,0	7,5	4,0	3,5	7,5	5,1
Скважина 45								
1-10	20,0	19,8	39,3	6,7	7,7	0,4	-	4,8
11-20	19,3	18,6	36,7	8,9	5,1	0,3	0,1	8,7
21-30	17,6	29,7	25,7	10,6	1,7	-	-	4,2
31-40	18,0	32,7	23,6	14,3	6,9	0,3	0,1	2,9
41-44	12,3	28,5	27,3	12,2	8,0	-	-	4,3

Сам факт открытия Сюзёвской россыпи на территории Чикман-Нярской депрессии, где предыдущие поисково-разведочные работы подтверждали присутствие алмазов и в то же время сильное разубоживание аллювия местными неалмазоносными породами, имеет важное прогнозно-поисковое значение.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что поисковым признаком на кайнозойские алмазоносные россыпи территории Западного Урала является присутствие минеральной ассоциации тяжелой фракции с преобладанием лейкоксена, циркона и турмалина.

Различие минерального состава тяжелой фракции отложений Сюзёвской россыпи и такатинского коллектора можно объяснить следующим образом. При перемыве отложений последнего речными потоками с активной динамикой происходит естественная сортировка минералов по гидравлической крупности, в процессе которой роль циркона в составе тяжелой фракции становится определяющей.

При этом отчетливо проявляются и признаки локального разубоживания отложений Сюзёвской россыпи неалмазоносными местными породами. Они особенно заметны при формировании верхних горизонтов на некоторых участках (содержание ильменита в тяжелой фракции иногда превышает 60%).

Роль фациального фактора. Одним из факторов, обуславливающих высокие концентрации алмазов в кайнозойских россыпях, является присутствие в разрезе аллювия высокоалмазоносных прослоев и линз. Результаты поисковых работ на алмазы в палеореках территории западного склона Урала показали, что распределение алмазов в русловых отложениях является резко неравномерным. Наиболее высокие их концентрации (некоторые из них можно отнести к «ураганным») встречаются только в отдельных прослоях или линзах грубообломочного аллювия. Причем, на определенном отрезке долины алмазы в русловом аллювии могут вообще отсутствовать.

Наиболее перспективными поисковыми объектами на россыпные алмазы являются отложения речных водотоков 3-го и 4-го порядков с изменчивой динамикой руслового потока. В таких реках участки замедленного течения постоянно сменяются быстотоками. Формирование высокоалмазоносных прослоев и линз в таких реках обусловлено концентрацией алмазов крупного размера, перенос и накопление которых возможны только на участках с высокой скоростью водного потока.

В связи с этим уже на поисковой стадии важным вопросом является установление присутствия в разрезе аллювия таких прослоев и линз, которые можно было бы отнести к микрофациям «быстрых струевых течений». Они в значительной степени влияют на средние содержания алмазов в россыпи и на запасы драгоценного камня. Иногда только благодаря их присутствию россыпь оказывается кондиционной.

Некоторые примеры могут быть приведены по материалам изучения алмазоносности Сюзёвской россыпи. Здесь отдельными скважинами были вскрыты неалмазоносные блоки. Наиболее вероятной причиной отсутствия в них алмазов можно считать снижение скорости водного потока на данном участке русла реки и, как следствие, разубоживание аллювия обломочным материалом неалмазоносных местных пород. Основанием для такого заключения является характерный состав тяжелой фракции, в составе которой в заметном количестве появляются не только обычный ильменит, но даже авгит и эпидот.

Однако, многими скважинами в разрезе Сюзёвской россыпи были вскрыты и высокоалмазоносные прослои, предположительно приуроченные к участкам быстотоков. В качестве минералогического

индикатора соответствующей динамики водного потока, которая обуславливает их формирование, может быть использован коэффициент, представляющий собой отношение содержаний минералов существенно разной миграционной способности: циркон/турмалин+лейкоксен. Так, среднее его значение для тяжелой фракции отложений неалмазоносных прослоев Сюзёвской россыпи – 0,43, а для высокоалмазоносных – 0,81.

