

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Мелентьев Г.Б.

НИЦ «Экология и промышленная энерготехнология» ОИВТ РАН, г. Москва

Разработка и совершенствование методов комплексной ресурсно-экологической оценки месторождений природного минерального сырья и техногенных ресурсов, накапливаемых в возрастающих масштабах при обогащении и химико-металлургической переработке исходного сырья, приобретают в нашей стране особую актуальность в связи с естественным истощением недр, отсутствием необходимой *комплексности* в оценках их *извлекаемой ценности* при проведении ГРП без учета сопутствующих редких, благородных и токсичных элементов-примесей или, наоборот, ценных нерудных компонентов, технологических возможностей и экономической целесообразности их попутного извлечения. То же самое относится к оценкам экологической безопасности планируемых и действующих производств по обогащению и глубокой переработке минерального сырья: как правило, токсичность микропримесей, в том числе – особо ценных (Be, Cd, Tl, Ga, As, Hg и др.), в профилирующей продукции и отходах производства не изучается и не оценивается [1, 2]. С другой стороны, в большинстве случаев не учитываются возможности и перспективы получения при эксплуатации собственно редкометальных и других рудных месторождений различных видов нерудной продукции, включая новые строительные, композиционные и другие неорганические материалы [3, 4]. Нами неоднократно подчеркивалось, что в условиях приостановки в России в начале 90-х годов развитых производств редких металлов по совокупности причин «переходного периода» [2, 5, 6], многолетней неосвоенности давно разведанных крупных месторождений собственно редкометального сырья в европейской части страны (например, Воронье-Колмозерской группы на Кольском п-ве) и в В. Сибири (Белозиминского, Зашихинского, Вишняковского, Катугинского, Томторского и др.) и, наконец, известного несовершенства российской минерально-сырьевой базы редких металлов [1] сравнительно с эталонными зарубежными месторождениями (Араша в Бразилии, Берник-Лейк в Канаде и др.) особую актуальность приобретают реальные возможности попутного производства редких металлов, содержащихся в фосфатно-глиноземном (TR, Sr, Ga, Rb, Cs), титаново-железистом (V, Sc), сульфидном и угольном (Ge, Re, In, Tl, Cd, Sb, Bi, Hg и др.), калийном (Rb, Cs) и других видах сырья крупнейших эксплуатируемых месторождений [7, 8]. То же самое характерно для небольших по масштабам сопутствующих им месторождений («сателлитов»), нередко обогащенных наиболее ценными элементами-примесями, а также текущих и лежащих отходов обогащения и переделов, где содержания недоизвлеченных профилирующих компонентов составляют 30–50%, в то время как уровни концентрации редких металлов достигают нескольких порядков, например, рения – до $1 \cdot 10^6$ [7].

К сожалению, эти и другие, наиболее объемные виды сырья, как правило, добываются и перерабатываются предприятиями горно-промышленного комплекса (ГПК) и горно-металлургическими комбинатами (ГМК) исключительно на 1–3 профилирующих полезных компонентов, в то время как сопутствующие многие десятилетиями накапливаются в отходах обогащения и переделов, формируя, таким образом, месторождения *возобновляемых техногенных ресурсов* [4, 7]. Вне должного внимания остаются также возможности и перспективы выявления и вовлечения в промышленную эксплуатацию месторождений железорудного сырья, природнолегированного *ниобием*, подобного эксплуатируемому в Китае и перерабатываемому в Японии на феррониобий, попутного извлечения золота и т.д.

Очевидно, что накапливаемые в возрастающих масштабах и остающиеся невостребованными техногенные ресурсы, включая различные промстоки ГПК и ГМК, с одной стороны, представляют собой гигантский резерв *ускоренного* развития стройиндустрии, качественного совершенствования продукции черной и цветной металлургии и создания необходимой основы для отечественных высокотехнологичных производств, соответствующих требованиям XXI века. С другой стороны, техногенные ресурсы ГПК и ГМК представляют собой очаги экологического неблагополучия, оказывающие крайне негативное воздействие на окружающую среду и, главное, здоровье персонала и населения градообразующих территориально-производственных комплексов (ТПК), вплоть до формирования *геотехносферы* как новой геологической сущности, трансграничного переноса загрязняющих веществ воздушными и водными потоками и т.д. [7]. В наибольшей степени вызывает озабоченность состояние экологической безопасности в угольной энергетике, где отсутствует необходимый контроль за содержаниями как особо ценных, так и токсичных элементов-примесей при разведке и добыче угольного сырья, его обогащении и особенно – при сжигании ТЭС, а также складировании, долголетнем хранении и рекультивации широко распространенных шлакозольных отходов, как правило, обводненных и дренируемых атмосферными, грунтовыми и паводковыми водами. В целом, наряду со значительным уменьшением объемных токсичных выбросов крупнейшими из предприятий ГМК и, в значительно меньшей степени, утилизацией ими текущих твердых отходов (шлаков), продолжается прогрессирующее накопление дисперсных «хвостов» обогащения и переделов, не решаются проблемы их консервации и глубокой

очистки промстоков, сгущения иловых и токсичных осадков и извлечения микрокомпонентов. По оценкам специалистов, суммарная ценность металлов, накопленных в горно-промышленных отходах России, в 4 раза превышает стоимость их неиспользуемых запасов в недрах. При этом повышенная извлекаемая ценность техногенного сырья преимущественно определяется концентрацией в нем неизвлеченных редких (Ta, Nb, Li, Rb, Cs, Sr, TR, Sc, V, Ga, Ge, Re, In, Tl, Cd и др.) и благородных металлов, стоимость которых на мировом рынке на порядки превышает цены на профилирующие виды минеральной и металлургической продукции. Такие потери, охарактеризованные в предыдущих публикациях [7], свидетельствуют о значительных масштабах упущенной выгоды и для владельцев предприятий, перерабатывающих добытое минеральное сырье, и для местных и федеральных бюджетов.

Многолетний авторский опыт изучения и детального картирования редкометальных месторождений гранитовых формаций и различно специализированных на профилирующие компоненты месторождений силикатных, карбонатных и сульфидных руд, содержащих те или иные ассоциации редких металлов, в Средней Азии, В. Казахстане, Кольском регионе, Карелии, Забайкалье, Якутии и Приморье позволяют рекомендовать следующие основные методы оценки природного и техногенного минерального сырья на широкий комплекс полезных и лимитируемых компонентов, включая особо ценные и токсичные микрокомпоненты.

Методология визуального минералого-парагенетического картирования и комплексного изучения направленной изменчивости состава и строения редкометальных производных гранитных интрузий в целях создания унифицированной методики их оценки на разных стадиях ГРП и эксплуатации месторождений

Метод визуальной экспертной оценки в известной степени является традиционным применительно ко всем типам пегматитовых месторождений. Однако, применительно к редкометальным пегматитовым полям и представляющим их месторождениям, а также их гипабиссальным аналогам – редкометальным гранитам, он получил принципиально новое развитие в работах научных специалистов ИМГРЭ и автора как в фундаментальном, так и прикладных направлениях [9–12].

С использованием известных концепций К.А. Власова о пегматитах как фациях и фазах соответствующих гранитных интрузий и дифференциации пегматитообразующих расплавов в процессе внедрения, т.е. эмпирически установленной возможности последовательного «развертывания» в пространстве геофаз, выделенных А.Е. Ферсманом в разрезах по мощности пегматитовых тел, нами было проведено многолетнее изучение методами визуального минералого-парагенетического картирования и сопровождающего опробования всех проявлений фациальной изменчивости минерального и химического состава жильных пегматитовых инъекций в направлении их восстания и в эталонных разрезах по мощности. В результате исследований редкометальных пегматитовых полей Средней Азии в условиях их максимальной естественной обнаженности в глубоких (до ≥ 1 км) вертикальных врезках, а затем – вскрытия горными выработками и скважинами разведываемых и эксплуатируемых месторождений редкометальных пегматитов (В. Казахстан) и гранитов (В. Забайкалье) были выявлены и детально задокументированы примеры как непосредственной связи продуктивных фаций с «материнскими» гранитными интрузиями, так и проявления *закономерной* и необратимой изменчивости состава и строения редкометальных пегматитов и гранитов в направлении внедрения пегматитообразующих расплавов. Таким образом картируется пространственно-генетическая зональность редкометальных пегматитовых полей и редкометальных гранитов [9] в масштабах от 1:1000 до 1:10000, проявленная с удалением от источника в последовательной смене устойчивых ассоциаций минерально-парагенетических комплексов и зон, представляющих различные типы редкометального пегматитового сырья.

Все разнообразие изученных к настоящему времени полей и представляющих их типов редкометальных пегматитов, образующих зональные *гомологические* ряды, а также их гипабиссальных аналогов-редкометальных гранитов, с основными параметрами наиболее ценного танталового оруденения приведены в авторском многофункциональном классификаторе (табл. 1). При его составлении использован двойной принцип *количественной* классификации широкого разнообразия редкометальных пегматитовых полей, месторождений, рудных тел, слагающих их зон и минерально-парагенетических комплексов: по преобладающим минералам и ведущей минералого-геохимической специализации. Очевидно, что различия в последней находят отражение и в типохимических особенностях состава как пороодообразующих, так и акцессорных минералов, что позволяет использовать эти особенности и их параметры в прогнозно-поисковых и оценочных целях. Установленная в пределах каждого из выделенных гомологических рядов редкометальных пегматитов и гранитов направленная и необратимая фациальная зональность характеризуется закономерным усложнением как химического и минерального состава, так и внутреннего строения пегматитовых тел, которое сопровождается увеличением их продуктивности на ведущие редкие металлы: $\text{Be-Nb(Ta)} \rightarrow \text{Li(Nb, Ta, Sn)} \rightarrow \text{Li-Ta(Nb)-Be} \rightarrow \text{Li-Ta-Cs(Be)} \rightarrow \text{Sn(Ta, Be)}$. Максимальная продуктивность и извлекаемая ценность редкометального сырья характерна для крупных полизональных («полнодифференцированных») пегматитовых жил (Бикита в Зимбабве, Берник-Лейк в Канаде, Коктогай в Китае, Юбилейное в В. Казахстане, Васин-Мыльк в Кольском регионе и др.) или незональных, участково-полосчатых по всей мощности жил, наиболее удаленных от источника (Наука, Узбекистан, Урикское и Гольцовое, В. Саян и др.) в полях комплексного редкометального ряда

Таблица 1

Зональные томологические ряды различно специализированных редкометаллических пегматитовых полей и гранитных интрузий

Специализация полей и интрузий (рядов) и преобладающие типы	Типы редкометаллических пегматитов в зональных пегматитовых полях различной специализации							Редкометаллические фации интрузий		
	I. В-Р-редкометаллической (с Бг, Мк-Аб и Тр)	II. Бериллиево-Мк-Аб с щелочной (с Бг, Мк-Аб и Тр)	III. Литиевый	IV. Li-Sn-Ta	V. Комплексный редкометаллический	VI. В-Р-комплексный редкометаллический Лп-Аб (с Сп и Тр)	VII. F(P)-Ta	I. F-Li-Ta	II. Р-Р-Li-Ta-Sn	
Типы редкометаллических пегматитов и гранитов с удалением от источника (сверху вниз)	Мк-Аб (с Бг, Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	
	Мк-Аб (с Бг, Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	
	Мк-Аб (с Бг, Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	
	Мк-Аб (с Бг, Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	Мк-Аб (с Мк-Аб и Тр)	
Среднее содержание Та ₂ O ₅ (вес. %) в пределах ряда (числ.); Та ₂ O ₅ /Nb ₂ O ₅ (знам.)	0,001-0,006 0,13-0,4	0,001-0,0045 0,16-0,56	0,005-0,02 0,7-0,85	0,0026-0,013 0,9-1,16	0,0013-0,041 0,26-3,7	0,01-0,026 0,7-6,5	0,006-0,03 (до 0,02) 0,4-4,9	0,08-0,038 1,4-2,2	0,005-0,018(до 0,04) 0,8-1,5	0,009(Sn 0,3) 0,8
Минералы – концентраты тантала	Колумбит (16-100); касситерит (57-1800)	Танталит-колумбит (100-527); касситерит (425-1227)	Колумбит-танталит (50-370); касситерит (96-1900)	Танталит-колумбит (114-397); касситерит (103-351)	Танталит (100-300); микролит (0-232); касситерит (88-450)	Танталит-колумбит (74-967); касситерит (39-1267)	Колумбит-танталит (178-933); касситерит (158-1400)	Колумбит-танталит (до 200-300); микролит (до 300-500); касситерит (до 300)	Танталит-колумбит (10-75); касситерит (2700)	
Содержание тантала в минералах-концентрациях (числитель), Та ₂ O ₅ /Nb ₂ O ₅ (знаменатель)	–	17,6-48,8 0,2-1,7	–	43,9-55,1(Тн) 1,54-3,6 0,21-0,35(Кс) 0,44-0,94	30-60(Тн) 0,6-2,5 60-82(Мг) 25-40 60-69(Кс) 6-12 1,2-3,4(Кс) 6-10	30-69(Тн) 0,66-5,5 0,24-3,2(Кс) 0,6-4,8	40-50(Тк) 1-1,7 0,25-2,3(Кс) 0,4-1,7	18-55(Тк) 0,3-2,4 37-72(Мг) 1-4 1-4(Кс) 0,5-5	38(Тк) ≤1 0,2	0,75 (Кс) 0,2
Характерные акцессорные минералы	Турмалин, апатит, топаз, флюорит, муассанит, гранат	Сподумен, апатит, турмалин, гранат, иногда – литиофиллит и нигерит	Апатит, амблигонит, монтебранит, турмалин, гранат, иногда – нигерит	Сподумен, берилл, колумбит-танталит, апатит, гранат, турмалин, делленит, иногда – турмалины	Сподумен, амблигонит, монтебранит, петалит, цветные турмалины, гранат, апатит, волжанин	Сподумен, апатит, турмалин, амблигонит, монтебранит, гранат	Рубеллит, сподумен, апатит, топаз, петалит	Топаз, касситерит, флюорит, стронверит, гр. сульфидов (галенит и др.)	Апатит, амблигонит, монтебранит, топаз, турмалин, гр. сульфидов (станнин и др.)	

Примечание. Порообразующие минералы и промышленно-ценные акцессорные минералы редкометаллических пегматитов и гранитов – Мк – микролит, Ам – амзонит, Аб – альбит, Кв – кварц, Сп – сподумен, Пг – петалит, Бг – биотит, Мек – мусковит, Лп – лепидолит, Тр – турмалин, Рб – рубеллит, Пл – поллуцит, Тк – гр. колумбит-танталита, Тн – танталит, Кс – касситерит, Мг – микролит, Икс – иксалит

(см. табл. 1). Контрастные различия во внутреннем строении этих двух типов месторождений при сходстве и подобии их состава обусловлены преимущественной дифференциацией исходного расплава в одной рудовмещающей камере массивных вмещающих пород в первом варианте или в процессе его внедрения и пространственного распределения в системах кулисообразно приоткрывающихся трещин сланцевых толщ – во втором. Необходимо заметить, что для второй разновидности жильных полей и месторождений комплексного редкометального ряда, представленной микроклин-сподумен-альбитовыми пегматитами, в отличие от традиционно эксплуатируемой на Li, Ta с Nb, Cs (с Rb), Be и ценное нерудное сырье, характерно отсутствие зональности во внутреннем строении жил и таких ярких минералов-индикаторов на собственно танталовое (танталит, микролит, воджинит и др.) и цезиевое (поллуцит) оруденение как лепидолит и цветные турмалины. Это обстоятельство первоначально в период «литиевого бума» в конце 50-х годов, обусловило распространение ошибочного мнения о бесперспективности так называемого «альбит-сподуменового типа пегматитов» на какие-либо другие редкие металлы. Кроме лития, первая находка поллуцита, внешне похожего на кварц и трудно диагностируемого, обнаруженного нами в одной из жил фронтальной части Урикского поля рассматриваемых существенно «литиевых» пегматитов, а затем обнаружение его широкой распространенности в подобной же ситуации в пределах Гольцово-Тагнинского поля, послужили «спусковым механизмом» для пересмотра сложившихся представлений о минеральном составе, минералого-геохимической специализации и извлекаемой ценности незональных микроклин-сподумен-альбитовых пегматитов, представляющих как оказалось месторождения *литиевых* и комплексных редкометальных (Li-Ta-Cs-x) руд [11].

