

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-ТИТАНОВЫХ РОССЫПЕЙ И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. В. Лаломов, А. А. Бочнева, А. В. Григорьева,
Р. М. Чефранов, А. В. Чефранова, Л. О. Магазина

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)*

Поступила в редакцию 8 июля 2015 г.

Аннотация: исследована связь типоморфизма тяжелых минералов и характера редкометалльно-титановых (циркониево-титановых) минеральных ассоциаций с фациальной зональностью россыпей. Установлено, что по мере перемещения минералов в системе «источник (промежуточный коллектор) – транзитные зоны – россыпьевмещающие отложения» происходит дифференциация тяжелых минералов по гранулярному составу, изменение окатанности, вынос железистой составляющей в ряду ильменит–лейкоксен, увеличение содержания редких элементов, повышение уровня упорядоченности минеральных ассоциаций. Выявленные закономерности могут быть использованы для проведения фациального анализа в пределах закрытых территорий, где исследуется преимущественно разрушенный керновый материал и отсутствует возможность проведения палеорекострукции на основании традиционного текстурного анализа.

Ключевые слова: редкометалльно-титановые россыпи, титан, цирконий, фациальная зональность, типоморфизм, эпигенетические изменения, фациальный анализ.

RESEARCH OF MINERAL ASSOCIATIONS OF RARE METAL – TITANIUM PLACERS AND CREATION OF EXPERT SYSTEM OF ESTIMATION OF FACIAL ZONING OF PLACER MINERAL DEPOSITS

ABSTRACT: RESEARCH OF TYPOMORPHISM OF HEAVY MINERALS AND CHARACTER OF MINERAL ASSOCIATIONS OF RARE METALS-TITANIUM PLACER DEPOSITS (HEAVY MINERAL SANDS) ALLOWS REVEALING OF CHANGES OF THE CHARACTER IN THE SEDIMENTARY SYSTEM: SOURCES OF MINERALS (INTERMEDIATE HOSTS) – TRANSIT ZONES – PLACER-BEARING DEPOSITS. THE FOLLOWING CHANGES ARE REGISTERED: GRANULOMETRIC DIFFERENTIATION OF HEAVY MINERALS, CHANGE IN ROUNDNESS, REMOVAL OF IRON FROM TITANIUM MINERALS, INCREASE OF RARE ELEMENTS CONTENT AND ORDER OF MINERAL ASSOCIATIONS. REVEALING REGULARITIES CAN BE APPLIED FOR FACIAL ANALYSIS FOR BURIED PLACER DEPOSITS WHERE ONLY DRILLING SAMPLING IS AVAILABLE AND TRADITIONAL TEXTURE ANALYSIS IS IMPOSSIBLE.

KEY WORDS: PLACER DEPOSITS, RARE METALS, TITANIUM, ZIRCON, FACIAL ZONING, TYPOMORPHISM, EPIGENETIC CHANGES, FACIAL ANALYSIS.

Введение

Комплексные редкометалльно-титановые россыпи (РТР) являются главным во всем мире источником получения циркона (более 95%), практически единственным источником получения рутила и важнейшим (более 70 %) – ильменита. На территории России промышленное значение имеют только ископаемые, преимущественно погребенные россыпи, при поисках и разведке которых необходимым этапом является проведение фациального анализа. Это дает возможность определять локализацию объекта и характер россыпной металлоносности разведываемых территорий, устанавливать наиболее перспективные участки и рациональное направление геологоразведочных ра-

бот, прогнозировать технологические свойства россыпных объектов.

