На правах рукописи

Макаров Владимир Александрович

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ОБЪЕКТОВ И ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИХ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ

Специальность 25.00.11 -Геология, поиски и разведка
месторождений твердых полезных ископаемых; минерагения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени доктора
геолого-минералогических наук

Красноярск 2001

Работа выполнена в Красноярской государственной академии
цветных металлов и золота,
Томском политехническом университете

Официальные оппоненты:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор Рихванов Л.П.

Доктор геолого-минералогических наук Нестеренко Г.В.

Доктор геолого-минералогических наук, профессор Филонюк В.А.

Ведущая организация: Московская горно-геологическая академия

Защита диссертации состоится “ 30” января 2002 г. в 10 часов в 210 аудитории 1 корпуса на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при Томском политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомится в библиотеке Томского политехнического университета

Автореферат разослан “ 6 ” декабря 2001 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета В.Д. Евсеев

Введение

Актуальность работы. Разработка месторождений полезных ископаемых приводит к формированию на поверхности Земли значительного объема отходов. В ряде случаев отходы горного производства содержат полезные компоненты в количествах, близких к промышленному значению, и могут быть рентабельно вовлечены в повторную переработку. В этом случае они классифицируются как техногенные месторождения. К последним могут быть отнесены и коренные месторождения в той части, где произошло антропогенное воздействие. Появление в горном массиве открытых полостей и систем трещин, связанных с ведением разведочных и очистных работ, является причиной повышения притока воды и воздуха, что обуславливает геохимические изменения пород и руд, а также перегруппировку рудного вещества, т.е., по существу, приводит к формированию нового класса геологических объектов, требующих особого подхода к их изучению, геолого-экономической оценке и освоению.

Исследования последних лет показывают, что объекты вторичного золотосодержащего сырья разнообразны по своей природе, содержанию металла, масштабам накопления и экономической значимости. В общей структуре ресурсов и запасов золота России на долю техногенных объектов приходится около 7-12 % (Беневольский, 1998). Вторичные золотосодержащие ресурсы, несмотря на большие объемы, характеризуются относительно низким содержанием золота. Формы его нахождения в техногенном сырье таковы, что сырье является упорным для переработки с использованием традиционных технологических схем. Появление новых технологий в золотодобыче предопределило рост интереса промышленности к техногенным золотосодержащим объектам. При этом себестоимость извлечения золота из техногенных месторождений иногда бывает ниже, чем при обогащении исходных руд и песков, поскольку из технологической цепочки исключаются дорогостоящие операции, связанные с добычей, дроблением и классификацией.

Актуальность и значимость проблемы изучения и вовлечения в освоение техногенных золотосодержащих объектов подтверждается тем, что они лежат в русле приоритетных направлений геологоразведочных и научно-исследовательских работ, предлагаемых специалистами ЦНИГРИ в среднесрочную программу МПР РФ по воспроизводству фонда золотых объектов на период до 2005 года (Беневольский, 2000). Четыре из десяти позиций программы в той или иной степени направлены на решение вопросов, связанных с оценкой и изучением техногенного золотосодержащего сырья, а именно:

- оценка россыпных техногенных объектов в старых золотоносных районах;
- исследование возможности извлечения золота из хвостов обогатительных фабрик;
- оценка потенциала и технологии извлечения тонкого золота из россыпей и площадных кор химического выветривания;
- исследование возможности извлечения золота из нетрадиционных комплексных источников (ванадиевых, железорудных, нефтей, солей, песчано-гравийных смесей и др.).

Учитывая все возрастающее количество видов золотосодержащего техногенного сырья и широкое разнообразие условий его формирования и последующего хранения, для успешной ревизии такого сырья на золото представляется целесообразным решение трех задач: 1) разработка систематики техногенных золотосодержащих объектов; 2) выявление условий их формирования; 3) выработка методических основ для геолого-технологического изучения техногенного сырья и ускоренной его оценки.