В целом, к настоящему времени стала очевидной прямая зависимость концентраций и запасов цезия в пегматитовых полях от объема литиевой жильной массы: от 100 до 1000 т цезия – для месторождений в первые десятки тыс. т диоксида лития и тысячи-десятки тыс. т цезия – для месторождений с запасами диоксида лития до 1 млн. т (цезий – в поллуците и экзоконтактных слюдитах).

Принципиально важно подчеркнуть, что комплексная переоценка разведываемых пегматитовых месторождений лития началась с минералогических находок поллуцита в условиях отсутствия традиционных поисковых признаков. Дальнейшие исследования, опережающие процесс ГРП или подвергающие ревизии их результаты, включали визуальное минералого-парагенетическое картирование пространственно-генетической зональности в пегматитовых полях различной специализации. Оно сопровождалось документированием всех проявлений расслоенности жильных инъекций по мощности и опробованием в эталонных разрезах, прямыми количественно-минералогическими анализами проб-протокочек, выделением и анализами минералов тяжелой и легкой фракций, а также полными химическими (силикатными) анализами исходных проб и минералов с определениями содержаний компонентов-минерализаторов и редких металлов. Обработка полученных данных с использованием разработанных в ИМГРЭ и авторских методов с выносом результатов на геологические основы и специализированные морфоструктурные карты позволяет наглядно и объективно иллюстрировать не только все проявления фациальной минерально-парагенетической зональности изученных интрузивно-инъекционных образований, но и демонстрировать дискретно-эволюционный характер их дифференциации в пространстве и во времени с использованием оригинальных петрохимических диаграмм [13]. Таким образом, появилась возможность впервые параметризовать *закономерности* дифференциации рудообразующих систем гранитовых формаций, наиболее контрастно и отчетливо проявленные в зональности и расслоенности различно специализированных месторождений редкометальных пегматитов и гранитов (см. табл. 1).

Синхронный характер увеличения поликомпонентности состава редкометальных пегматитовых инъекций, как и выступов-апофиз в породы кровли редкометальных фаций гранитов, и степени их расслоенности на зоны, осложняющие или заменяющие их участково- и ритмично-полосчатые обособления минерально-парагенетических комплексов с одновременным накоплением редких металлов в пределах каждого гомологического ряда свидетельствуют о проявлении внутренних, физико-химических и синергетических свойств пегматитообразующих расплавов. Их структурирование в условиях температурного градиента при внедрении, по видимому, осуществляется самопроизвольно и многократно. Более того, нами впервые были задокументированы примеры «расщепления» зональных жил во фронтальной части инъекций на самостоятельные, согласные или, реже, поперечные жилы-апофизы, представленные контрастными по составу и строению минерально-парагенетическими комплексами соответствующих им зон. Совокупность этих фактов, как результат многолетних картировочно-оценочных исследований редкометальных месторождений гранитовых формаций, а также экспериментальные данные, включая специальное изучение в надликвидной области состояния и свойств фторидно-литиевых щелочноалюмосиликатных систем, моделирующих редкометальные пегматитообразующие расплавы, позволили автору сделать принципиально новый вывод о проявлениях в них *многопорядковой несмесимости* (immiscibility) в условиях температурного градиента при внедрении как ведущего фактора дифференциации расплавов с избыточными компонентами [12]. Разработанная нами *магматогенно-ликвационная* концепция и модель редкометального рудообразования обосновывает естественную пространственно-генетическую связь между всеми фациально-инъекционными производными гетерогенных гранитных интрузий (от источника до рудных тел), что позволяет использовать в прогнозно-поисковых целях все проявления специализации и объемной зональности этих неравновесных и саморазвивающихся магматоген-

но-редкометалльных систем, которые отражены в геофизических и геохимических аномалиях, структурах и специфике состава вмещающих пород и, наконец, в рельефе, т.е. представлены геохимическими «концентрами» и конкретными морфоструктурами [13].

Тем самым были созданы *методические основы* и разработан рациональный *комплекс* количественно *параметризованных* методов как для локального прогнозирования, поисков и оценки новых месторождений и рудных тел на ранних стадиях ГРП [9], так и для оценки разведываемых на глубину, т.е. в направлении к источнику рудных объектов, а также для выделения типов руд, необходимого для дифференцированной оценки их обогатимости и выбора оптимальных технологических схем их переработки с получением широкого ассортимента минеральной и химической продукции – редкометальной и нерудной.

Основные результаты использования комплексной методики изучения и оценки месторождений редкометальных пегматитов и гранитов как объектов поисков, разведки и эксплуатации

Основные практические результаты апробации и применения разработанных автором методов прогнозной оценки и переоценки рассматриваемых объектов ГРП и эксплуатируемых месторождений заключаются в следующем:

- в выделении и комплексной оценке новых типов пегматитового сырья – редкометального (В. Саян, Приморье, Узбекистан, Памир, Киргизия, В. Казахстан и др.), редкометально-керамического (Узбекистан, Памир) и нерудного (В. Казахстан, Карелия, Кольский п-ов) с разработками нами рекомендаций на вовлечение в процесс ГРП и промышленное использование на тантал, цезий (с рубидием), бериллий, литиевые минеральные концентраты, КПШ и молотые нерудные концентраты (К-На-полевошпатовые, мусковитовые и кварцевые) для соответствующих производств, включая инновационные;
- в обнаружении и оценке перспективности нетрадиционных поллцитсодержащих пегматитов (В. Саян, Приморье, Узбекистан, Памир, В. Казахстан) с реализацией рекомендаций на вовлечение их в поисково-оценочные работы (Узбекистан), геологоразведку (В. Саян) и в оперативную отработку (В. Казахстан);
- в оценке оловорудных проявлений, связанных с пегматитами (В. Казахстан и др.) и гранитами (Якутия, Киргизия, В. Казахстан) с разработками и реализацией рекомендаций на их использование в 2-х направлениях: 1) в локальном прогнозировании и глубинных поисках с бурением оловянно-танталовых фаций гранитных интрузий, не выходящих на дневную поверхность; рекомендации автора на поиски месторождений оловорудно-танталовых гранитов как принципиального нового типа сырья для Белогорского ГОКа в В. Казахстане, обоснованные для флангов Калбинской пегматитовой провинции, получили подтверждение в обнаружении при проходке скважин на рекомендованном участке «слепого» месторождения Карасу (9); 2) в организации извлечения тантала из шлаков оловоплавильных производств на базе танталсодержащих касситеритовых концентратов; рекомендации реализованы бывшим Эге-Хайским ГОКом (Якутия) на касситеритовых концентратах Кестерского месторождения редкометально-оловорудных гранитов и Орловским ГОКом – на подобных же концентратах из пегматитов Кулиндинского поля с ведущим Ta-Nb-Be-м оруденением;
- в составлении поминеральных балансов распределения редких металлов и олова в различных типах разведываемого пегматитового сырья с разработками индивидуальных коэффициентов сноса для ведущих минералов редкометальных пегматитов при обработке проб на концентрационном столе КЦ-30; результаты использованы в качестве разделов в сводных отчетах с подсчетами запасов по новым месторождениям редкометального сырья для обеспечения потребностей Белогорского ГОКа (В. Казахстан), утвержденных ГКЗ СССР (см. ниже);
- в оценке возможностей и перспектив извлечения танталита из складированных хвостов обогащения гравитационным способом богатых литий-тантал-бериллиевых пегматитовых руд с месторождения Кварцевое (В. Казахстан); авторская рекомендация на доизвлечение реализована Белогорским ГОКом;
- в составлении балансов распределения основных петрогенных и лимитируемых с технологических позиций компонентов в керамических пегматитах, эксплуатиовавшихся на кусковой КПШ (В. Казахстан, Новобратское); результаты использованы Белогорским ГОКом при разработке технологии и оценке перспектив комплексного использования отходов пегматитового сырья после ручной выборки КПШ с выпуском молотых К-На-полевошпатовых, мусковитовых и кварцевых концентратов.

Следует подчеркнуть особую актуальность выявления *новых источников редкометального сырья*, представленных не только месторождениями, но и отдельными продуктивными телами, не выходящими на дневную поверхность, а также обнаружения в пределах объектов ГРП или эксплуатации новых промышленно-ценных или лимитируемых с технологических и экологических позиций компонентов. Очевидно, что наибольшее практическое значение имеет обнаружение дополнительных, в том числе – нетрадиционных источников сырья и новых минералов, для предприятий – ветеранов ГПК как в связи с естественным истощением недр, так и отсутствием необходимой комплексности в использовании добываемого сырья, а также практикующими нарушениями требований по обеспечению полной экологической безопасности производств. Примером таких инициатив может служить вовлечение Белогорским ГОКом в эксплуатацию на тантал аномально (на порядок) обогащенных этим металлом редкометальных пегматитов месторождения Кварцевое, расположенного в 250 км к СЗ от предприятия. Эти пегматиты представлены новым, не описанным в литературе

микроклин-альбитовым с мусковитом, сподуменом и Li-Ta-Be-й специализацией (оруденением) типом, детально изученным автором (подготовлена специальная публикация). Ручной разборкой после отпалки рудной массы из пегматитов извлекался высококачественный берилл, после чего руда доставлялась автотранспортом на фабрику, где из нее гравитационным методом извлекался танталитовый концентрат. Сопоставление автором исходных содержаний тантала с параметрами извлечения позволило предположить значительные потери танталита в хвостах, что было подвержено их оперативным опробованием. Реализация авторской рекомендации на доизвлечение танталита из хвостов позволила предприятию без особых затрат получить дополнительную продукцию, но уже из местного техногенного источника. С другой стороны, изучением по договору с тем же ГОКом на тантал участка распространения оловорудных пегматит-аплитов (уч. Калай-Топкан) было установлено, что основным минералом-концентратором этого металла является касситерит, содержания которого не могли обеспечить рентабельность промышленной эксплуатации этого вида сырья.

Как известно пегматитовые месторождения редкометального и керамического сырья встречаются в различных геологических обстановках и пространственно не совместимы. Однако, в пределах центрального Асубулакского пегматитового поля Калбы как традиционного объекта эксплуатации Белогорским ГОКом редкометальных пегматитовых руд и связанной с ними россыпи оказалось локализованным и Новобратское месторождение керамических пегматитов с высококачественным калиевым полевым шпатом (КПШ). Организация здесь самостоятельного рудника и выпуск кускового КПШ обеспечивала 25% общесоюзного производства этого сырья. Выполненное нами всестороннее изучение пространственно-генетической зональности этого поля показало вполне закономерную локализацию керамических пегматитов в сателитово-жильном комплексе гранит-пегматит-аплитов. Этот комплекс характеризуется значительной расслоенностью не только жильных пегматитов, но и «материнских» гранит-аплит-пегматитовых фаций зонального ряда продуктивных пегматитов. Все они объединяются общностью геолого-структурной позиции и, в то же время, последовательной преемственностью состава редкометальными пегматитами в вертикальном диапазоне (500–600 м), вплоть до формирования Юбилейного месторождения наиболее поликомпонентных и максимально расслоенных пегматитов с промышленным Li-Cs-Ta-м оруденением.

В новых геополитических и экономических условиях обнаружение даже небольших по предварительным оценкам месторождений *редкометального* пегматитового сырья, в том числе – нетрадиционного, на обжитых территориях в регионах России и стран СНГ приобретает не менее важное значение, чем в районах действующих ГОКов. Это обусловлено, прежде всего, высокой конъюнктурой на мировом рынке минеральной и химико-металлургической редкометальной продукции, получаемой из пегматитового сырья как механизированными способами обогащения, так и ручной выборкой. Кроме того, в нашей стране крупнейшие разведанные месторождения редких металлов расположены в труднодоступных районах Сибири (за исключением Воронье-Колмозерской группы редкометальных пегматитовых месторождений на Кольском п-ве в 30–50 км от существующей инфраструктуры ОАО «Ловозерская ГОК»), а в странах СНГ, за исключением временно законсервированного Белогорского ГОКа в Казахстане, нет предприятий, добывающих и перерабатывающих редкометальное сырье. Очевидно, что наступило время избавления от советской гигантомании и переоценки перспектив ранее открытых, но не разведанных месторождений редкометальных пегматитов как в России (Приморье, Урал и др.), так и в странах СНГ (Узбекистан, Казахстан, Таджикистан, Киргизия и Украина).

В частности, заслуживают возобновления ГРП легкодоступные месторождения лепидолит-альбитовых пегматитов с B-F-комплексной специализацией в Приморье (Тургеневское) и с Li-F(P,OH)-Sn-Ta-й в Узбекистане (Кукчи), а также на Памире (Курустык), изученные и рекомендованные автором для оценки на глубину и на флангах в качестве источников лепидолитовых, танталитовых, тантал-содержащих касситеритовых концентратов, а в Приморье – и наиболее ценных микролитовых и поллуцитовых. Остаются вне сферы промышленных интересов и не оцененные должным образом достаточно крупные и доступные для автотранспорта поля литиевых пегматитов в Узбекистане (Турткуйлюк), на Украине (Сорокинское и др.), на Памире (Намангутское и др.), которые представляют интерес как источники литиевой продукции и сопутствующей ниобий-оловянно-танталовой, а возможно и тантал-цезиевой по аналогии с Урикским и Гольцовым месторождениями в В. Саяне, Наукинским – в Узбекистане, Белогорским – в В. Казахстане и т.д.

Редкометально-керамические пегматиты, также не нашедшие отражения в прежних классификациях, выделены и изучены нами в Узбекистане (Лолабулак) и на Памире (Агаджан). В пределах Лолабулакского пегматитового поля разведывался уч. Сулат-сай исключительно на кусковой КПШ. В результате проведенных нами исследований установлено, что пегматиты этого участка представлены альбит-микроклиновым и микроклин-альбитовым с мусковитом и Li-Ta-Sn-Be-й специализацией типами, которые в масштабах Лолабулакского поля сопоставимы с эксплуатируемыми в Кольском регионе (Чалмозеро) и Карелии (Чкаловское, Хеголаминское) месторождениями пегматитов. Однако, в отличие от них, в пегматитах Сулат-сай, помимо КПШ. (23–28%), промышленно-ценными минералами являются крупнокристаллический берилл (0,68% BeO в жилах), а также мусковит и железисто-фторидно-литиевые слюды с содержаниями 1,3–1,4% Li₂O, 0,3–0,4% Rb₂O и 0,03–0,04% Cs₂O), танталоколумбит и касситерит, с которыми связаны содержания в жилах ≥0,01%

$Ta_2O_5 + Nb_2O_5$ и 0,012% Sn. В связи с этим нами была своевременно обоснована рекомендация на комплексное освоение месторождения Сулат-Сай [14], обновленная в 2003 г. в связи с необеспеченностью Самаркандского и Ташкентского фарфоровых заводов местным высококачественным калиевым сырьем. Эта рекомендация, дополненная предложением организовать наиболее эффективное производство литиевого фарфора с использованием в качестве минерализующих добавок лепидолита с Кукчинского или маложелезистого сподумена с Наукинского месторождений, утверждена 27.12.2003 г. (Протокол технического совещания при председателе Госкомитета по геологии и минеральным ресурсам Республики Узбекистан).