Для россыпей, которые выходят на дневную поверхность и могут быть вскрыты поверхностными горными выработками, задачи палеофациальных реконструкций решаются, преимущественно, традиционными методами литологического (в первую очередь – текстурного) анализа (изучение косой слоистости, знаков ряби, следов волнений и течений и т.д.) в сочетании с комплексом геолого-геофизических и структурно-морфологических исследований. Для глубокозалегающих РТР, изучаемых по данным бурения, проведение текстурного анализа и составление на его основе палеофациальных реконструкций часто ока-

зывается невозможным в связи с отсутствием ориентированного ненарушенного зерна. В результате этого бурение часто производится без учета палеофациальных особенностей, что ведет к существенному снижению эффективности геологоразведочных работ. В такой обстановке на первое место выходят фациальные признаки, которые можно исследовать по составу минеральных ассоциаций и типоморфным особенностям россыпеобразующих и попутных минералов, т.н. «фациальные микропризнаки» (ФМП). Поэтому выявление связей между фациально-литодинамическими характеристиками среды россыпеобразования и типоморфными особенностями россыпных минералов, составом и упорядоченностью минеральных ассоциаций является важной составной частью фундаментальных исследований процессов седиментогенеза и важной частью мероприятий по оптимизации геологоразведочных работ на погребенные РТР.

В процессе работы исследовались фациально-минеральные характеристики эталонных редкометалльно-титановых россыпных объектов: Центральное (Тамбовская обл.), Малышевское и Краснокутское (Украина), Бешпагирское (Ставропольский россыпной район) и Умытшинское месторождение Зауральского россыпного района Западной Сибири. На основании литологического анализа устанавливалась фациальная природа исследуемых отложений, опробовалось максимально возможное число фациальных зон. В результате этого на разных объектах с разной степенью детальности были изучены и опробованы следующие литолого-фациальные типы отложений: аллювиально-дельтовые, пляжево-литоральные, дюнно-эоловые, мелководно-морские из зон умеренной гидродинамики (прибрежное мелководье) и слабой гидродинамики (внешнее мелководье). На Умытшинской россыпи был опробован предполагаемый промежуточный коллектор.

Полный минеральный состав тяжелой фракции отложений был исследован в лаборатории ИГЕМ РАН, сокращенный (только на титановые минералы, циркон и монацит) – в Центральной лаборатории «Главтюменьгеологии». Исследование проводилось по двум классам крупности 0,01–0,1 мм и 0,1–0,25 мм. Визуально под оптическим микроскопом по пятибалльной шкале оценивалась окатанность минералов рудной ассоциации (не менее 30 зерен каждого минерала из каждой пробы). Описание морфологии зерен и исследование энерго-дисперсионных спектров было сделано на сканирующем электронном микроскопе в лаборатории ИГЕМ РАН. Для исследования внутренней структуры и состава минералов образцы разных типоморфных разновидностей изучались в полированных шашках на микронде. Степень упорядоченности минеральных ассоциаций оценивалась с использованием корреляционного анализа и метода Главных компонент.

Фациальные особенности микрокомпонентов россыпей

Для решения поставленной задачи было осуществлено выделение комплекса наиболее информативных

ФМП для реконструкции фациально-литодинамических обстановок в пределах россыпеобразующей системы «промежуточный коллектор – флювиальная палеодолина – палеодельта – литоральная зона – прибрежное мелководье палеобассейна».

Минеральные ассоциации РТР формируются в течение продолжительного времени и устойчивы в процессе перемещения на больших площадях, поэтому исследователи долгое время не уделяли внимания изменениям их свойств в масштабе фаций слагающих россыпные поля и месторождения. Проведенные исследования показали, что в структуре россыпеобразующих и россыпевмещающих комплексов можно проследить изменения следующих литолого-минеральных характеристик [1]:

- дифференциация тяжелых минералов по крупности в различных фациальных зонах;
- механическая деструкция и химическое растворение минералов (изменение степени окатанности);
- изменения химического состава минералов (вынос железистой составляющей) и увеличение содержания редких элементов;
- наличие вторичных новообразованных минералов;
- изменение состава и степени упорядоченности минеральных парагенезисов.

Рассмотрим эти параметры более подробно.

Дифференциация тяжелых минералов по крупности

Для количественной оценки этого параметра используем коэффициент крупности тяжелой фракции ($K_{ТФ}$) – отношение выхода ТФ в классе 0,25–0,1 мм к общему содержанию ТФ. Анализ $K_{ТФ}$ показывает, что он последовательно возрастает от промежуточного коллектора через транспортную аллювиально-дельтовую систему к зоне литорали, где достигает максимальных значений, и затем уменьшается в зоне мелководья. При этом сортированность отложений возрастает. В зоне эоловой переработки (отложения дюнного комплекса) крупность ТФ близка к литорали (хотя и несколько меньше) при более хорошей сортировке (табл. 1).