Помимо решения важной народохозяйственной проблемы – ресурсосбережения и расширения сырьевой базы золота, актуальность работы определяется ее экологической направленностью, а именно, изучением распределения в техногенных объектах утраченных в процессе золотодобычи токсичных компонентов (ртуть, цианиды, мышьяк и др.). Это весьма важно при повторном освоении техногенных месторождений и постановке работ по экологической реабилитации районов активной золотодобычи.

Цель работы заключается в изучении условий формирования техногенных золотосодержащих объектов, выявлении основных факторов, влияющих на морфологию тел, распределение и формы нахождения золота в техногенных месторождениях и выработке на этой основе методических рекомендаций по их геолого-технологической оценке.

Основные задачи исследований. В задачи исследований входило:

1. Разработка систематики техногенных золотосодержащих объектов.

2. Выявление роли природных (геологических, геохимических, ландшафтно-климатических) и антропогенных (технологических) факторов в формировании объектов вторичного золотосодержащего сырья и оценка их влияния на формы нахождения и распределение золота.

3. Выработка на основе изученных закономерностей методических рекомендаций для геолого-технологической оценки техногенных золотосодержащих месторождений.

Фактический материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положены материалы, собранные автором или в соавторстве с сотрудниками кафедры геологии месторождений и методики разведки (ГМиМР) КГАЦМиЗ с 1989 по 2001 год. С 1990 года исследования по данному направлению выполнялись в рамках работающего при кафедре малого внедренческого предприятия “Прогноз” (с 1994 г - Центр геотехнологических исследований “Прогноз”). За этот период под руководством автора по проблеме выполнен большой объем госбюджетных и хоздоговорных научно-исследовательских работ в том числе в рамках научных программ: “Золото Сибири”, “Конверсия и высокие технологии”. Написано и защищено 14 научных и научно-производственных отчетов. Фактический материал, составляющий основу работы, собран в процессе полевых исследований, проведенных на техногенных золотосодержащих объектах Енисейского кряжа (объекты золотодобывающих предприятий АО “Золото”, АО “Северо-Ангарский горно-металлургический комбинат”; старательских артелей “Ангара”, “Северная”, “Самсон”, “Тайга”), Восточного Саяна (Артемовский рудник, а/с “Северная”), Кузнецкого Алатау (Саралинский рудник, бывшие Юлинский и Маинский рудники и др.), Западного Саяна (Абаканский рудник, Мало-Шушенская ЗИФ бывшего Майского рудника) и ряде других объектов. В пределах Красноярского края и Хакасии оценена золотоносность всех ныне разрабатываемых месторождений песчано-гравийных смесей (ПГС), а также продуктов и отходов их переработки.

При изучении золотоносных техногенных россыпей и хвостов обогащения коренных руд золота, помимо традиционных технологий, для обогащения проб и оценки содержания мелкого и тонкого золота применялась полевая экспресс-лаборатория на базе концентратора Knelson-7,5 с комплектом оборудования для доводки концентрата. Для оценки эффективности работы лаборатории выполнен необходимый объем опытно-методических исследований по сопоставлению различных методов обогащения и доводки проб. Комплекс лабораторных технологических исследований проб золотосодержащих техногенных объектов выполнялся в лабораториях кафедры обогащения КГАЦМиЗ. Кроме того, для оценки содержания и текущих потерь золота осуществлялась врезка промышленных и полупромышленных обогатительных аппаратов в технологические цепочки действующих производств. В частности, при изучении золотоносности месторождений ПГС расположенных в долине р. Енисей, а также при оценке золотоносности песчано-гравийного материала, перемещаемого при дноуглубительных работах, применена врезка в технологическую схему землечерпательных снарядов специальных золотоизвлекающих шлюзов. Реализована методика экспрессной оценки техногенного золотосодержащего сырья с использованием специально разработанных автором в содружестве с конструкторами АО “Краслесмаш” мобильных проходческих комплексов на базе самоходного гусеничного шасси (Патент РФ).

Положенный в основу работы аналитический материал составляет более 2500 анализов большеобъемных проб песков, хвостов и концентратов, около 1500 пробирных, химико-рентгеноспектральных и атомно-адсорбционных анализов на золото, более 5000 ситовых анализов золота и концентратов и около 1500 монофракций минералов. В процессе выполнения работ использованы также традиционные методы - геохимическая, газортутная и магнитометрическая съемки.