Менее определенными представляются перспективы освоения Агаджанского месторождения микроклин-петалит-альбитовых пегматитов (с мусковитом и литиевой специализацией) на Восточном Памире (Таджикистан), хотя это месторождение является единственным в СНГ, специализированным на петалит как весьма дефицитное сырье для стеклокерамических производств (ситаллы и др.). В то же время результаты наших исследований свидетельствуют о повышенных концентрациях тантала и олова в средних и особенно верхних горизонтах этого жильного поля (см. табл. 1). Заметим, что это характерно и для более распространенных сподуменсодержащих (вместо петалита) пегматитовых полей ЮЗ Памира (например, Намангутского) и Узбекистана. В частности, в военные 40-е годы верхние горизонты зональных микроклин-альбитовых пегматитов с биотитом, мусковитом, турмалином и В-Ф-комплексной специализацией, не перспективные на редкие металлы, служили на Туркестанском хребте объектом эксплуатации исключительно на олово с получением гравитационных концентратов на обогатительной фабрике, которые доставлялись по горной тропе выючным транспортом с высоты порядка 4000 м над уровнем моря к автотранспортной магистральной (Карасу Каравшинское и др.). В современных условиях рассматриваемые месторождения Памира и других высокогорных районов в государствах Средней Азии, доступные для автотранспорта, по мнению автора, могут стать объектами эксплуатации малыми горно-технологическими предприятиями на тантал и олово как наиболее ценные металлы с перспективой вовлечения в этот процесс по мере углубления выработка литиевых (сподуменовых и петалитовых) руд, а также сопутствующего им в некоторых жилах поллукита [14].

Совокупность приведенных рекомендаций по вовлечению в процессы ГРП и отработку в малых и средних формах различных видов редкометалльного, редкометалльно-керамического и редкометалльно-оловорудного сырья представляется не только актуальной, но и необходимой в связи со значительным спадом и приостановкой в России в условиях «переходного периода» производств ведущей редкометалльной продукции из собственного минерального сырья (Ta, Nb, Be, TR, Li, Cs, Rb, Sr и др.), а также олова (например, в связи с ликвидацией крупного и современного Солнечногорского ГОКа). В сложившейся ситуации трудно ожидать как быстрого реанимирования приостановленных, физически и морально устаревших редкометалльных производств, так и создания новых на базе давно разведанных, но оставшихся в течение десятилетий неосвоенными крупных сибирских месторождений редкометалльного сырья. Даже в условиях планового хозяйствования и мобилизационной экономики освоение подобных месторождений с созданием ГОКа (без химико-металлургических переделов) при отсутствии готовой инфраструктуры занимало 10–15 лет. В современных условиях интегрирования в холдинговые структуры горной добычи, обогащения рудного сырья и химико-металлургических переделов минеральных концентратов эти сроки не могут быть меньшими. В то же время провозглашаемые в нашей стране планы возрождения и развития ОПК, включая реализацию космической программы на перспективу 35–40 лет, а также планы воссоздания и модернизации на базе высоких технологий энергетики, авиа- и автопрома, в ближайшие 10 лет, железнодорожного транспорта и судостроения, создания новых магистральных трубопроводов и обеспечения качественного высотного строительства немыслимы без широкого внедрения в эти производства новых материалов, включающих редкие металлы и их сплавы. Именно они обеспечивают во всем мире, включая бывший СССР, научно-технический прогресс, экономическую и национальную безопасность [1, 2]. В то же время сложившаяся в последние годы практика удовлетворения потребностей России в титане, цирконии, стронции, карбонате лития и феррониобии, редких землях, рении, висмуте и других стратегически важных редкометалльных продуктах за счет импорта при наличии собственной, хотя и не во всем соответствующей мировым стандартам минерально-сырьевой базы, представляется не соответствующей задачам обеспечения конкурентоспособности нашей промышленности и, тем более, национальной безопасности.

С этих позиций рекомендуемое автором ускоренное создание и развитие новых производств редких металлов и олова за счет освоения малых и средних по запасам месторождений легкообогащаемого пегматитового сырья в России и на корпоративной основе – в странах СНГ, в том числе с использованием передвижных обогатительно-передельных модулей МГТП со смешанным государственно-частным капиталом, может не только обеспечить *текущие* потребности в этих металлах российской промышленности, наряду с получением их в качестве попутных компонентов из других видов природного и техногенного сырья [16], но и стимулировать интенсификацию ГРП и связанных с ними производств во всем экономическом пространстве СНГ.

В целом, приведенные данные и соображения, прежде всего, свидетельствуют о широком видовом разнообразии редкометалльного сырья, связанного с пегматитами и гранитами в отличие от прежних класси-

фикаций и представлений [15], не нашедших подтверждения в новом фактическом материале на территории бывшего СССР и, тем более, за рубежом. Не выдержал проверки временем и тезис об исключительной приуроченности крупных промышленных месторождений редкометальных пегматитов к докембрийским щитам [15]. Во-первых, такие крупнейшие и богатые месторождения как Бикита в Зимбабве и Берник-Лейк в Канаде относятся к разряду уникальных и, подобно российским Хибинам и Ловозеру, могут не иметь в мире аналогов. Во-вторых, за рубежом и в России эксплуатируются разновозрастные месторождения, независимо от их размеров, в том числе – малые и средние в Африке (например, в Мозамбике). Их инвестиционная привлекательность изначально определена природой, а прибыль от освоения и эксплуатации в каждом конкретном случае рассчитывается инвестором с учетом потребительского спроса и предложения на редкометальную продукцию. В-третьих, работами Л.Н. Россовского в Афганистане установлены крупные размеры месторождений литиевых пегматитов мезозойского возраста (триас), не уступающие докембрийским, а возможно и превосходящие их. Жилы этих пегматитов прослеживаются до 3 км по простиранию при мощности до 70 м и являются рельефообразующими, будучи локализованными в осевых частях горных хребтов, склоны которых представлены жильемещающими сланцами. Установленная нами зависимость концентрации тантала и цезия (с рубидием) от масштабов литиевого оруденения позволяет прогнозировать в Афганистане обнаружение сопутствующих месторождений и этих наиболее ценных металлов.

Приведенные данные однозначно свидетельствуют о потенциальной возможности локализации и, следовательно, перспективах выявления промышленно значимых редкометальных месторождений гранитовой формации в пределах среднеазиатских государств СНГ. Об этом же свидетельствуют объективные данные морфоструктурного анализа проявлений пространственно-генетической зональности в изученных нами редкометальных пегматитовых полях. Все они слабо вскрыты эрозией, преимущественно в апикальных и верхних горизонтах жильных серий, в то время как необходимые для их оценки на глубину и на флангах комплексы геофизических работ, геохимическое картирование и поисково-оценочное бурение ранее не проводились. Более того, прогнозные морфоструктурные карты в м-бах 1:50000 – 1:10000 позволили выделить в пределах изучавшихся пегматитовых полей интервалы нарушений их направленной зональности, обусловленные наличием относительно опущенных неотектонических блоков с не выходящими на дневную поверхность рудными телами. К такому блоку на фронтальном фланге Наукинского поля микроклин-сподумен-альбитовых пегматитов оказались приуроченными лепидолит-альбитовые жилы, в том числе – установленные бурением в соответствии с нашей рекомендацией. В этих жилах впервые для Средней Азии были обнаружены высокие концентрации тантала (колумботанталит и микролит) и цезия (поллуцит).

Все вышеизложенное, включая публикации прежних лет, свидетельствует о достаточно высокой эффективности разработанного автором рационального комплекса методов локального прогнозирования, поисков оценки перспективности редкометальных производных гранитовых формаций. При этом на ранних стадиях ГРП ключевым является вынос результатов детального минерально-парагенетического картирования фациальной зональности интрузивно-инъекционных образований с выделением и типизацией их продуктивной части на специально составляемые морфоструктурные карты. Сопровождающий комплекс опробования безрудных и продуктивных фациальных производных гранитных интрузий с выносом результатов петрохимических и минералого-геохимических исследований на эталонированные для различно специализированных гомологических рядов диаграммы-палетки позволяют оценивать перспективность как новых, так и уже известных, но остающихся недоизученными и не оцененными, объектов поисково-оценочных работ.

Эти виды НИР должны выполняться в *предпроектный* период организации производственных поисково-оценочных работ, включая широко распространенную практику формального геохимического картирования поисковых площадей. Очевидно, что предварительная информация о типе искомого оруденения, т.е. его минералого-геохимической специализации и проявлениях пространственной зональности, наряду с геолого-структурной позицией объекта и неотектоническим районированием площади поисков, существенно конкретизируют задачи геохимического картирования и повышают его эффективность.

На поздних стадиях ГРП и особенно при переоценке различных эксплуатируемых месторождений на редкие металлы, другие ценные и лимитируемые элементы-примеси, наоборот, ведущее значение приобретают различные методы детального геохимического картирования самих рудных тел, которые должны сопровождаться количественно-минералогической заверкой выявляемых аномалий и составлением поминеральных балансов распределения не только профилирующих металлов, но и сопутствующих им особо ценных и лимитируемых микрокомпонентов, включая токсичные. Тем самым создается информационная основа, необходимая для оценки возможностей и перспектив глубокой комплексной переработки и использования минерального сырья, в том числе – путем выбора оптимальных, скорее всего, комбинированных обогатительно-перерабатывающих технологических схем, расчетов его извлекаемой ценности в реальных минеральных формах и, соответственно, извлекаемых, а не геологических запасов, которые в нашей стране как правило подсчитываются по данным химического опробования на профилирующие компоненты. Ниже рассматриваются примеры выполнения таких ревизионно-оценочных НИР на объектах эксплуатации и их результативность.

Малообъемное минералого-геохимическое картирование как экспрессный способ геометризации пространственного распределения в недрах особо ценных и лимитируемых компонентов в реально извлекаемых минеральных формах

Это методическое направление переоценки эксплуатируемых месторождений на сопутствующие особо ценные компоненты и ассоциирующие с ними лимитируемые элементы-примеси было разработано в связи с возникшей перед ГОКаи необходимостью существенной детализации и корректировки данных геологоразведки, традиционно ориентированной на подсчеты запасов исключительно профилирующих компонентов. Работы, выполненные по договорам с Костомукшским ГОКом (ныне ОАО «Карельский окатыш»), ОАО «Апатит» и ОАО «Ковдорский ГОК», были, соответственно, ориентированы на *золото* в железорудном сырье, *титан* и *редкие металлы* – в фосфатно-глиноземном и *цирконий с ураном и торием* – в фосфатно-железорудном сырье. В целях привязки данных о закономерностях пространственного распределения этих компонентов к сети ГРП и более плотной – эксплоразведки использовались дубликаты производственных проб. Это позволило по получению результатов аналитических исследований составлять детальные погоризонтные планы, продольные и поперечные разрезы распределения элементов-спутников в изоконцентрах в соответствии с рассчитанными грациями их содержаний. В качестве основного экспрессно-аналитического метода использовался массовый (на 40 элементов из одной навески) атомно-эмиссионный спектральный анализ (АЭСА), разработанный в БГГЭ при ИМГРЭ для поискового и экогеохимического картирования и затем существенно усовершенствованный (17 – см. ниже). Заверка выявленных геохимических аномалий на золото, редкие металлы и радиоактивные элементы осуществлялась соответствующими прецизионными методами анализов, а затем и количественно-минералогическими анализами проб-протолок с выделением мономинеральных фракций и определениями в них теми же методами содержаний особо ценных и лимитируемых компонентов. Групповые пробы весом до 20–25 кг составлялись как по оконтуренным геохимическим аномалиям в случае отсутствия проявлений минерально-парагенетической зональности в рудах и вмещающих породах (Костомукша), так и по элементам расслоенности (зонам), представляющим разновидности или типы руд продуктивных апатито-нефелиновых залежей Хибинских месторождений и апатито-магнетитовых карбонатитов Ковдора. Типизация руд производилась с учетом принятых на рудниках структурно-парагенетических классификаций и существенно корректировалась результатами минералого-геохимических исследований в соответствии с принципами, разработанными для пегматитового сырья, т.е. по преобладающим минералам и ведущей рудной специализации. Тем более что автор, в соответствии с представлениями А.А. Маракушева, рассматривает со своих позиций рудные залежи расслоенных Хибинского и Ковдорского массивов в качестве их «остаточных» продуктивных пегматоидных фаций, не потерявших, подобно редкометальным гранитам, связь с рудогенерирующим источником.

Геохимическое картирование железорудной залежи и пород вскрыши *Костомукшского* месторождения в карьере Южном позволило оконтурить зону повышенных концентраций золота в недрах и определить их параметры в рассчитанных грациях (0,001; 0,01; 0,1; ≥ 1 г/т), отвечающих минимально-промышленным содержаниям золота как попутного компонента коренных и россыпных месторождений, эксплуатируемых открытым способом. Обработка значимых результатов ($\geq 0,003$ г/т) произведена по 75% проб с учетом нижних пределов извлечения тонкодисперсного золота ($\geq 0,03$ г/т) новейшими технологическими методами. Все геохимические пробы были подвергнуты массовым атомно-эмиссионным спектральным анализам на 40 элементов, а их представительные выборки (250 проб) – спектрохимическим анализам на золото с контрольной проверкой результатов пробирным методом по 20 пробам. В результате геометризации распределения золота в недрах Костомукши в пределах первого карьера золотосодержащая зона прослежена на 600–700 м по простиранию и 130–140 м на глубину (по вертикали) от дневной поверхности. Она имеет конфигурацию «конского хвоста», с увеличением суммарной мощности к СЗ в несколько раз. В том же направлении, с некоторым смещением к висячему боку железорудной залежи, увеличиваются и содержания золота. Корреляционный анализ данных 40-элементного анализа и спектрохимических определений золота в указанных выборках одних и тех же проб позволил рассчитать мультипликативный коэффициент продуктивности на золото $K_p = As \cdot Sb \cdot (Pb)$ и коэффициент зональности $K_z = As \cdot Ag \cdot Sb \cdot (Pb)/Ni \cdot Co \cdot Cu$ золотоносных зон в железорудной залежи и вмещающих породах.

Минералого-геохимической заверкой выявленных аномалий установлено, что ведущие минералы – его концентраторы, представлены пирротинотом (от 48–58 до 186–290 кг/т), арсенопиритом (от 96–156 г/т до 0,5–10,2 кг/т) и пиритом (от 134–340 г/т до 0,2–2,3 кг/т). Обнаружена прямая зависимость уровней концентрации золота в руде и породах вскрыши от содержаний этих сульфидных минералов и обратная – с содержанием магнетита. Результаты анализов мономинеральных фракций этих минералов на золото нейтронно-активационным методом свидетельствуют о преимущественной его концентрации в арсенопирите (от 11 г/т до 2,23 кг/т), в меньшей степени – в пирите и пирротине (0,02–0,11 г/т), а также в магнетитах и ильмените ($\leq 0,02$ г/т). Свободное золото на данной стадии выполненных работ обнаружено не было, что требует дополнительных специальных исследований и, прежде всего, составления поминеральных балансов распределения золота в исходном железорудном сырье.