Такое распределение согласуется с гидро- и литодинамическими обстановками россыпеобразующих систем. Поступающие из промежуточных коллекторов через аллювиально-дельтовую систему зерна тяжелых минералов различной крупности подвергаются сепарации в литоральной зоне, при этом более крупные фракции остаются на пляже, мелкие выносятся в зону мелководья. В тектонически стабильных или регрессивных условиях происходит эоловая переработка пляжевых отложений и образование отложений дюнного комплекса. Абсолютные граничные значения $K_{ТФ}$ для фаций разных россыпеобразующих бассейнов могут существенно различаться: для россыпей Зауральского района (Умытшинское месторождение) граница литоральных и мелководно-морских фаций маркируется значением $K_{ТФ} = 0,5$ [2], для Сомотканского россыпного района – 0,75, для месторождения Центральное – 0,25. При этом качественная картина остается сходной.

Таблица 1

Коэффициент крупности тяжелой фракции различных фациальных зон РТР

Месторождение	ПК	А/Д	Л	ПМ	ВМ	Э
Краснокутское			0,54/0,28	0,32/0,31		0,48/0,10
Самотканское		0,77/0,30	0,90/0,33	0,64/0,18	0,58/0,12	
Бешпагирское			0,57/0,37	0,40/0,27		
Умытгинское	0,41/0,40	0,60/0,34	0,67/0,35	0,35/0,10	0,37/0,15	
Центральное			0,31/0,15	0,20/0,08		

Примечание: ПК – промежуточный коллектор, А/Д – аллювиально-дельтовые отложения, Л – литораль, ПМ – прибрежное мелководье, ВМ – внешнее мелководье, Э – эоловый комплекс. В числителе – среднее значение, в знаменателе – стандартное отклонение.

Очевидно, граничные значения для разных фаций зависят от интенсивности гидродинамики россыпепеобразующего бассейна, которая находит отражение в крупности минералов тяжелой фракции осадка. Исследование гранулометрического состава тяжелой фракции и вычисление $K_{ТФ}$ по площади россыпного поля позволяет картировать фации и прогнозировать характеристики прибрежно-морских россыпей.

Изменение степени окатанности зерен

В пределах россыпепеобразующих формаций наблюдается изменение окатанности зерен тяжелых минералов, что проявляется по разному для различных минералов и типоморфных разновидностей. Отмечено, что идиоморфные зерна россыпных минералов претерпевают незначительные изменения, в то время

как максимальная степень изменчивости наблюдается для обломков неправильной формы; особенно наглядны изменения окатанности в различных фациальных зонах наблюдаются у зерен лейкоксона и ильменита (рис. 1).

Изменение окатанности наиболее явно выражено у зерен мелкопесчаной размерности (0,1–0,25 мм), в алевритовом классе 0,01–0,1 мм изменение окатанности проявлено в меньшей степени. С учетом, что в зоне мелководья преобладают алевритовые классы тяжелых минералов, средняя окатанность зерен несколько меньше, чем в зоне литорали. При этом, на мелководье присутствуют обломки хорошо окатанных минералов, раздробленных в гидродинамически активной зоне литорали.