Изложенное выше позволяет предложить некоторые рекомендации по использованию поисковых критериев на кайнозойские россыпи алмазов Урала. В одном из случаев полигон, на котором были проведены поисковые работы, может целиком представлять собой зону сильного разубоживания алмазоносного материала промежуточного коллектора. Об этом, в частности, будут свидетельствовать данные изучения состава тяжелой фракции. Использование результатов минералогических исследований на поисковой стадии дает возможность отказаться от проведения разведочных работ на таком участке.

Роль аутигенного комплекса минералов. Минеральный состав аутигенного комплекса тяжелых минералов россыпеносных отложений закономерно меняется с глубиной со сменой ассоциаций, соответствующих фациям: окислительной, нейтральной, слабо и сильно восстановительной. Например, характерным компонентом-индикатором слабо восстановительной фации в разрезе отложений Сюзёвской россыпи является маггемит, присутствие которого обуславливает высокие значения магнитной восприимчивости.

Этот фактор следует учитывать при планировании применения геофизических методов в составе прогнозно-поискового комплекса на россыпные алмазы. В частности, имелись случаи, когда выявление таких магнитных аномалий принималось за поисковый признак на кимберлиты с последующей потерей значительных финансовых затрат и времени.

Заключение. Использование минералов как индикаторов алмазоносности кайнозойских россыпей предлагается считать одним из важных составных частей прогнозно-поисковых работ на территории западного склона Урала.

Использование минералогических индикаторов алмазоносности отложений россыпи является особенно важным с учетом того, что перспективы алмазоносности объекта могут быть оценены до проведения разведочных работ. При необходимости выбора для проведения разведочных работ только одного из нескольких поисковых участков минералогические данные помогут сделать этот выбор с высокой долей уверенности.

Библиографический список

1. Бекасова Н.Б. К методике литолого-минералогического изучения осадочных и осадочно-метаморфических толщ // Материалы по геологии и металлогении Кольского полуострова. Апатиты, 1971. Вып. 2. С. 21-30.
2. Лунев Б.С., Осовецкий Б.М. Мелкие алмазы Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1996. 128 с.
3. Осовецкий Б.М. Минералогия мезокайнозоя Прикамья. Пермь: Изд-во ПГУ, ПСИ, ПССГК. 2004. 292 с.
4. Осовецкий Б.М., Пактовский Ю.Г., Попов А.Г., Чуйко В.А. Источники питания и история формирования уральских россыпей алмазов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. 2023. Вып. 26. С. 196-206.
5. Пактовский Ю.Г. Силурийский промежуточный коллектор алмазов (Южное Притиманье, Пермский край) // Вестник Пермского университета. Геология. 2021. Т. 20, № 4. С. 301-319.
6. Пактовский Ю.Г. Минеральные ассоциации тяжелой фракции базальных пород силура и девона на Северном Урале в Вишерском алмазоносном районе // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2024. Вып. 7(44). С. 197-204.
7. Пактовский Ю.Г., Попов А.Г. Девонский коллектор алмазов Урала // Литосфера, т. 23, № 4. 2023. С. 683-700.
8. Чуйко В.А., Синкин В.А., Наумов В.А., Плюснин И.А., Калинин К.П. Сюзёвское месторождение россыпных алмазов: новый этап изучения алмазоносности Западного Урала // Литосфера. 2023. № 4. С. 702-713.
9. Щербаков О.А., Щербакова Н.В., Кириллов В.А. и др. Палеоструктурные особенности Вишерского Урала в связи с его алмазоносностью. Пермь, 1997. 102 с.

THE ROLE OF MINERALOGICAL INVESTIGATIONS AS THE PART OF PROGNOSIS-RESEARCH COMPLEX ON DIAMOND PLACERS IN THE URALS

B.M.Osovetsky

opal@psu.ru

The role of mineralogical investigations as a part of prognosis-research complex on placer diamonds in the Urals is concluded in the use of their results for decision of the next problems: 1) the use of mineralogical control of placer diamondiferous; 2) appreciation of the negative influence of local rocks; 3) making the decision on the question concerning the choice of objects for prospecting works.

Keywords: diamonds, placers, mineral-indicators, the Western Urals.