Результаты выполненных работ позволяют рекомендовать руководству ОАО «Карельский окатыш» их продолжение в направлениях детального геохимического картирования остальных эксплуатационных участков железорудного поля, комплексной оценки его перспектив на золото с сопутствующими особо ценными и лимитируемыми с технологических позиций микрокомпонентами (Ag, Co, Ge, Ti, V, Nb, Zr, S, P, As, Pb, Ti, U, Th и др.) в соответствии с разработанной методикой и изучения их распределения в сквозном элементопотоке производства по схеме «недра – обогащение (ДОФ) – агломерация (ЦПО) – хвостохранилище» с выявлением технологических узлов возможной концентрации золота (18). К настоящему времени известны спорадически обнаруживаемые содержания золота в концентратах, выделенных из хвостов ММС (до 3,3–7,7 г/т) и обогащенных гематитом относительно магнетита, в лежалых хвостах обогащения (до 6,5 г/т) и, наконец, в пылях агломерационного цеха (0,01–0,03 г/т), накапливаемых на электрофильтрах и распределителях ЦПО в течение 6 мес., где золото, согласно нашим исследованиям, ассоциирует с особо ценным и токсичным *таллием* (от 10 до 20–30 г/т), *мышьяком*, *серебром*, никелем, хромом, ванадием, стронцием (от 100–200 до 500–600 г/т – 18). Тем самым для ОАО «Карельский окатыш» прогнозируются перспективы попутного получения золота при условном минимальном содержании порядка 1 г/т в объемах до 5–10 т/год и более при достигнутых производственных мощностях по руде в 19 млн. т и ежегодных сбросах в хвостохранилище песков и шламов 12,5 млн. т.

На эксплуатируемых месторождениях апатито-нефелиновых руд ОАО «Апатит» разработаны эффективные способы геохимической *геометризации* в недрах распределения промышленно-ценных *минералов* по индивидуальным элементам-индикаторам и геохимическим мультипликативным показателям: $Ti \cdot V$ – для титаномagnetита, $Ti \cdot Nb$ – для сфена, Sr – для апатита. С использованием этих показателей в висячем боку (кровле) апатито-нефелиновых залежей Кировского, Юкспорского и Центрального рудников околонтурены зоны концентрации сфена, содержащего 0,3% Nb_2O_5 , а в лежачем боку (подошве) – зоны концентрации титаномagnetита (1% V_2O_5). Распространение последней прослеживается в экзоконтактах апатит-нефелиновой залежи и, далее, на десятки метров – во вмещающих ее со стороны лежачего бока уртитах, которые в этих пределах представляют собой бедное фосфатное, но наиболее богатое титаном сырье. Как известно, опробование при подсчетах запасов профилирующего фосфатного сырья в Хибинах осуществлялось исключительно на титан, что не позволило оценить сопутствующее титановое сырье в реально извлекаемых минеральных формах и, соответственно, их селективную обогатимость. Более того, детальными количественно-минералогическими анализами впервые установлено (1988–90 гг.), что черная тяжелая фракция, традиционно диагностируемая как титаномagnetит, фактически обогащена ильменитом [16].

Таким образом, для ОАО «Апатит» обоснованы возможности и перспективы *селективной* добычи сфена из прикровельных зон апатито-нефелиновых залежей, что практиковалось в довоенные годы на Кировском руднике в целях получения из сфеновых концентратов титанового пигмента, а из фосфатной руды и фосфатно-титановых уртитов подошвы – получения 2-х титановых концентратов: ванадийсодержащего титаномagnetита и обогащенного титаном ильменита. Обоснование возможностей получения при обогащении апатито-нефелиновых руд 3-х титановых концентратов вместо традиционно рассматриваемых 2-х (сфенового и титаномagnetитового) или использования для химико-металлургических переделов их коллективного концентрата ликвационной плавкой с последующими кислотными методами извлечения титана и сопутствующих редких (V, Nb, Ta, TR, Sr) и радиоактивных (Th, U) элементов-примесей открывает новые перспективы попутного получения химической и металлургической титановой и редкометалльной продукции из добываемого отечественного сырья, что особенно актуально для вовлечения в эксплуатацию фланговых месторождений Хибинской «дуги» (Олений ручей и Партомчорр) новым недропользователем – ОАО «СЗФК» [19].

Существенное практическое значение имеет также установленная геохимическим картированием с последующей минералого-геохимической заверкой аномальная обогащенность апатита стронцием ($\geq 5\%$) в осевой зоне апатито-нефелиновой рудной залежи, что также представляет интерес для *селективной* отработки подобных зон с извлечением из апатитового концентрата стронция в условиях временного отсутствия в России других сырьевых источников этого редкого металла с утвержденными запасами.

Указанные методические разработки пока не имеют альтернатив в переоценке хибинских месторождений на широкий комплекс редких и токсичных элементов-примесей, что сохраняет свою актуальность в условиях крайне неравномерной и неполной изученности разведанных объектов на эти элементы, включая утвержденные ГКЗ запасы, и, в то же время, давно назревшей необходимости организации их промышленного извлечения, в том числе – при селективной добыче и глубокой переработке апатито-нефелинового сырья с использованием комбинированных обогатительно-передельных схем [16, 19].

Оптимальное сочетание детального радиометрического и геохимического картирования бадделейт-apatит-магнетитовых руд в карбонатитах *Ковдорского* месторождения, эксплуатируемого одноименным ГО-Ком, с визуальным минералого-петрографическим методом предварительной классификации разновидностей этих руд позволили околонтурить их основные, наиболее контрастные типы (сорта) на сводном погоризонтном плане изоконцентратами распределения редких и радиоактивных элементов. Детальное минералого-геохимическое изучение выделенных разновидностей и 3-х основных сортов бадделейтсодержащих руд, включая

мономинеральные фракции и промышленные концентраты, потребовало выполнения трудоёмких количественно-минералогических анализов рудных проб в сочетании с прецизионными физико-химическими и физическими методами, включая использование микрозонда для изучения состава тонковкрапленного бадделеита. Тем самым были расшифрованы природа и специфика пространственной локализации участков повышенной радиоактивности бадделеитсодержащего ковдорского сырья, недоизученных в процессе разведки месторождения и оказавшихся необходимыми при организации выпуска, оценке и особенно реализации бадделеитового концентрата как наиболее ценного товарного продукта [6, 10].

Выполненные исследования с составлением сводных геохимических планов распределения Zr, Hf, U и Th в пределах эксплуатируемого месторождения позволили получить следующие основные результаты:

- оконтурены (в изоконцентрах) участки и зоны повышенных содержаний редких металлов и радиоактивных элементов;
- установлена более широкая площадная распространенность 6-8 локальных радиоактивных аномалий в пределах южной – центральной части рудной залежи сравнительно с данными ГРП, согласно которым выделялась центральная «Аномальная зона», в которой главные минералы-концентраторы радиоактивных элементов были представлены гатчеттолитом и циркелитом, т.е. преимущественно коррелировались с танталом и ниобием;
- пространственное совмещение локальных максимумов концентрации Zr и Hf на севере рудной залежи при отсутствии радиоактивности, Zr и Hf с Th на востоке и, наконец, Zr, Hf, U и Th в южной – центральной части залежи, заверенных количественно-минералогическими анализами и данными о их содержаниях в бадделеитах, позволяет выделять 3 сорта бадделеитсодержащих руд и рекомендовать их селективную добычу и переработку для разных потребительских целей: 1-й нерадиоактивный сорт – для традиционного производства огнеупорных изделий, 2-й ториевый – для специальной металлокерамики и извлечения редких металлов и тория, 3-й торий-урановый – для тех же целей с предварительным извлечением радиоактивных элементов;
- установлена устойчивая преимущественная концентрация в структуре бадделеита не только циркония, но и изоморфного с ним гафния (15 кг/т), а также тантала (2,2 кг/т), скандия (от средних 250 г/т до 400–600 г/т и более) и других редких металлов, что свидетельствует о его повышенной извлекаемой ценности, которая не учитывается отпускными, прежде всего, экспортными ценами;
- выявлена повышенная радиоактивность бадделеита, максимальная в пределах нескольких комплексных редкометалльно-радиоактивных аномалий, представляющих район «Аномальной зоны», выделенной в процессе ГРП в качестве однородного участка;
- определены уровни концентрации урана (400–1100 г/т UO_2) и тория (50–300 г/т ThO_2) в мономинеральных фракциях бадделеита из выделенных сортов руд и предельные величины удельной радиоактивности (при фоне 40 п-Ку/кг) товарных (470–570 Ку/кг) и черновых (до 2487 Ку/кг) бадделеитовых концентратов; аномально повышенные радиоактивные характеристики бадделеитовых концентратов относительно установленных для 2-х разновидностей монофракций обусловлены микропримесями и сростками ассоциирующих с ними минералов-концентраторов радиоактивных элементов (гатчеттолита, циркелита, перовскита и др.), которые сосредоточены в оконтуренных аномально радиоактивных участках.

Разработанная методика погоризонтного малообъемного минералого-геохимического картирования бадделеит-апатит-магнетитовой рудной залежи внедрена в практику опережающей погоризонтной оценки качества сырья, подготавливаемого к отработке ОАО «Ковдорский ГОК». В то же время, в условиях отсутствия в России в течение длительного времени собственного промышленного источника циркония, представленного традиционными для мирового производства циркониевыми концентратами (870 тыс. т в 2005 г.), ковдорские бадделеитовые концентраты представляются пока единственным реальным и исключительно ценным (от 1300 до 3000 долл./т на мировом рынке) редкометалльно-керамическим сырьем, используемым за рубежом для непосредственного производства специального керамического плава с последующей стабилизацией его добавками иттрия [6].

В связи с этим МХК «Еврохим» рекомендовано рассмотреть и оценить возможности и перспективы создания собственного редкометалльно-керамического и попутного редкометалльного (Sc, Ta, Hf, Th и др.) производства с использованием инфраструктуры ОАО «Ковдорский ГОК» и г. Ковдора, определения оптимальных пропорций внутреннего потребления и экспорта бадделеита и повышения его стоимости с учетом содержаний указанного комплекса редких металлов, представляющих интерес для промышленного извлечения с минимальными производственными издержками. Тем более что специалистами-технологами МИСИС и ИХТРЭМС КНЦ РАН предложены варианты химической очистки и переработки бадделеита с селективным извлечением наиболее ценных редких металлов.

Составление поминеральных балансов распределения полезных и лимитируемых компонентов в различных типах руд как способ их дифференцированной паспортизации в целях выбора оптимальных схем переработки и оценки перспектив комплексного использования

Методические особенности составления поминеральных балансов распределения полезных и лимитируемых компонентов в рудах определяются спецификой их состава и заданными целями. Последние,

прежде всего, определяются необходимостью количественного учета соотношений между концентрированными и рассеянными минеральными формами нахождения в рудах редких и благородных металлов, радиоактивных и других токсичных или лимитируемых с технологических позиций элементов-примесей, что соответствует требованиям ГКЗ к подсчетам редкометалльного сырья. Кроме того, необходимость в составлении поминеральных балансов возникает при решении сугубо технологических, экологических и геолого-экономических задач, так как позволяет оценивать реально извлекаемую при обогащении и переделах руд долю полезных лимитируемых компонентов, т.е. в конечном результате – их *извлекаемые*, в отличие от валовых *геологических*, запасы. Методические особенности работ в этих направлениях иллюстрируются примерами составления поминеральных балансов распределения редких и радиоактивных компонентов в 2-х главных видах редкометалльного сырья, представленных разведваемыми месторождениями пегматитовых руд (Li-Cs(Rb)Ta-Sn и др.), рекомендуемых к промышленному освоению и эксплуатируемых – уртитовых (Ta-Nb-TR-Sr-Ga-Rb-Cs-U-Th).

Поминеральные балансы распределения ведущих редких металлов в редкометалльных пегматитах месторождения «Юбилейное» были составлены в качестве раздела к сводному отчету с подсчетом запасов, утвержденному ГКЗ СССР в качестве нового, наиболее комплексного и богатого источника тантала для *Белогорского ГОКа* (В. Казахстан). Методика оценки качества редкометалльного сырья с этих позиций включает:

- отбор представительных (исходных и групповых) проб по естественным минеральным ассоциациям (парагенетическим комплексам), характеризующимся устойчивым и, вместе с тем, контрастным составом, структурно-текстурными особенностями и выполняющими в жилах достаточно крупные и закономерно локализованные обособления и зоны; при этом в качестве главного классификационного признака выделенных комплексов, определяющего их названия, использовалось количественное преобладание в них тех или иных порообразующих минералов

- количественно-минералогический анализ легкой и тяжелой фракций искусственных шлихов, выделенных из проб парагенетических минеральных комплексов, и параллельно – выделение технологическими методами основных промышленно-ценных концентратов (и шламов) из тех же проб для последующего изучения их состава химическими, физико-химическими и ядерно-геофизическими методами анализа; одновременно проводилось изучение среднего валового химического состава минеральных комплексов (силикатный анализ с определением из тех же навесок комплекса редких элементов, олова и летучих компонентов)

- выделение типов руд на основе изучения валового химико-минерального состава парагенетических комплексов по ведущим полезным компонентам и расчеты балансов распределения редких элементов и олова между минералами парагенетических комплексов и типов руд в двух вариантах: а) «технологическом» - со шламами и б) «в недрах» - без шлама.

Балансы составлены для выделенных типов руд: I – нерудного сырья (K-Na-полевые шпаты, кварц, слюда) с попутной убогой Ta-Nb-Be минерализацией; II – рядовой Sn-Nb-Ta руды; III – богатой литиевой (сподумен) руды с попутной Ta-Nb минерализацией; IV – комплексной редкометалльной руды с богатой Li-Cs-Ta минерализацией. При этом выделенные нами границы зон распространения I (забалансового) типа пегматитового сырья и трех типов редкометалльных (балансовых) руд почти полностью совпали с контуром забалансовых запасов редких металлов, определенным ГРП по установленным кондициям. По распространенности в пределах месторождения и содержаниям промышленно-ценных минералов-концентратов тантала (с Nb и Sn) ведущее значение принадлежит II (танталовому) типу руд и, в меньшей степени, IV (комплексному редкометалльному), который характеризуется богатой Li-Cs-Ta-й минерализацией, но по распространенности несоизмеримо уступает остальным типам редкометалльных руд. В III (литиевом) типе танталовой минерализации по абсолютному содержанию имеет значение сопутствующего компонента.

Главным промышленно-ценным минералом *тантала* является колумбит-танталит ($Ta_2O_5/Nb_2O_5 = 1,4-2,3$), а в IV типе руд – и микролит, значительное количество которого здесь установлено впервые. Кроме того, промышленно-ценным танталсодержащим минералом является касситерит ($1,63-3,43\% Ta_2O_5$ при отношении $Ta_2O_5/Nb_2O_5 = 5,0-10,6$).

Составленные балансы распределения редких элементов и олова между минералами свидетельствуют о том, что во II и IV типах более 90% тантала сосредоточено в технологически извлекаемых минеральных формах, перечисленных выше. Среди последних почти все количество тантала обычно связано с колумбит-танталитом, и лишь 2-10% его сосредоточено в касситеритах. Однако в IV типе руд до 47-83% тантала связано с микролитом, в то время как на долю колумбит-танталита приходится значительно меньшее количество тантала. Тем самым поставлен вопрос о необходимости различных способов обогащения танталит- и микролитсодержащих руд, т.к. хрупкий микролит при традиционном обогащении теряется в хвостах и поэтому требует применения винтовых сепараторов.

Согласно ориентировочному авторскому подсчету запасов, в редкометалльных рудах II, III и IV типов сосредоточено 124 т Ta_2O_5 в реально извлекаемых минеральных формах, причем 100 т – за счет колумбит-танталита, 9 т – за счет микролита и 6 т – касситерита, количество которых, соответственно, составляет 209 т, 12 т и 333 т.