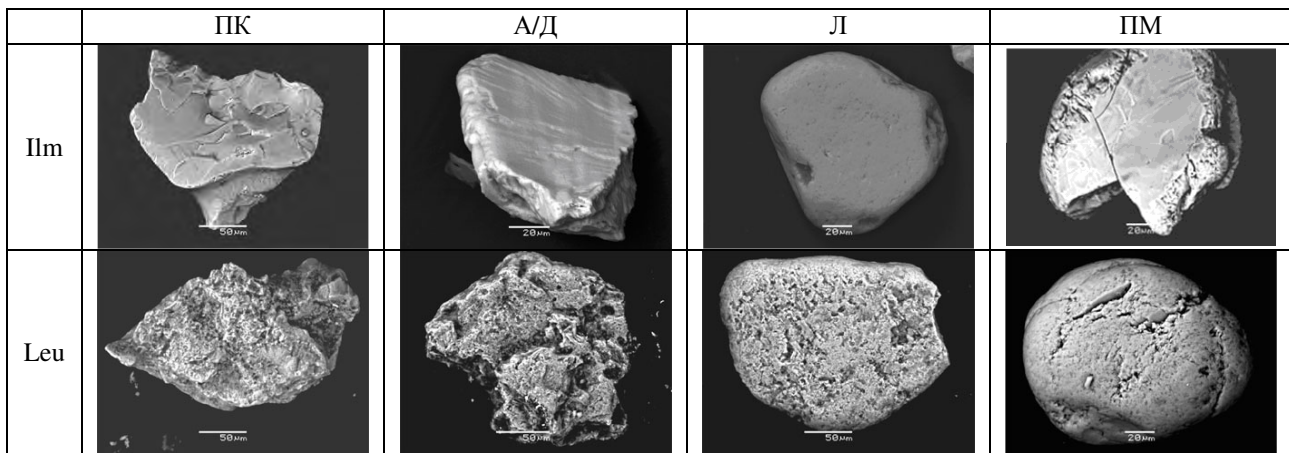


Рис. 1. Окатанность россыпепеобразующих минералов из различных фациальных зон: обломочные зерна неправильной формы, Ilm - ильменит, Leu – лейкоксен (Мансийская площадь Зауральского россыпного района). Обозначения фациальных зон см. табл. 1.

Изменения химического состава минералов

По мере продвижения минералов в россыпепеобразующей системе происходит изменение их химического состава. Проявляется оно в выносе железистой составляющей из ильменита и продуктов его изменения, а также в увеличении содержания редких и редкоземельных элементов. По мере нахождения в зоне гипергенеза в ильмените и продуктах его изменения отмечается вынос железистой составляющей – коэффициент Ti/Fe увеличивается от 1,8 – 2,4 в аллювиально-дельтовой зоне до 2,2 – 2,8 на мелководье на внешней границе гидродинамически активной зоны.

Поэтому показатель отношения содержаний Ti/Fe

может служить показателем фациальной зональности. Поскольку начальные соотношения элементов и скорость процессов в разных системах различаются, диагностическую функцию несут не абсолютные, а относительные значения коэффициента Ti/Fe и общий тренд процесса (рис. 2).

Исследование внутренней структуры зерен в шлифованных пашках на микрозонде показало, что вынос железистой составляющей происходит в первую очередь из внешних частей зерен, поэтому изучение состава на поверхности зерен дает более отчетливые результаты, чем общий валовый анализ.

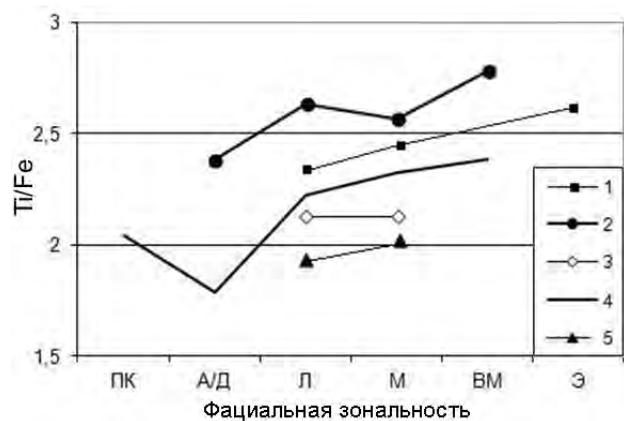


Рис. 2. Коэффициент Ti/Fe для титановых минералов различных фациальных зон РТР. Россыпи: 1 – Краснокутская (Украина), 2 – Самотканская (Малышевская, Украина), 3 – Бешпагир (Ставропольский россыпной район), 4 – Умытъя (Зауральский россыпной район), 5 – Центральная (Тамбовская обл.). Обозначения фациальных зон см. табл. 1.