Цезий и рубидий преимущественно сконцентрированы в слюдах, основное количество которых в редкометальных рудах II и III типов представлено литиевым мусковитом (0,47-0,7% Rb₂O и 0,1-0,3% Cs₂O). Со слюдами связано от 55% (II тип) до 60% (IV тип) рубидия и от 41% (II тип) до 13% цезия (IV тип). Главным минералом-концентратором цезия в IV типе руд является поллучит, с которым связано 88% цезия. Следует подчеркнуть, что месторождение Юбилейное является 3-м в странах СНГ (после России) источником наиболее ценного Rb-Cs поллучитсодержащего сырья, которое разведано в районе деятельности временно приостановленного Белогорского ГОКа. Здесь с поллучитом (~2000 т) связано порядка 555 т диоксида цезия с сопутствующим рубидием.

Литий, а также *бериллий* и *олово*, в основном, представлены в редкометальных рудах месторождения традиционно извлекаемыми минералами - сподуменом (129 т) и, в меньшей степени, амблигонит-монтебразитом (4567 т), бериллом (4224 т) и касситеритом (290 т). Общее количество литиевого мусковита в редкометальных рудах II, III и IV типов Юбилейной, по данным авторов, составляет 21 тыс. т, а лепидолита – 5,1 тыс. т. Примечательно, что с I (нерудным) типом также связано 55 тыс. т литиевого мусковита. Столь широкая распространенность литиевого мусковита, впервые установленная автором, ставит вопрос о целесообразности его использования либо в качестве ценного редкометально-керамического сырья, либо в качестве источника рубидия (130 т) в комплексе с цезием (46 т), литием и галлием.

В I нерудном типе пегматитового сырья, кроме литиевого мусковита, сосредоточено, согласно авторским расчетам, 52 т танталит-колумбита, 43 т касситерита и 3555 т берилла.

В целом по месторождению «Юбилейное» запасы нерудного сырья оцениваются нами в 838 тыс. т K-Na-полевых шпатов (527 тыс. т – в редкометальных рудах), 493 тыс. т кварца и 77 тыс. т литиевого мусковита, которые следует рассматривать в качестве молотой нерудной продукции. Не исключено, что при решении задач возобновления деятельности Белогорского ГОКа в Казахстане эта продукция окажется профилирующей, а танталовая и остальная – сопутствующей.

Для традиционного редкометального сырья *Ловозерского ГОКа* как производителя лопаритовых концентратов, служивших главным источником в СССР Ta, Nb, TR (70–80%) с попутным титаном, достаточно актуальной остается организация комплексной переработки и использования *нефелинсодержащих* отходов обогащения. Нашими исследованиями установлено, что они заметно обогащены относительно хибинского нефелинового сырья галлием, цезием и рубидием, но обеднены глиноземом. В связи с этим была обоснована геолого-экономическая рекомендация на шихтование хибинских нефелиновых концентратов ловозерскими в определенной пропорции, позволяющей использовать в производстве глинозема и других химических продуктов, включая рассеянные редкие металлы, смешанный концентрат с приемлемыми содержаниями глинозема и повышенными – рассматриваемых редких металлов.

Это обстоятельство, а также отсутствие технологических возможностей разделения нефелина и полевых шпатов, включая КПШ (ортотлаз), представляющих фабричные так называемые «нефелиновые концентраты» и отходы обогащения, обусловили необходимость составления поминеральных балансов распределения галлия, рубидия и цезия между нефелином и полевыми шпатами. Решение этой задачи представляло собой самостоятельный, наиболее трудоемкий раздел работы, включавшей вышеописанные для редкометальных пегматитовых руд операции по отбору проб для всех разновидностей редкометальных руд Ловозерского месторождения, их обработку и необходимые аналитические исследования. Применительно к составлению балансов распределения рассеянных редких металлов в минералах легкой фракции был использован усовершенствованный нами метод фазового анализа, разработанного еще в начале 40-х годов Б.Н. Мелентьевым и А.И. Володченковой применительно к количественно-минералогическому изучению апатито-нефелиновых руд Хибин с использованием избирательной растворимости нефелина, позволяющей разделять друг друга фазы этого главного промышленно-ценного минерала и 2-х полевых шпатов – КПШ (ортотлаза) и плагиотлазов с одновременным выделением монофракций остальных минералов (20). Специально разработанная модификация этого метода включала следующую последовательность операций по разделению, рафинированию и анализам минералов легкой фракции, позволившую впервые решить поставленную задачу:

- квартование и взвешивание 20 г навески легкой фракции по каждой групповой пробе (классы +0,25; +0,1; -0,1);

- освобождение полевошпатово-нефелиновых концентратов от примесей эвдиалита и других растворимых и нерастворимых минералов: 1) в тяжелых жидкостях с разделением исходной навески на фракции с удельным весом <2,735 (полевошпатово-нефелиновый промпродукт) и >2,735 (посторонние минералы); 2) электромагнитом (I-15A) Окунева из фракции с удельным весом <2,735;

- квартование и взвешивание 10 г-навески полученного полевошпатово-нефелинового концентрата, который подвергается: а) количественно-минералогическому анализу в иммерсионных препаратах (с учетом данных анализа исходной навески легкой фракции; б) истиранию и анализам на галлий и щелочные металлы (Na, K, Li, Rb, Cs);

- растворение навесок полевошпатово-нефелинового концентрата в 10%-й азотной кислоте из расчета 800 мл HNO₃ на 10 г концентрата в полиэтиленовых банках емкостью 1 л с магнитными мешалками при T = 15-20°C в течение 7 часов;

- фильтрация, упаривание и нейтрализация растворов: а) упаривание – на песчаной бане до объема 150-200 мл, при этом в большинстве растворов выделялись студенистые осадки, по-видимому, кремнегеля; при дополнительном нагревании осадков на песчаной бане получали гидроскопические продукты; б) нейтрализация растворов – углекислым кальцием с обильным газоотделением;
- определения в фильтратах содержаний галлия и щелочных металлов с последующим пересчетом на содержание их в твердой фазе нефелина;
- высушивание и взвешивание нерастворимых остатков (кеков) с фильтров при $T = 120-140^{\circ}C$;
- выделение из навесок кеков монофракций КПШ (ручной отборкой под биноклем в иммерсионных препаратах) или селективных концентратов КПШ и плагиоклазов на центрифуге в тяжелых жидкостях;
- силикатные анализы КПШ и определения в полевых шпатах содержаний галлия и щелочных металлов
- расчеты балансов распределения галлия и редких щелочных металлов в продуктах растворения легкой фракции (нефелине) и полевых шпатах.

Использованная методическая схема позволила установить, что с минералами легкой фракции в различных типах ловозерских руд связано от 70 до 97% галлия, в том числе – с нефелином 50–91% при содержании 44-79 г/т. Содержания *рубидия* (160-210 г/т) в ловозерских рудах в 2,5-3 раза превышают содержания галлия, в то время как лития не превышают 18-34 г/т, а цезия находятся за пределами чувствительности пламенно-фотометрического анализа. Рубидий (с цезием) почти полностью связаны с минералами легкой фракции, хотя в рудах с повышенными содержаниями КПШ относительно нефелина для них характерно 50%-е распределение между этими минералами. При отсутствии самостоятельных фаз КПШ степень концентрации редких щелочных металлов в нефелине повышается до уровней, установленных для галлия. Рассеяние галлия и редких металлов связано с минералами тяжелой фракции – эгирином и эвдиалитом, причем максимальное характерно для лития.

Таким образом, главным минералом-концентратором галлия в ловозерских рудах является нефелин, а редких щелочных металлов – КПШ и нефелин; роль плагиоклазов в балансах их распределения практически может не учитываться. Поэтому при переработке ловозерских полевошпатово-нефелиновых концентратов на глинозем галлий будет концентрироваться в алюминатных растворах, а редкие щелочные металлы – в маточных растворах поташа, причем в количествах, превышающих их содержания в природных минерализованных водах и солях. Следовательно, повышенные их содержания в ловозерском сырье сравнительно с перерабатываемым на глинозем хибинским подтверждают перспективность нашей рекомендации на использование полевошпатово-нефелиновых «отходов» Ловозера в качестве добавки к хибинским концентратам в целях повышения их суммарной извлекаемой ценности. С другой стороны, в процессе обработки легкой фракции ловозерских руд 10%-й азотной кислотой установлено, что извлечение галлия и редких щелочных металлов варьирует в пределах 50-93% и максимально для традиционно эксплуатируемых лопаритовых уртитов. Это ориентирует на изучение возможностей разработки и использования для селективной переработки ловозерского полевошпатово-нефелинового сырья «холодных» гидрометаллургических способов, исключающих затратное спекание с известняком [19].

Изучение распределения особо ценных и лимитируемых компонентов в материальных потоках горно-обогажительных и передельных производств как способ выявления узлов их концентрации и потерь для организации попутного извлечения

Отсутствие поминеральных балансов распределения особо ценных металлов и токсичных элементов-примесей в рудах разведанных месторождений, планов на их извлечение у предприятий-недропользователей и переработчиков сырья и, наконец, несовершенство технологических схем обогащения и переделов обуславливают значительную долю потерь в извлекаемой ценности комплексных руд и, как следствие, высокие показатели упущенной выгоды. Эти обстоятельства, а также большое разнообразие природных и техногенных источников особо ценных и токсичных компонентов, технологических схем и способов их извлечения, определяемых составом и физико-химическими свойствами, ориентируют на организацию специальных *ревизионно-оценочных работ на эксплуатируемых месторождениях и лежащих отходах производства*, а для оценки *текущих* отходов – многокомпонентного аналитического мониторинга технологических «элементопотоков», которые не предусмотрены направлениями деятельности и нормативами МПР РФ. Инициатива в организации таких научно-производственных работ, в первую очередь, должна принадлежать самим предприятиям, озабоченным показателями своей экономической и экологической эффективности и перспективами продления жизнедеятельности. С этих позиций рассматриваются примеры и результаты авторских разработок, оценок и их внедрения на ГОКах, ХМЗ и ГМК, выполненных для различных типов сырья, содержащих редкие металлы и лимитируемые элементы-примеси. Это позволило повысить комплексность использования исходных руд и техногенных «отходов», оценить экологические последствия их переработки и рекомендовать нетрадиционные меры повышения экономической и экологической эффективности производств в В. Казахстане (Белогорский ГОК), Красноярском крае (ОАО «Ачинский глиноземный комбинат» – АГК), Кольском регионе (ОАО «Апатит», ОАО «Ковдорский ГОК», ОАО «Севредмет», ОАО «ГМК Североникель» и др.), В. Забайкалье и Саха-Якутии.

На Белогорском ГОКе, профилированном на получение собственно танталовых минеральных концентратов из редкометалльных пегматитовых руд, были установлены потери танталита, сподумена и других минералов лития, а также берилла.

Высокосортный танталит их руд месторождения Кварцевое, аномально обогащенных танталом, *частично* утрачивался при их обогащении гравитационным способом на отдельной Ак-Кезельской фабрике. Его накопление в хвостохранилище было установлено нами прямым ревизионно-оценочным опробованием песков с поверхности «крестом», т.е. по центру, в направлении стока пульпы и вкрест его простирания, равномерными интервалами на глубину до 2 м. В этих целях использовалась стальная труба, развальцованная с нижнего торца, которая забивалась вертикально в песок и при выемке освобождалась от спрессованной в ней пробы. Тем самым ручным способом имитировалось колонковое бурение с оперативным отбором необходимого количества проб, подвергнутых анализам на тантал и ниобий, и составлением из них групповой пробы для количественно-минералогического анализа, выделения мономинеральных фракций и определений тантала и ниобия в минералах-концентраторах. Результаты этих экспрессных ревизионно-оценочных работ на автономном хвостохранилище Белогорского ГОКа позволили руководству предприятия осуществить селективное доизвлечение танталового концентрата, превосходящего по качеству текущую товарную продукцию из рядовых и бедных танталосодержащих руд с основных объектов эксплуатации (месторождения Бакенное, Белая гора, Асубулак и др.).

В хвостах обогащения этих руд *полностью* были утрачены минералы *лития*, представленные породообразующим маложелезистым сподуменом и, в меньшей степени, амблигонитом, петалитом и лепидолитом, образующими в отдельных жилах крупногабаритные обособления, подлежащие добыче ручной рудоразборкой непосредственно в забоях, а также выделению в виде концентратов при обогащении рудной массы. Согласно зарубежной практике (Канада, Зимбабве, Австралия, Мозамбик, США, Бразилия, Суринам и др.) как кусковое литиевое сырье, так и литиевые минеральные концентраты добываются, в том числе – селективно, и используются без вскрытия в качестве добавок в шихту специальных керамических, стекольных и стеклокерамических производств в объемах, превышающих достигнутые в конце 70-х годов уровни в 15-20 тыс. т/год (6). В бывшем СССР литиевые минералы, за исключением сподумена, не добывались, не имели установленной цены и, соответственно, не использовались. В то же время выполненные при нашем участии специальные исследования показали высокую эффективность использования природных минералов лития с Белогорского ГОКа в качестве добавок в фарфоровые массы на базе калиевополевошпатового сырья. Установлено оптимальное количество добавок каждого минерала в фарфоровые массы и их положительное влияние на структуру и свойства бытового фарфора. Экономическая эффективность рекомендованного производства литиевого фарфора определяется значительным уменьшением тепло- и энергозатрат фарфоровым производством за счет снижения температуры обжига и повышением сортности изделий вследствие возрастания их белизны и прочности (6). Согласно нашим исследованиям, проведенным в 1974-1985 гг., и нереализованным рекомендациям на селективную и попутную добычу рассматриваемых литиевых минералов в новых производствах, доведенных до руководства бывшего Минцветмета и НИИСТРОЙКЕРАМИКИ Минпромстройматериалов СССР еще в 1976 г., возможное ежегодное производство этих рудоразборных концентратов Белогорским ГОКом на действующих рудниках оценивалось на период 1976-1988 гг. в 20 т петалита (Асубулак) и 10 т амблигонита (Бакенное), а с вводом в эксплуатацию нового разведенного месторождения «Юбилейное» – до 200 т обогащенного амблигонитового концентрата при 50%-м извлечении. Ежегодные суммарные объемы выпуска и поставок различным потребителям молотых фторидно-литиевослюдистых концентратов оценивалось в 10,5-19 тыс. т при цене, сопоставимой со стоимостью 4%-го сподуменового концентрата. Кроме того, Белогорский ГОК добывал на отдельном Новобратском руднике из керамических пегматитов ручной выборкой до 28,3 тыс. т кускового КППШ (микроклина). С этих позиций представляется целесообразным предусмотреть в планах возобновления деятельности этого предприятия в Казахстане строительство местного завода, ориентированного на использование собственно калиево-полевошпатового сырья с добавками литиевых минеральных концентратов и выпуск высококачественной литиевой фарфоровой и керамической продукции. Практика и исследования российских и иностранных специалистов свидетельствуют о том, что природные минералы лития могут быть эффективно использованы в производстве высококачественного бытового фарфора, высокопрочных керамических материалов для нужд электротехнической промышленности, приборостроения, для изготовления деталей атомных реакторов, реактивных двигателей и т.д.