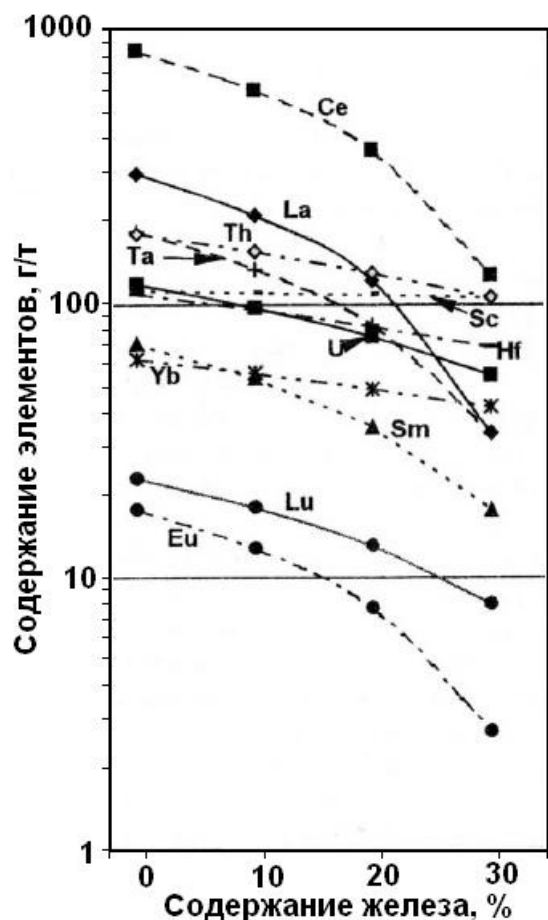


Рис. 3. Графики зависимости содержания редких элементов от содержания железа (среднее по Туганскому и Георгиевскому месторождениям) [3].

По мере выноса железа наблюдается процесс обогащения минералов титана (в первую очередь – лейкоксена) редкими элементами, что наблюдается не только в исследованных россыпях, но подтверждается закономерностями строения объектов, известных по другим источникам – Туганское и Георгиевское ме-

сторождения, где содержание всех редких, радиоактивных и редкоземельных элементов увеличивается от 2 до 200 раз с понижением содержания железа (рис. 3) [3]. Вероятнее всего, что данный процесс наиболее интенсивно протекал на заключительной стадии в момент отложения продуктивных пластов и после их формирования. В наибольшей степени процесс обогащения продуктов изменения ильменита редкими элементами проявляется в образцах из мелководной зоны.

При сопоставлении характера накопления элементов в лейкоксене из различных участков Туганского и Георгиевского месторождений, с использованием регрессионного анализа, было установлено, что на россыпях, которые имеют близкое геологическое строение, наблюдается подобие в степени изменения концентраций редких и редкоземельных элементов. То есть, эти процессы носят закономерный характер и могут быть использованы для реконструкции палеофациальной зональности.

Наличие вторичных новообразованных минералов

Постседиментационные процессы изменения минералов россыпью проявляются также в осаждении на неровностях поверхности или в трещинах кластогенных зерен (в области ослабления молекулярных связей) новообразованных минеральных фаз микро- и наноразмерности и полной перекристаллизации минералов (образование новых микрокристаллов из минерала-матрицы) [4].

Установлено присутствие вторичных минеральных образований различной природы (железо-марганцевые корки, фосфат редких земель на поверхности лейкоксена с примесью меди, новообразованные цирконы и алюмосиликаты по трещинам в цирконе (рис. 4). Предполагается, что образование этих минералов происходит, происходит не только на стадии седиментогенеза, но и при эпигенетических процессах [5].

Наиболее часто вторичные минеральные образования встречаются в осадках внешнего мелководья со слабой гидродинамикой среды. Такие условия способствуют сохранности минералов, образованных еще на стадии седиментации. С другой стороны, минералообразованию благоприятствуют тонкозернистый состав осадков внешнего мелководья и насыщенность поровых вод растворенными микрокомпонентами.