На *Ачинском глиноземном комбинате* (ОАО «АГК») как крупнейшем химико-металлургическом предприятии по переработке необогащенного нефелинового сырья на глинозем с сопутствующими содопродуктами и цементом, разработана и апробирована комплексная техногеохимическая методика оценки распределения и выявления узлов концентрации рассеянных особо ценных и лимитируемых микрокомпонентов в материальном потоке производства [20]. Впервые (1976-78 гг.) выявлены основные узлы концентрации особо ценных и лимитируемых элементов относительно содержаний в исходном сырье и достаточно контрастное их распределение в профилирующем глиноземном и побочных технологических процессах. Содержания этих элементов в исходном нефелиновом сырье – урритах Кия-Шалтырского месторождения не превышают

десятитысячных-тысячных долей процента. Исключение составляют фосфор (0,23%), фтор (0,07%), стронций (0,08%), цирконий (0,009%) и барий (0,0145). В то же время *объемы* поступления с сырьем в технологический цикл АГК элементов-примесей весьма значительны и составляют несколько тысяч тонн редких (Ga, Rb, Cs, Sr, TR, Zr, Sc, Se, V и др.) и цветных (Cr, Ni, Co, Zn, Pb, Mo и др.) металлов, а также более десяти тысяч тонн фосфора и фтора. В технологическом цикле производства глинозема, начиная со стадии обжига известняка – флюса, спекания известково-нефелиновой шихты при $T = 1350^{\circ}\text{C}$ и ее последующего выщелачивания с глубокой деструкцией всех исходных минералов, происходит распределение химических компонентов в материальном потоке производства, включающего попутное получение содопродуктов с хлоридом и сульфатом калия из остаточных маточных растворов поташа и побочное производство портландцемента, а также объемные газо-пылевые выбросы печей и складированные шламы. Для *основных* алюминатных растворов повышенные концентрации каких-либо микрокомпонентов оказались не характерными. В то же время в остаточных маточных растворах *побочного* содово-поташного производства и их солевых производных обогащенных калием, CO_2 , S и Cl обнаружена преобладающая концентрация галлия и рубидия, хрома и молибдена и меньшая – цезия. Содержания галлия (до 0,011-0,023% в маточниках поташа) и рубидия (до 0,0136-0,021%) превышают исходные содержания в нефелиновом сырье от 5–10 до 40–60 крат и представляют интерес для промышленного извлечения, рекомендованного нами руководству АГК и реализованного им созданием установки по производству галлия [20].

В отвальных шламах, пылевых выбросах печей спекания и цементного производства, в клинкере, т.е. в твердых отходах и продуктах глиноземного и побочного цементного производств, связана основная масса кремния и кальция в ассоциации с железом, марганцем, титаном, никелем, а также фосфором, фтором и рассеянными элементами-примесями – Sr, Ba, Pb, Se, Sc, Ga, Rb, Cs, Cr, Mo и золотом. Пыли спекания, в меньшей степени – пыли цементных печей и клинкер сравнительно с исходным сырьем обогащены рубидием в 6–15 раз (до 0,017-0,048%), цезием – в 24 раза (до 0,003%), свинцом – в 36 раз (до 0,01-0,04%), галлием – в 2 раза (до 0,0046%), скандием – в 2-3 раза, селеном – в 3-6 раз, стронцием – в 1,6 раза. Для отвальных шламов наиболее характерно накопление скандия – в 20 раз (до 0,0002%), стронция – в 1,5-2 раза (до 0,035%), лития (до 0,015%), а также никеля, бария и бора. В связи с огромными суммарными объемами газо-пылевых выбросов и шламов основного производства АГК полученная впервые характеристика их химического состава, включая такие токсичные микрокомпоненты как фтор, свинец, стронций, хром, селен и другие, представляет особый интерес с природоохранных и медико-экологических позиций, т.е. для органов охраны окружающей среды, центров диагностики заболеваемости населения и Госсанэпиднадзора.

Технологические возможности извлечения из остаточных растворов не только галлия, но и рубидия при замкнутом водообороте определяются расчетами распределения их массы в технологических процессах получения профилирующего глинозема и побочных содопродуктов. За счет использования оборотных растворов происходит многолетнее, причем более интенсивное сравнительно с галлием, накопление объемов рубидия в маточниках поташа, в 2,4 раза превышающее поступление с исходным сырьем в технологический процесс. Организация производства галлия и рубидия была рекомендована нами по схемам Волховского алюминиевого и Пикалевского глиноземного заводов, где морально устаревший метод глубокой карбонизации для извлечения галлия был заменен более современным методом его цементации на галламе алюминия, а опытная партия технических солей рубидия и цезия по технологии ИХТРЭМС КНЦ РАН была получена в форме сульфата рубидия и Rb-Cs-квасцов.

Расчетами установлено, что за счет АГК при производительности на уровне 70-80-х годов общесоюзный выпуск галлия мог быть увеличен в 2 раза, а рубидия – в десятки раз; масштабы возможного производства ассоциирующего с ним цезия, а также молибдена и хрома несоизмеримо меньше и не имели бы общесоюзного значения. В то же время очевидно, что перспективы рассматриваемых и других побочных производств на базе переработки нефелинового сырья определяются конъюнктурой внутреннего и внешнего рынков, а также себестоимостью товарной продукции, получаемой попутно с профилирующим глиноземом, и рентабельностью ее производства, т.е. прежде всего уровнем ожидаемой прибыли. Последний представляется достаточно высоким: в конце 70-х годов, согласно расчетам ВАМИ и ИХТРЭМСа, себестоимость попутного получения из нефелинового сырья галлия была на 30% ниже оптовых цен, а рубидия – в 10–11 раз. При этом себестоимость получения рубидия (с цезием) из нетрадиционного нефелинового сырья в 5–7 раз ниже себестоимости его получения из традиционного для довоенной Германии и СССР карналлитового сырья. С организацией извлечения галлия на АГК и развитием его производства на предприятиях ООО «Севзапром» (АО «Пикалевский глинозем» и «Волховский алюминий») доля нефелинового сырья как источника галлия в общероссийском производстве в 90-х годах достигла 50% и сравнялась с производством его из бокситов.

Новые технологические возможности и высокая экономическая эффективность подобной переработки даже небогатенного Кия-Шалтырского нефелинового сырья, обедненного редкими металлами, с накоплением их в технологических растворах до промышленно значимых уровней позволяют прогнозировать практически неограниченное обеспечение потребностей России в глиноземе, содопродуктах, включая поташ, аморфном кремнеземе, растворах флокулянтах-коагулянтах и портландцементе исключительно за счет

увеличения объемов добычи и переработки природного и техногенного нефелинового сырья до нескольких десятков млн. т с развитием экспорта избыточной продукции на мировой рынок, вплоть до его монополизации [20]. При этом достигнутые уровни потребления галлия в производстве дефицитных арсенидов, в подземных установках для улавливания нейтрино, действующей на Кавказе и т.д., так же как и перспективы использования легко ионизируемых редких щелочных металлов и их гибридов в новой энергетике, плазменных технологиях, ионных двигателях и в других высокотехнологичных направлениях в ближайшей перспективе могут только возрастать, что необходимо учитывать в геолого-экономических прогнозах и оценках обеспечения этих потребностей за счет отечественного нефелинового сырья и собственных технологий его глубокой переработки.

На ОАО «Североникель» в середине 90-х годов нами были выполнены предварительные исследования уровней концентрации и распределения широкого круга профилирующих (Ni, Cu, Co) и рассеянных редких металлов, включая токсичные микрокомпоненты, в твердых и жидких промпродуктах и отходах производства. Эта работа была выполнена на представительных пробах ОТК предприятия, проанализированных количественно-спектральным методом в ИМГРЭ (Л.И. Сердобова) более чем на 30 элементов. Результаты анализов свидетельствуют о повышенных концентрациях в некоторых из них таких особо ценных металлов как недоизвлеченные Cu, Ni, Co (в шлаках электропечей, конвертерных пылях, промстоках и шламах), особо ценных Cd (420-500 г/т), Sb (280-300 г/т), Bi (300-400 г/т), Ge (50-100 г/т), Tl (50-100 г/т), In (10-100 г/т), а также Pb (1-10 кг/т), As (8-11 кг/т), Sn (180 г/т – 1 кг/т), Mo (>300 г/т) и W (>1 кг/т) – в конвертерных пылях и шламах сернокислотной промывки, для которых, кроме того, характерны высокие содержания селена и теллура и повышенные – золота и серебра (по 10-100 г/т), платины (10 г/т) и т.д. Очевидно, что кроме значительной доли в структуре извлекаемой ценности исходного медно-никелевого сырья, указанные компоненты представляют собой и экологическую опасность для окружающей среды и здоровья населения, превышающую воздействие на них кислотных дождей. Достаточно указать на превышения содержаний в шлаках относительно ПДК для почв меди – в 2130 раз, никеля – в 265, кобальта – в 112 раз, а также на широкую распространенность в отходах производства особо токсичных мышьяка, кадмия, таллия, хрома, цинка, свинца и других суперэко-токсикантов.

Полученные результаты явились основанием для разработки рекомендаций руководству Кольской горно-металлургической компании, объединяющей предприятия ОАО «ГМК Североникель», на организацию НИР по изучению распределения особо ценных и токсичных компонентов в материальных потоках производства обоих предприятий, т.е. их «элементопотоков», в целях выявления узлов концентрации и потерь в технологических процессах, а затем и НИОКР для организации их извлечения с использованием инновационных способов, разработанных специалистами НИЦ «Экология и промышленная энерготехнология» ОИВТ РАН и ИХТРЭМС КНЦ РАН [18]. Тем самым могла быть компенсирована значительная часть упущенной выгоды, обусловленной накоплением наиболее ценных, но не извлекаемых рассеянных редких металлов в отходах производства, а также существенно снижена нагрузка на окружающую среду и связанные с ней уровни заболеваемости и смертности персонала и населения в Мончегорском и Печенгском районах. Последнее обстоятельство связано с тем, что кроме профилирующих Cu, Ni, Co и серы такие особо ценные элементы-примеси одновременно являются и наиболее токсичными (Cd, Tl, As, Hg, Sl, Bi, Se, Te и др.). Очевидно, что подобные НИР и НИОКР актуальны и для ОАО «ГМК Норникель», несмотря на традиционное извлечение из выпускаемых им минеральных концентратов на ОАО «Красноярский завод цветных металлов» (КЗЦМ) благородных и некоторых рассеянных редких металлов. Следует подчеркнуть, что «элементопотоки» должны изучаться системно, т.е. по всей цепочке производств – от распределения в недрах, в узлах обогащения и его отходах, в минеральных концентратах, продуктах и отходах их переделов, как твердых, так и жидких и газо-пылевых. В первую очередь это касается «ГМК Печенганикель», «ГМК Североникель» и ОАО «КЗЦМ», производства которых базируются на добыче медно-никелевого сырья с нескольких рудников и включают как обогащение, так и переделы, которые сопровождаются накоплением твердых отходов, объемными сбросами и газо-пылевыми выбросами, известными своим крайне негативным воздействием на среду обитания преимущественно за счет «кислотных дождей». В связи с вовлечением корпорацией «Интеррос» ОАО «ГМК Норникель» в промышленное освоение новых крупных месторождений золото-полиметаллических руд в Сибири (Быстринское и др.), а также возможными перспективами освоения некоторых медно-никелевых месторождений Карелии, рекомендуемые исследования на давно эксплуатируемых объектах представляются исключительно актуальными и безальтернативными, так как позволят обеспечить существенное повышение экологической безопасности как действующих, так и планируемых новых производств.

Комбинирование различных методов многоцелевого минералого-геохимического картирования обосновано и рекомендуется для глобального решения проблемы попутного извлечения широкого комплекса особо ценных цветных, рассеянных редких и благородных металлов в районах деятельности предприятий медной подотрасли на Урале (6, 10). Предварительный анализ данных об уровнях концентрации рения, германия, индия, таллия, кадмия, селена, теллура и других особо ценных и токсичных элементов-примесей в исходных рудах, минеральных концентратах профилирующей металлопродукции, отходах обогащения и химико-метал-

лургических переделов свидетельствует о потенциальной возможности уральских предприятий значительно увеличить ресурсный потенциал за счет вовлечения в промышленное использование, помимо разведываемых руд глубоких горизонтов на обрабатываемых месторождениях, целого ряда малых «надрудных» и фланговых месторождений-спутников, а также возобновляемых техногенных ресурсов, представленных текущими и лежалыми отходами горно-металлургических производств. Так, например, в промпродуктах и отходах производства крупнейшего на Урале производителя медных концентратов ОАО «Учалинский ГОК» обнаружены промышленные концентрации дефицитного висмута (30–65 г/т), в хвостах обогащения – молибдена (≥ 100 г/т) и т.д. Возрастающие объемы накопления обогатительных и передельных отходов представляют собой не только гигантский резерв неиспользуемых ресурсов, но и очаги экологического неблагополучия. До сих пор внимание специалистов горно-геологической отрасли на Урале в основном привлекало золото как наиболее ценный попутный компонент. Однако в настоящее время очевидно, что извлекаемая ценность остальных «попутчиков» металлов, на порядки превосходящая стоимость профилирующих цветных, ориентирует на создание региональной сети малых горно-технологических предприятий (МГТП) при крупных предприятиях Уральского ГПК, автономных и самостоятельных, для комплексной переработки природного и техногенного медьсодержащего сырья с извлечением инновационными способами как профилирующих, так и сопутствующих наиболее ценных компонентов. Тем самым будет обеспечиваться ускоренная замена экстенсивного недропользования на интенсивное, включающее повышенную экономическую эффективность «сквозных» производств, снижение и устранение негативных экологических последствий нерационального недропользования и возможности непрерывного совершенствования технологических процессов.

Интегрированная геоэкологическая оценка территориально-промышленных комплексов методами картирования как способ прогнозирования и профилактики негативных последствий недропользования и техногенеза

В целях прогнозирования геоэкологических рисков и профилактики экологически обусловленной заболеваемости населения в районах традиционного недропользования и урбанизированных территорий нами впервые предложена методология их *интегрированной* геоэкологической оценки с примерами разработок и использования комплекса конкретных картировочно-аналитических методов [21]. Такая оценка должна включать данные традиционных для проектирования строительства инженерно-геологических изысканий и картографирования и результаты многоцелевого эколого-геохимического картирования (МГХК) территорий в необходимых масштабах. Развитие этих двух до недавнего времени независимых направлений в оценке последствий строительства и производственной деятельности для окружающей природной среды и здоровья населения, и особенно – их интегрирование, осуществляется с использованием различных ГИС-технологий, позволяющих создавать комплекты специализированных базовых и итоговых карт, а также специальных Атласов, включающих в соответствии с современными требованиями функциональное зонирование территорий, прогнозирование их развития и регламентацию инженерно-хозяйственной деятельности в целях безопасности.

В условиях сложившейся в нашей стране в «переходный период» недооценки экогеохимических факторов риска, а также очевидного несовершенства российского законодательства и контроля в области недропользования, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности населения получили развитие следующие направления дифференцированной экологической оценки, относительно независимой от государственных органов: 1) экологический аудит предприятий и территорий; 2) инженерно-геологические изыскания для строительства; 3) эколого-геохимическое картирование территорий городов и территориально-производственных комплексов (ТПК); 4) создание на предприятиях комплексных систем стандартизации качества выпускаемой продукции, технологических процессов и охраны окружающей среды в соответствии с требованиями международных организаций по стандартам ИСО и ТК-207: серии ИСО-9000, ИСО-14000 и, наконец, ИСО-19001-2002. Очевидно, что в условиях отсутствия в России законодательства, необходимого для реализации этих направлений экологизации административно-хозяйственной деятельности, их развитие и становление пока происходит путем *самоорганизации*, т.е. в основном благодаря инициативам ученых-специалистов в ресурсно-экологической области, возможностям создаваемых ими частных инженерно-геоэкологических организаций и встречным инициативам владельцев предприятий или руководителям муниципалитетов.

В этой ситуации выявление, классификация и оценка комплекса геоэкологических рисков для урбанизированных территорий, памятников архитектурного наследия и объектов нового строительства может служить информационно-аналитической базой для прогнозирования и предупреждения природных и техногенных аварий и катастроф, а также профилактики заболеваемости населения, обусловленной экологическими факторами. К сожалению, пока государственная политика и поддержка в большей части проявлены в ликвидации *последствий* природных и техногенных катастроф силами МЧС России, в то время как несоизмеримо менее затратная *система их прогнозирования и предупреждения*, а также своевременного выявления и оценки потенциальных и реальных угроз экологической безопасности территорий, зданий и сооружений, персонала и населения продолжает оставаться предметом обсуждения и попыток централизации информационно-управленческих решений, в том числе – с использованием традиционного картографирования и ГИС-технологий [21].

Такая методика интегрированной оценки *экологической безопасности* территориально-производственных и селитебно-промышленных комплексов была разработана и апробирована нами в 1987–2000 гг. в процессе выполнения договорных работ в большинстве горно-промышленных районов Кольского и Карельского регионов – сначала в *детальных* (до 1:1000) масштабах на рудниках, а затем – в *крупных* масштабах (1:50000) – на территориях рудных геосистем (Хибинской, Ловозерской, Ковдорской и др.) и в *детальных* (1:25000 – 1:10000) – соответствующих муниципальных образований (гг. Кировск, Апатиты и др.), включая комплексное экологическое картирование и оценку г. Мурманска как единственного в мире мегаполиса Заполярья. Следует заметить, что эти регионы, благодаря специфике своего геологического строения, сосредоточению разнообразных по составу источников минерального сырья и соответствующих предприятий горно-промышленного комплекса, а также городских и охраняемых природных территорий, подверженных негативному воздействию как природных, так и техногенных факторов, представляют собой идеальные полигоны для разработки рассматриваемой методологии и конкретных методов.

Действительно, в Кольском регионе на значительных площадях обнажены или вскрыты горными выработками породы древнего кристаллического фундамента, различных по составу массивов изверженных пород и связанных с ними месторождений полезных ископаемых, что позволяет непосредственно наблюдать, дешифрировать по аэрофотоснимкам и заверять геофизическими методами проявления разломной тектоники, характерные не только для пород фундамента, но и для осадочно-метаморфического чехла и перекрывающих их рыхлых отложений различной мощности. Прямое воздействие этих разломов на здания и сооружения может проявляться в тектонических деформациях, как горизонтальных, так и вертикальных, которые оцениваются либо как землетрясения по международной 10-балльной шкале Рихтера, либо как микросейсмика (вибрации). Во всех случаях нарушается устойчивость любых строительных конструкций, если при проектировании не были предусмотрены специальные меры их защиты от проявлений неотектоники. Примерами могут служить природно-техногенные катастрофы при строительстве Северо-Муйского тоннеля на БАМ и локальные – в Кольском регионе (Мурманская обл.), которые рассматриваются и анализируются специально: «горные удары» в подземных рудниках (Ловозеро), локальные землетрясения, спровоцированные взрывами повышенной мощности на рудниках (Хибины), нарушения целостности военного бункера – хранилища РАО и несущих конструкций моста в заливах Баренцева моря, оползней в районе берегового базирования Северного флота и на Октябрьской железной дороге под Мурманском, прорывов дамб водохранилища в г. Мурманске и неоднократных – навозохранилищ при птицефабриках в районе питьевого водозабора Мурманска и т.д.

Основные геоэкологические риски для объектов традиционного недропользования, помимо проявлений неотектоники, заключаются в катастрофических прорывах рудничных вод и сбросах с хвостохранилищ (ОАО «ОЛКОН» и др.), многолетнем химическом загрязнении обогатительными и подотвальными стоками природных гидросистем и источников питьевого водоснабжения, в повышенной радиоактивности исходного сырья и хвостов обогащения, газо-пылевых выбросов при взрывах горной массы различных сточных вод и т.д. Следует заметить, что радиоактивность рудного и нерудного сырья в советское время не была изучена должным образом в процессе геологоразведки и подсчетов запасов многих месторождений. Это обусловило необходимость восполнения допущенного пробела в конце 80-х – начале 90-х годов организацией специальных радиогеохимических работ на эксплуатируемых месторождениях горно-химического (Хибины), редкометального (Ловозеро), редкометально-фосфатно-железрудного (Ковдор) и нерудного пегматитового сырья (Чупа, Ковдор). Не останавливаясь на результатах выполненного нами детального радиогеохимического картирования и дифференцированной оценки руд Ковдора, изложенных выше, а также ранее опубликованных данных об уровнях и природе радиоактивности месторождений Хибин, следует подчеркнуть особую актуальность выполненных исследований с радиогеохимических позиций как для обеспечения безопасности персонала рудников, так и местного населения, а также для оценки безопасности различных способов переработки сырья и экспорта товарной продукции. В частности, на руднике Малиновая варака бывшего ПО «Карелслюда» нами была расшифрована причина внезапных массовых воспалений на лицах горняков, обусловленная импульсным альфа-излучением за счет взрывов повышенной мощности в участках скопления монацита, обогащенного торием, в экзоконтактах некоторых продуктивных на слюду-мусковит пегматитовых жил. Оказалось, что фактор локальной радиоактивности нерудного пегматитового сырья (мусковит и КПШ) не был установлен и учтен при разведке месторождений не только объединения «Карелслюда», но и «Ковдорслюда».

Результаты опытно-методических работ по эколого-геохимическому картированию и комплексной геоэкологической оценке района деятельности ОАО «Апатит» с учетом иерархии участков его производственной деятельности позволяет выделять и классифицировать природно-техногенные риски вовлечения в промышленную эксплуатацию резервных хибинских месторождений (Оленьего ручья и Партомчорра) новым недропользователем – ОАО «СЗФК», оценка которых требует организации соответствующих НИР [19]. С подобных же «иерархических» позиций должны оцениваться геотектонические и медико-экогеохимические риски использования инновационных способов добычи и переработки минерального сырья, включая моделирование процессов образования депрессионных воронок при планировании эксплуатации погребенных титано-циркониевых россыпей и угольных залежей с применением СГД-технологий, подземной дегазации и

гидрогенизации углей, всех видов подземного и кучного выщелачивания в легкорастворимых средах и т.д. Включение этих НИР с последующими НИОКР в ранние стадии ГРП, в том числе – в проекты геоэкологического доизучения природных и техногенных объектов недропользования при создании МГТП с правом опытно-промышленной эксплуатации, позволит разработать оптимально устойчивые и безопасные схемы их эксплуатации.

Методами эколого-геохимического картирования коренных горных пород, почвенного и растительного покрова, воды и донных осадков по их составу оценивается *природный* геохимический фон, определяется локальная геохимическая *специализация* и выявляются геохимические аномалии, оказывающие непосредственное воздействие на развитие тех или иных видов заболеваемости местного населения. В условиях горно-промышленного техногенеза и формирования градообразующими ТПК (ТПК, ГМК, ХМЗ, ТЭК и др.) *геотехносферы* это воздействие многократно увеличивается за счет образования *подвижных* форм ингредиентов загрязнения, концентрирования их в продуктах переработки исходного сырья, миграции и повторного накопления в депонирующих компонентах природной среды и, далее, преимущественно через воду и рационы питания – в организме человека. Для наиболее *урбанизированных* территорий городов-мегаполисов, напротив, преимущественно характерно техногенное загрязнение окружающей среды, также выявляемое методами эколого-геохимического картирования, которые позволяют определить техноэкогеохимическую *специализацию* каждого предприятия-загрязнителя и оценить его роль в развитии той или иной заболеваемости персонала и населения. Однако, и в этих условиях, причем даже в регионах с мощным чехлом осадочных и современных рыхлых отложений, перекрывающих кристаллический фундамент, комплексное геоэкологическое картирование позволяет выявлять и оконтуривать природные *геоэкосистемы* и производить оценку относительной роли природного и техногенного факторов в экологической ситуации территорий различного функционального использования.

Так, например, преимущественное сосредоточение населения в Мурманской области в районах деятельности крупных градообразующих предприятий Кольского горнопромышленного и металлургического комплексов, а также в г. Мурманске, где расположено 50% различных промышленных предприятий области, обусловило сложившуюся за 70 лет индустриализации региона отчетливую зависимость качества питьевого водоснабжения от экологической специализации природных сред и соответствующей концентрации характерных для них химических элементов в техногенных выбросах и отходах производства, загрязняющих окружающую среду, включая поверхностные и подземные воды. Локальный характер и специфика этого воздействия на водные объекты обусловили *избирательный* характер *заболеваемости* населения, отчетливо фиксируемый по детским группам и персоналу предприятий. В г. Кировске за счет природного фактора и деятельности ОАО «Апатит» обнаруживается преимущественная зависимость регионального максимума заболеваний костно-мышечной системы от избытка в воде *алюминия, фтора и стронция* при недостатке *кальция*. В г. Мончегорске, пос. Никель и Заполярный, где расположены горнодобывающие и металлургические предприятия, специализированные на добычу и переработку медно-никелевых руд, преобладает хроническая заболеваемость кожной аллергией, дыхательных путей, раком легких и болезнями внутренних органов (печени, желудка, двенадцатиперстной кишки). В г. Кандалакша в связи с загрязнением окружающей среды алюминием и фтором ОАО «Кандалакшский алюминиевый завод» преобладает заболеваемость раком легких и желудка, флюорозом и т.д. Подобным же образом для населения г. Ковдор, где ОАО «Ковдорский ГОК» эксплуатирует радиоактивное редкометалльно-фосфатно-железородное сырье, с одной стороны, характерна заболеваемость, близкая к г. Оленегорску, где ОАО «ОЛКОН» добывает и обогащает железородное сырье, а с другой – характерная для г. Кировска и пос. Ревда, где эксплуатируются близкие по химическому составу виды сырья, но отличающиеся *повышенной радиоактивностью* на ЗАО «ЛовГОК» (пос. Ревда). Как известно, повышенная радиоактивность проявляется в онкологической заболеваемости, нарушениях эндокринной системы и репродуктивности у женщин. Однозначные выводы о зависимости общей заболеваемости и ее нозологических форм от техногенных экологических факторов, т.е. от ассоциаций химических элементов-токсикантов, характерных для производств различных отраслей, получены нами в результате комплексного эколого-геохимического картирования и оценки территории г. Мурманска. Эта работа включала одновременное определение техноэкогеохимической специализации промышленных производств, оценку специфики химического состава промышленных стоков, водоемов и водотоков, качества питьевого водоснабжения и медико-экологическое обследование населения с использованием в качестве основных (контрольных) детских групп, для которых по составу биосубстратов (волос) была выполнена медико-геохимическая индикация усвоенных организмом ингредиентов и интегральных показателей загрязнения. В результате впервые осуществлено достаточно контрастное и представительное зонирование городской территории по характеру и степени проявлений общей экологически обусловленной заболеваемости и ее нозологических видов [22].

Практика выполнения указанных выше картировочно-оценочных работ в Кольском и Карельском регионах, включавших объекты недропользования и техногенное сырье, представленное различными отходами производства и потребления, обусловила следующую *блок-схему* подготовки и создания *базовой* картографической продукции на готовых топоосновах и картах фактического материала наблюдений и опробования заданного масштаба:

- *геоблок*: карты геологическая, тектоническая, геохимическая коренных пород, растительного покрова и зеленых насаждений, ландшафтно-геоморфологическая и др.;
- *физические поля*: карты естественной радиоактивности; взаимосвязи аномалий урана, тория и K_{40} с разломной тектоникой, гонными породами и полезными ископаемыми, радиационно-гигиенической оценки территории, зданий и сооружений; аномалий искусственной радиоактивности; аномалий ЭМИ; шума; вибраций; УЗИ;
- *промышленные и бытовые загрязнители*: карты размещения и функциональной классификации основных промышленных предприятий, техноэкохимической специализации, исходного сырья, технологической продукции и твердых отходов промпредприятий, промышленных и хозяйственных стоков, городских полигонов ТБО и несанкционированных свалок и т.д.;
- *потенциальные источники природно-техногенных аварий и катастроф*: карты размещения хранилищ ВВ, аммиака, хлора; хранилищ ГСМ и АЗС; термических производств (ТЭЦ, котельных и др.); газгольдеров, газозаправочных станций, газопроводов; гидротехнических сооружений; насыпных грунтов и т.д.;
- *воздушная среда* (ВС): карты и диаграммы размещения основных источников загрязнения ВС, динамики, розы ветров, влияния погодных-климатических условий, системы наблюдений, натурных замеров и состояния ВС; карты пылевого и химического загрязнения снегового покрова и др.;
- *почвы*: карты химического загрязнения почвенных горизонтов;
- *вода и дождевые осадки*: карты химического загрязнения поверхностных водоемов (морских и пресных), водотоков, подземных вод (по родникам и скважинам), источников питьевого водоснабжения;
- *растительный покров*: карты химического загрязнения и деградации растительности и зеленых насаждений (с учетом видового разнообразия);
- *заболеваемость населения*: карты общей заболеваемости детских групп населения, системы их медико-геохимической индикации и экологически обусловленных нозологических видов заболеваемости: общей заболеваемости взрослого населения и экологически обусловленных видов заболеваемости.

С изложенных позиций очевидно, что комплексное геоэкологическое картирование (КГЭК) и интегрированная геоэкологическая оценка (ИГЭО) регионов, градообразующих ТПК, городских, охраняемых природных и других территорий предусматривает создание многослойных аналитико-картографических баз данных и составление значительно большего количества базовых тематических карт, чем при проведении традиционных геоэкологических изысканий под строительство или эколого-геохимического картирования для оценки медико-экологических ситуаций. Соответственно, проведение ИГЭО требует разработки и использования более сложных ГИС-технологий и программ для получения многоцелевых программных продуктов. Цели и задачи геохимического картирования значительно продвинули технологию ГИС в связи с многомерностью информации, подлежащей обработке и визуализации разными способами. Для составления карт в ИМГРЭ был создан комплекс программ «ГЕОСКАН», не имеющий аналогов в мире, а для эколого-геохимических – «Экоскан», апробированные и внедренные в геоэкологические организации ряда регионов и природоохранные – городов России. Их разработка позволяет составлять моноэлементные карты, комбинации из них и карты комплексных показателей, используемые для расшифровки и оценки выявляемых рудно-геохимических и эколого-геохимических аномалий. Таким образом, разнообразие ГИС-технологий и программ позволяет для обработки и картографической визуализации результатов интегрированной оценки территорий, объектов природопользования, промышленного производства и строительства. Принципиально новым и крайне актуальным достижением ИГЭО территорий и соответствующих ГИС-технологий является возможность создания электронных карт рационального использования ресурсов, прогнозирования геоэкологических рисков и контроля за обеспечением экологической безопасности, предназначенных для принятия управленческих решений административными органами на всех уровнях.

Необходимость интегрированной геоэкологической *оценки* воздействия на окружающую среду объектов эксплуатации природных ресурсов, промышленных и сельскохозяйственных производств, транспортных и хозяйственно-бытовых коммуникаций и даже объектов военно-хозяйственной деятельности, а с другой стороны – оценки состояния соответствующих территорий, обуславливают внедрение в практику *прикладной* инженерно-экологической деятельности *геоэкосистемного* принципа изучения, оценки и ранжирования территорий и акваторий. Этот принцип является *приоритетным* относительно существующих границ административного деления территорий как с экономических, так и экологических позиций, приобретает особое значение и актуальность в связи с предстоящим укрупнением субъектов РФ на новой основе географо-экономического районирования ее территории с соответствующими изменениями границ муниципальных образований и неизбежным возникновением новых объектов крупного строительства. Более того, необходимость медико-экологического обследования территорий в целях выявления экологических факторов заболеваемости населения и организации ее профилактики потребовала изучения и оценки как исходной *биогеохимической* специфики *природных* геоэкосистем, так и наложенной *техногеохимической* специализации *урбанизированных* территорий, в той или иной степени ответственных за *микроэлементозный* характер многих видов *заболеваемости* [22, 23].