Изменение состава и степени упорядоченности минеральных парагенезисов

Анализ структуры минеральных ассоциаций РТР, выполненный с помощью Метода главных компонент, показал, что продуктивные отложения обладают высокой степенью упорядоченности минерального состава. Корреляция между основными россыпеобразующими минералами превышает 0,80. Для олигоценых отложений Мансийской площади Зауральского россыпного района состав Первой главной компоненты (1ГК): ильменит 0,95, рутил 0,88, циркон 0,86, сфен 0,80, лейкоксен 0,77, анатаз 0,65 [6]. Аналогичная картина наблюдается и для других РТР [6].

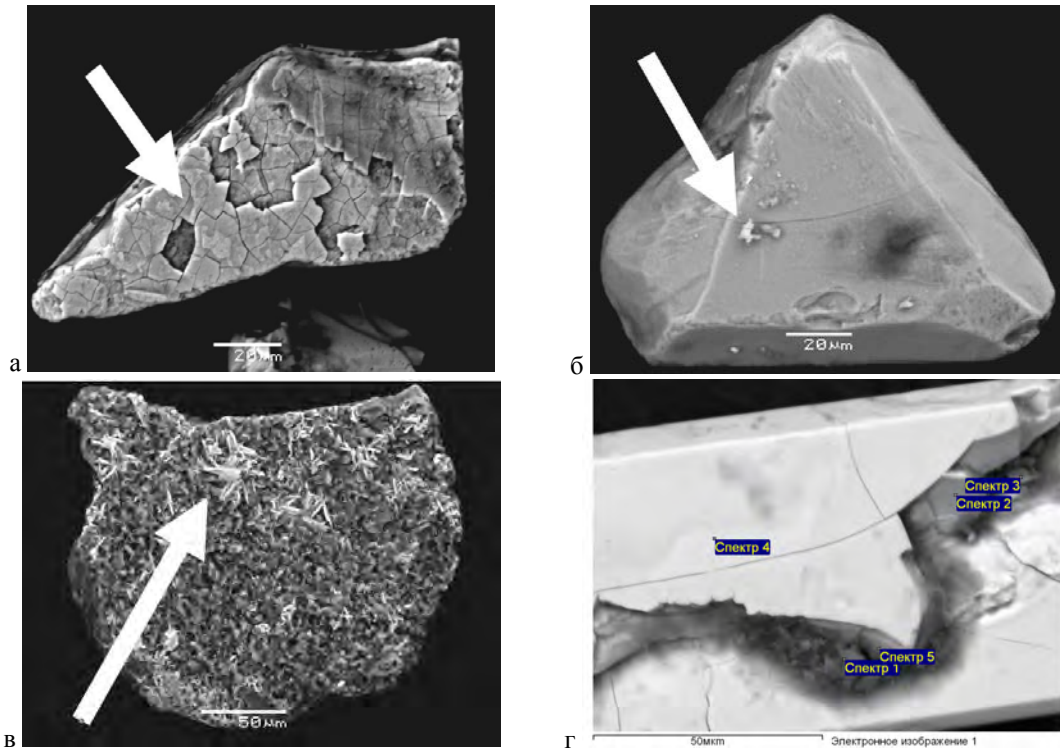


Рис. 4. Постседиментационные новообразования на поверхности минералов РТР (зона мелководья): а – железомарганцевые корки на поверхности ильменита; б – тантало-ниобиевая фаза на поверхности рутила (ильменорутил); в – лучистые агрегаты рутила и редкоземельный минерал с медью на поверхности лейкоксена; г – образование нескольких минеральных фаз в трещиноватом цирконе: новообразованный кристалл циркона (спектр 2), алюмосиликаты К, Mg, Fe, Ti (спектры 1, 3, 5).

Высокий «вес» ИГК, а также ее состав указывают на существование эффективного рудообразующего процесса, способного создать концентрации рудных минералов близкие к промышленному уровню. Об этом свидетельствует сравнение вычисленных «весов» ИГК (62–65 %) с аналогичным параметром, подсчитанным непосредственно для рудных залежей промышленных титано-циркониевых россыпей (70–78 %) [7].