В целом, рекомендуемая система интегрированной геоэкологической оценки территорий и концептуальная программа действий направлена на социально-экологическую реабилитацию селитебно-промышленных, сельскохозяйственных и рекреационных зон, включая водные бассейны, и на выбор приоритетных направлений устойчивого развития регионов и муниципальных образований. С более широких позиций *многоцелевое ресурсно-экологическое картирование* (МРЭК) можно рассматривать как *новое* направление прикладной науки и наиболее эффективный инструмент оценки природно-ресурсного потенциала территорий, геоэкологических рисков и влияния состояния окружающей среды на здоровье населения в целях разработки программ социально-экономического развития и профилактических мер экологической безопасности. Специфика площадного ресурсно-экологического картирования, в отличие от существующих ведомственных систем государственного контроля и мониторинга, заключается в его *независимом*, т.е. наиболее объективном, и *многоцелевом* характере, что позволяет *концентрировать* финансовые средства на *единовременном* решении *нескольких* природоохранных задач и использовать результаты администрациями всех уровней власти, государственными службами экологического мониторинга, санэпиднадзора, лечебно-профилактическими учреждениями, промышленными и сельскохозяйственными предприятиями, общественными и учебно-просветительскими организациями и т.д. Рекомендуемый системно-целевой подход к решению территориальных и локальных ресурсно-экологических проблем позволит обеспечить выбор приоритетов устойчивого развития всей инфраструктуры региона и возможности их реализации за счет инновационно-предпринимательской деятельности, т.е. наиболее эффективным способом, учитывающим современные технологические возможности, в том числе – нетрадиционные, а также экономическую целесообразность и экологическую безопасность. Предлагаемое оформление результатов информационно-аналитических работ в виде картографических баз данных и Атласов на электронных и печатных носителях не только облегчит принятие управленческих решений, начиная со стадии проектирования, но и может быть эффективно использовано в презентационных целях для привлечения инвестиций.

Экспрессные методы массовых полиэлементных анализов проб при геохимическом картировании и прецизионной заверке аномалий

Среди современных массовых и наиболее доступных по стоимости экспрессно-аналитических методов в качестве *приоритетного* выделяется *оптический атомно-эмиссионный спектральный анализ* с дуговым источником возбуждения спектров [17]. Метод позволяет одновременно определять до 70 химических элементов, включая количественные определения компонентов силикатного анализа с чувствительностью от $n \cdot 10^{-1}$ до $n \cdot 10^{-6}\%$, что делает его наиболее рациональным и незаменимым при проведении многоцелевого геохимического картирования в ресурсно-экологических целях. Диапазон измеряемых концентраций петрогенных элементов (масс. доли) следующий: SiO_2 (0,1-100); TiO_2 (0,01-30); Al_2O_3 (0,01-30); $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ (0,01-50); MnO (0,01-30); MgO (0,01-30); CaO (0,01-40); Na_2O (0,1-10); K_2O (0,1-10); P_2O_5 (0,1-10). В последние годы метод получил возможность автоматизации и компьютеризации процесса проведения анализа за счет развития спектрального приборостроения. Очевидно, что максимальная эффективность метода достигается при создании единого спектроаналитического комплекса, включающего в себя систему пробоподготовки и пробоподачи, источник возбуждения спектра, спектрометр-полихроматор, многоканальную систему регистрации и программу для интеллектуальной обработки спектров. Всем вышеперечисленным требованиям удовлетворяют аналитические спектрометрические комплексы АСК-1 и АСК-2 на базе полихроматоров ДФС-458 и ДФС-461 с фотоэлектрической регистрацией спектра. Оптическая схема, построенная на основе вогнутых неклассических дифракционных решеток, обеспечивает высокое качество изображения и хорошее спектральное разрешение во всем рабочем диапазоне длин волн. Стоимость спектрометрических комплексов невысокая, почти в десять раз дешевле зарубежных аналогов, ежегодные затраты на эксплуатацию – около 2 млн. руб.; производительность – 100 тыс. элементо-определений в год при сроках окупаемости 2 года. Создание новой лаборатории со сдачей «под ключ», обучение персонала занимает порядка 6 мес.; возможны мобильные варианты.

Высокая эффективность рассматриваемого экспрессно-аналитического метода в сочетании с другими физико-химическими и физическими методами, используемыми для заверки выявленных аномалий и анализов мономинеральных фракций, была доказана в процессе выполнения в 70-90-х годах значительных объемов вышеупомянутых минералого-геохимических исследовательских работ прикладного характера на действующих предприятиях ГПК в Кольском регионе, Карелии, Восточном Казахстане, Красноярском крае, включая создание прогнозно-поисковых моделей редкометального, горно-химического и нерудного сырья [17].

Приведенный обзор авторских разработок и использования аналитических и минералого-геохимических методов детального изучения вещественного состава руд, представляющих месторождения различных формаций, свидетельствует об их высокой информативности и эффективности применительно к решениям задач прогнозной оценки, рационального и экологически безопасного использования природного и техногенного сырья на всех стадиях геологоразведочных работ, эксплуатации месторождений и комплексной переработки руд, концентратов, твердых и жидких отходов горно-промышленных и химико-металлургических производств. В то же время он отражает этапы развития и совершенствования аналитических, минералого-геохимических и геохимических методов. В развитии последних автор придает особое значение привязке любых

геохимических аномалий к конкретным природным или техногенным их *источникам*, представленным реальными *минеральными* формами концентрации рудного вещества или ингредиентами загрязнения окружающей среды, причем как индивидуальными, так и ассоциированными. Тем самым обеспечивается возможность расшифровки и оценки этих аномалий, необходимой для принятия инновационно-технологических решений на всех стадиях работ с минеральным сырьем и техногенными ресурсами с учетом их специфики. Короткие по срокам НИР должны включать следующий комплекс исследований на объектах недропользования, позволяющий повысить «сквозную» эффективность интегрированных процессов горной добычи, обогащения и глубоких переделов сырья:

- детальное поликомпонентное геохимическое картирование рудных и техногенных объектов с количественно-минералогической и минералого-геохимической заверкой выделяемых аномалий с повышенными содержаниями особо ценных и токсичных компонентов;
- маркетинг потребительского спроса на ожидаемую особо ценную дополнительную продукцию на внутреннем и внешних рынках;
- изучение и оценку на групповых пробах и пилотных установках технологических возможностей и показателей комплексной переработки природного и техногенного сырья с применением как традиционных, так и инновационных техноэкологических способов и оптимально комбинированных схем;
- прогнозную оценку воздействия на окружающую среду и здоровье населения планируемых производств и разработку рекомендаций на обеспечение экологической безопасности;
- составление многовариантных ТЭР на базе полученных исходных данных с обоснованием необходимых инвестиций в организацию опытно-промышленной эксплуатации потенциально-перспективных объектов.

Инициатива в организации таких научно-производственных работ, в первую очередь, должна принадлежать предприятиям, действующим или планируемым в структурах вертикально интегрированных горно-химико-металлургических корпораций, а также инвесторам в автономное и самостоятельное малое и среднее горно-технологическое предпринимательство, заинтересованным в устойчивом развитии своих производств.

С изложенных позиций становится очевидной назревшая необходимость глубокой и всесторонней переоценки запасов минерального сырья, утвержденных ГКЗ СССР, расширения задач ранних стадий ГРП и многоцелевого совершенствования законодательной базы недропользования в направлениях ускоренного, комплексного и экологически безопасного освоения природных и техногенных ресурсов России. С более широких позиций рекомендуемое развитие методики многоцелевого ресурсно-экологического картирования (МРЭК) представляется эффективным инструментом комплексной оценки природно-ресурсного потенциала территорий, позволяющим организовать его рациональное использование, проводить социально-экологическую реабилитацию территорий и осуществлять профилактику здоровья населения. Тем самым создается возможность интенсификации и экологизации процессов управления на уровне регионов, муниципальных образований и территориально-производственных комплексов, что крайне актуально в связи с необходимостью привлечения инвестиций для их развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелентьев Г.Б. Редкие металлы как «витамины» промышленности: состояние и перспективы // Прикладная геохимия: сб. статей к 100-летию К.А. Власова. М.: изд. ФГУП ИМГРЭ МПР РФ и РАН, 2005. Вып. 7. С. 251–262.
2. Мелентьев Г.Б. Ресурсно-экологические приоритеты развития горно-геологической отрасли и прикладной науки // Экология промышленного производства. М.: изд. ФГУП ВИМИ, 2002. № 2. С. 30–43.
3. Козловский Е.А. Геология как жертва экономических реформ // Газ. Промышленные ведомости. 2004. № 1–2.
4. Мелентьев Г.Б., Калиш Е.А., Карамнов А.И., Павлов Р.И., Ремез В.К., Аргамаков И.Г. Перспективы и опыт комплексного использования сырья редкометалльных полевошпатовых месторождений СССР // Редкие элементы: сырье и экономика. - М.: изд. ИМГРЭ Мингео СССР, 1977. Вып. 13. С. 3–11.
5. Мелентьев Г.Б., Делицын Л.М., Крашенинников О.Н. Техногенное сырье и инновационное предпринимательство в Карело-Кольском регионе как резерв развития производств декоративно-отделочных, керамических и новых неорганических материалов // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы 2-й международной конф. - Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 2005. С. 130–136.
6. Перспективы использования нерудного и редкометалльного сырья Кольского региона в производствах керамических и новых неорганических материалов // Конструкции из композиционных материалов (сырье и экономика). - М.: изд. ФГУП ВИМИ, 2003 г. Вып. 1. С. 11–32.
7. Мелентьев Г.Б., Малинина Е.Н., Овчарова Е.С. Перспективы организации комплексного извлечения цветных, редких и благородных металлов из нетрадиционного природного и техногенного сульфидного сырья Урала. В ж. Экология промышленного производства, вып. 3. М.: ФГУП ВИМИ, 2007.
8. Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Ануфриева С.И. Техногенные образования – источники получения редких металлов и титана // Минеральное сырье. № 18 «Современные проблемы сырьевой базы редких металлов России (1956–2006)». С. 7–82.
9. Мелентьев Г.Б. Рациональный комплекс методов геолого-прогнозной и дифференцированной минералого-технологической оценки редкометалльных пегматитовых полей с выделением типов руд и определением их потенциальной продуктивности // Результаты фундаментальных и прикладных исследований по разработке методик технологической оценки

руд металлов и промышленных минералов на ранних стадиях геолого-разведочных работ: сб. статей. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 2006. С. 75–82.

10. Мелентьев Г.Б. Детальное минералого-геохимическое картирование объектов недропользования и отходов производства как способ их комплексной ресурсно-экологической инвентаризации и оценки в целях рационального использования // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов: Материалы 2-й Международной конф. Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 2005. С. 122–125.

11. Творческое наследие К.А. Власова в редкометальном пегматитообразовании и его прикладные следствия // Прикладная геохимия сб. статей к 100-летию К.А. Власова. М.: изд. ФГУП ИМГРЭ МПР РФ и РАН, 2005. Вып. 7. С. 307–324.

12. Мелентьев Г.Б. Новая петрологическая модель формирования редкометальных месторождений гранитовой формации и ее роль в разработке объемно-количественной методики их прогнозирования, поисков перспективной оценки // Локальное прогнозирование и перспективная оценка эндогенных сырьевых источников редких металлов: сб. статей / Ред. В.В. Иванов, Г.Б. Мелентьев. М.: изд. ИМГРЭ, 1987. С. 7–44.

13. Принципы и методы крупномасштабного прогнозирования редкометальных месторождений / Ред. В.В. Булдаков, Г.Б. Мелентьев. М.: ИМГРЭ, 1978. С. 178.

14. Мелентьев Г.Б., Торикова М.В., Зубков А.А., Линде Т.П., Делицын Л.М. Перспективы организации производства редких металлов в государствах Средней Азии за счет комплексной переработки и использования природного и техногенного сырья инновационными горно-технологическими предприятиями // Материалы V Конгресса обогатителей стран СНГ. М.: изд. Альтекс – МИСИС, 2006. Т. 3. С. 110–120.

15. Солодов Н.А. Научные основы перспективной оценки редкометальных пегматитов. М.: Наука, 1971.

16. Мелентьев Г.Б. Состояние и перспективы развития титановых производств с попутным получением редкометального и алюмосиликатного сырья: современное состояние и перспективы. - Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 178–189.

17. Букарь В.П., Самаев С.Б., Мелентьев Г.Б. Экспрессно-аналитические методы в практике геолого-геохимических поисков рудного сырья и геоэкологической оценки урбанизированных территорий // Новые направления и методы поисков месторождений полезных ископаемых: матер. Конференции. – Челябинск: изд. Дом ученых, 2004. С. 31–34.

18. Мелентьев Г.Б., Шелков Е.М., Делицын Л.М. Возможности и перспективы повышения эффективности железорудно-металлургических производств за счет прямых переделов и комплексного использования сырья // Материалы VI Конгресса обогатителей стран СНГ. М.: изд. МИСиС, 2007. С. 77–83.

19. Мелентьев Г.Б., Самонов А.Е., Делицын Л.М., Малинина Е.Н., Самонов А.А. Геолого-экономические перспективы и риски комплексного промышленного освоения фланговых месторождений Хибин с получением высоколиквидной конечной продукции // Темпы и пропорции социально-экономических процессов в регионах Севера: тез. докл. межд. конф. - Апатиты: изд. КНЦ РАН, 2007. С. 63–65.

20. Методы изучения рассеянных металлов в глиноземном сырье и возможности их попутного получения / Отв. ред. Иванов В.В., Мелентьев Г.Б. - М.: изд. ИМГРЭ Мингео СССР, 1988. 163 с..

21. Мелентьев Г.Б., Самаев С.Б., Букарь В.П., Сахаров И.В., Малинина Е.Н. Интегрированная геоэкологическая оценка территорий в целях предупреждения природно-техногенных катастроф и профилактики экологически обусловленной заболеваемости населения // Экология промышленного производства. М.: изд. ФГУП ВИМИ, 2005. Вып. 2. С. 15–25.

22. Осечинская Т.С., Мелентьев Г.Б., Дубова М.Н., Ляпунов С.Н. и др. Медико-экологическая оценка селитебно-промышленных и особо охраняемых территорий как информационная основа их зонирования, профилактики и снижения заболеваемости // Энергетика, экология, экономика средних и малых городов. Пути их решения: матер. Всесоюз. конф. М.: изд. ФГУП ВИМИ. С. 76–85.

23. Мелентьев Г.Б., Делицын Л.М., Шелков Е.М., Власов А.С. Перспективы создания межрегиональных эшелонированных систем водозащиты и водоочистки на площади водосборных бассейнов // Экология промышленного производства. М.: изд. ФГУП ВИМИ, 2006. Вып. 3. С. 33–49.

МОРФОСТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Ожогова Е.Г., Кузьмин В.И., Рогожин А.А.

ФГУП «ВИМС», г. Москва

Расширение отечественной минерально-сырьевой базы сегодня практически невозможно без технологической минералогии, которая позволяет интенсифицировать все геологоразведочные и горно-эксплуатационные работы, направленные на прирост запасов за счет комплексного использования сырья с максимально возможным извлечением всех полезных компонентов и утилизацией отходов его переработки. В связи с этим главной задачей технологической минералогии является оценка технологических свойств минерального сырья на разных стадиях геологического изучения и освоения месторождений полезных ископаемых. Технологическая оценка минерально-сырьевых объектов позволяет прогнозировать экономически обоснованную целесообразность вовлечения их в переработку на современном этапе развития технологий, методы и способы его обогащения, контролировать эффективность перерабатывающего производства и управления им, определять экологические последствия переработки и природоохранные мероприятия.