Области повышенных значений ИГК на Мансийской площади соответствуют, по большей части, пляжевой зоне (значения в интервале 0,2–1,4), и палеозоне мелководья (0–1,0) (рис. 4). В аллювиально-дельтовой зоне значения ИГК, как правило, меньше 1. Таким образом, минеральные ассоциации достигают высокой степени упорядоченности в зонах интенсивной гидродинамической дифференциации, и показатель этого процесса (значение первой главной компоненты) может служить критерием выделения как перспективных россыпемещающих отложений, так и соответствующих палеофациальных зон.

Основные принципы создания экспертной системы оценки литолого-фациальной зональности россыпных месторождений

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что минеральные ассоциации РТР обладают рядом неоднородностей, которые могут быть использованы для реконструкции фациальных обстановок районов и полей распространения ископаемых россыпей, когда проведение традиционного

фациального анализа затруднено или невозможно.

При этом не существует признаков, которые однозначно указывают на фациальную природу россыпемещающих отложений, выделенные факторы могут применяться только в комплексе. Более того, поскольку их абсолютное значение может варьировать в зависимости от изначальных или внешних условий, наиболее важен тренд исследуемых параметров, и поэтому предметом анализа должны быть большие выборки данных при наличии в них фациально-разнородных отложений. Метод дисперсионного анализа позволяет в пределах общей выборки выделить внутригрупповую (в пределах однородных фациальных зон) и межгрупповую (между разными фациальными зонами) составляющие общей дисперсии признака. На основании этого возможно проведение палеофациальных реконструкций площадей, перспективных на выявление РТР.

Полученные фактические результаты исследований накапливаются в Базе данных фациальных микропризнаков (БД ФМП), которая структурирована по выделенным индикаторам фациальной зональности, сочетание которых позволяет характеризовать фациальную зональность россыпных кластеров локального масштаба (районов, полей, узлов и месторождений).

Исследованные закономерности могут быть положены в основу для создания наиболее эффективной гибридной экспертной системы, база знаний которой включает не только знания экспертов, но и закономерности, получаемые в результате компьютерного анализа имеющихся баз данных [8]. Окончательное

решение по интерпретации данных осуществляется в процессе диалога «Оператор» – «Компьютер».

В случае возможности получения дополнительной информации по фаціальным признакам россыпепвещающих комплексов в естественных обнажениях, открытых горных выработках или по ненарушенному керну скважин, поставленная задача существенно упрощается: появляется возможность прямого и часто однозначного решения фаціальной задачи для исследуемой зоны, а исследованные обстановки могут рассматриваться как эталонные для данной россыпеобразующей системы.

Заклучение

Предлагаемый метод фаціального анализа, основанный на изучении фаціальных микропризнаков РТР (типоморфизма россыпеобразующих минералов и состава минеральных ассоциаций), позволяет решать проблему палеофаціальных реконструкций на закрытых территориях, где использование традиционных методов затруднено или невозможно. Полученные предварительные данные показывают, что некоторые параметры (выход тяжелой фракции по классам крупности, окатанность зерен, минеральный состав отложений, химический состав минералов и ряд других типоморфных особенностей) находятся в зависимости от фаціальной принадлежности осадка. Это позволяет определить комплекс признаков для фаціальной реконструкции россыпных площадей. Выделенные показатели носят комплексный и статистический характер, поэтому продуктивный анализ фаціальных микропризнаков возможен только методами статистической обработки в пределах большой выборки, характеризующей россыпные кластеры локального масштаба [9].

Помимо поисково-ориентированного фаціального анализа, необходимого для рационального проведения поисково-разведочных работ, предлагаемая методика может быть использована для прогнозирования технологических свойств россыпных месторождений.

Альтернативой разрабатываемой методике является бурение «по сетке», что существенно удорожает

геологоразведочные работы и влияет на себестоимость конечной продукции.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-00449а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаломов, А. В. Разработке технологии микропалеофаціального анализа для оптимизации поисково-разведочных работ / А. В. Лаломов, А. В. Григорьева, Л. О. Магазина // Разведка и охрана недр. 2010. – № 3. – С. 11–17.
2. Лаломов, А. В. Литолого-фаціальное районирование и титан-циркониевая металлоносность Мансийской и Северо-Сосьвинской площадей Зауральского россыпного района / А. В. Лаломов, А. А. Бочнева, Чефранов Р. М., Трофимов В. А. // Литология и полезные ископаемые. – 2010. – № 4. – С. 370–382.
3. Кропанин, С. С. Минералого-геохимические особенности циркон-ильменитовых месторождений Томь-Яйского междуречья: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / С. С. Кропанин. – Томск: ТПУ. – 1997. – 27 с.
4. Кропанин, С. В. Микроэлементный состав песков циркон-ильменитовых месторождений Западной Сибири и оптимизация технологии их комплексной переработки: матер. Междунар. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор выветривания / С. В. Кропанин, Л. П. Рихванов. – М.: ИГЕМ. – 1997. – С. 133.
5. Савко, А. Д. Минералогия аптских отложений воронежской антеклизы. Статья 2. Полезные ископаемые песчаных пород / А. Д. Савко, А. В. Крайнов, Д. Н. Давыдов, В. Ю. Ратников // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж. – 2012. – № 2. – С. 155–172.
6. Бочнева, А. А. Геостатистический подход к выявлению потенциальных титан-циркониевых россыпных площадей на примере Зауральского россыпного района / А. А. Бочнева, А. В. Лаломов, Р. М. Чефранов // Литология и полез. ископаемые, 2013. – № 3. – С. 234–255.
7. Патык-Кара, Н. Г. Минералогия россыпей: типы россыпных провинций / Н. Г. Патык-Кара. – М.: ИГЕМ РАН. – 2008. – 528 с.
8. Чижова, И. А. Теоретические основы разработки гибридных экспертных систем для прогноза и оценки рудных месторождений: автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук / И. А. Чижова. – М.: ИГЕМ РАН. – 2010. – 50 с.
9. Лаломов, А. В. Локальные геолого-динамические факторы формирования комплексных прибрежно-морских россыпей тяжелых минералов / А. В. Лаломов, С. Э. Таболич. – М.: ГЕОС. – 2013. – 223 с.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН)

Лаломов А. В., старший научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук,

E-MAIL: LALOMOV@MAIL.RU; +7 499 2308427

Бочнева А. А., научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук,

E-MAIL: BOCHNEVA@MAIL.RU; +7 499 2308402

Григорьева А. В., старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук

E-MAIL: GRIG@IGEMIRU; +7 499 2308423

Чефранов Р. М., научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук

E-MAIL: ROMAN_CHEIR@BKIRU; +7 499 2308427

Чефранова А. В., научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук

E-MAIL: ACHEIRA@MAILIRU; +7 499 2308427

Магазина Л. О., ведущий инженер,

E-MAIL: MAGAZINA@IGEMIRU; +7 499 2308210

INSTITUTE OF GEOLOGY OF ORE DEPOSITS, PETROGRAPHY, MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCE (IGEM RAS)

LALOMOV A. V., SENIOR RESEARCHER, DR. SCI.
E-MAIL: LALOMOV@MAIL.RU; +7 499 2308427

BOCHNEVA A. A., RESEARCHER, PHD.
E-MAIL: BOCHNEVA@MAIL.RU; +7 499 2308402

GRIGORIEVA A. V., SENIOR RESEARCHER, PHD.
E-MAIL: GRIG@IGEMIRU; +7 499 2308423

CHEIRANOV R. M., RESEARCHER, PHD.
E-MAIL: ROMAN_CHEIR@BKIRU; +7 499 2308427

CHEIRANOVA A. V., RESEARCHER, PHD.
E-MAIL: ACHEIRA@MAILIRU; +7 499 2308427

MAGAZINA L. O., LEADING ENGINEER.
E-MAIL: MAGAZINA@IGEMIRU; +7 499 2308210