Кроме собственных материалов, в работе использованы фондовые источники и опубликованные материалы: по техногенным россыпям - Т.С. Потаповой, В.Е. Кислякова, В.А. Наумова; по техногенным золотоносным объектам Норильского района - Д.А. Додина, А.И. Стехина, А.Г. Самойлова и др.; по золотосодержащим отходам переработки руд цветных и черных металлов - А.А. Айриянца, С.Б. Бортниковой, А.С. Лапухова и др.

Защищаемые положения

1. Среди техногенных золотосодержащих объектов выделены группы “литотехногенных” и “остаточных” месторождений. В первую группу включены классы объектов, сформированных при переработке руд (песков) и пород, отделенных от массива - отвальный комплекс техногенных россыпей, хвосты обогащения, отвалы забалансовых руд и вскрышных пород, золоотвалы, штабеля после кучного выщелачивания и др. К группе “остаточных” отнесены месторождения и их части, испытавшие техногенное воздействие в горном массиве. Виды и подвиды техногенных золотосодержащих объектов выделяются внутри классов по составу перерабатываемых исходных руд и технологии их переработки.

2. Самородное золото техногенных объектов претерпевает трансформацию относительно исходного сырья. Для эфельных отвалов техногенных россыпей характерно увеличение доли металла тонких и мелких фракций, а также золотин пластинчатых форм. Изменение состава и преобразование морфологии золотин более всего проявлены в техногенных россыпях и хвостах обогащения в связи с процессами амальгамации.

3. Ключевую роль в миграции золота и его перераспределении при формировании большинства техногенных золотосодержащих объектов, а также их последующем преобразовании играют геомеханические процессы. Совокупность этих процессов в сочетании с другими природными и технологическими факторами определяет две тенденции (модели) в формировании техногенных золотосодержащих месторождений – рассеяния золота в продуктах техногенного комплекса и его концентрации. Первая тенденция свойственна собственно золоторудным месторождениям, вторая - месторождениям рудного и нерудного сырья с рассеянной золотой минерализацией.

4. Выбор методики геолого-экономической оценки техногенных россыпей должен осуществляться с учетом: 1) технологических причин и горно-геологических факторов, определяющих эксплуатационные потери золота при первичной разработке россыпи; 2) закономерностей размещения металла в отвальном комплексе, 3) предполагаемой технологии повторной отработки объекта.

Научная новизна

1. Впервые предложена систематика техногенного золотосодержащего сырья, в основу которой положены антропогенные и природные факторы его формирования.
2. Для техногенных россыпей различных видов проведен всесторонний анализ и обоснование причин появления в них остаточных запасов, в том числе запасов мелкого и тонкого золота.
3. Получены новые результаты, дополняющие теоретические представления о механизмах миграции золота в зоне гипергенеза и техногенных минеральных образованиях; показана ведущая роль геомеханических процессов в перераспределении и накоплении золота для большинства техногеннных объектов; выявлена зависимость дальности транспортировки свободного гравитационного золота при формировании намывных отвалов от содержания глины в россыпях; определен характер связи золота с ртутью в исходном сырье и хвостах амальгамации.
4. Для техногенных россыпных месторождений проведено экспериментальное обоснование объемов проб и осуществлена оценка эффективности оборудования, применяемого для их обогащения и доводки.
5. Впервые установлено наличие металлов платиновой группы в Сымском месторождении песчано-гравийных смесей (левый приток среднего течения р. Енисей).

Практическая значимость и реализация работы. Разработанная систематика техногенного золотосодержащего сырья позволит целенаправленно вести ревизионную оценку техногенных минеральных объектов на золото.

Установленные закономерности накопления и перераспределения золота и сопутствующих компонентов в техногенном минеральном сырье использованы для

снижения текущих потерь золота ряда предприятий, а также могут быть применены для разработки технологических и геотехнологических схем их извлечения, организации внутриотвального обогащения и решения природоохранных задач.

Установлены высокие концентрации металлической ртути в хвостах гравитационного обогащения коренных руд золота и шлихов, расположенных в черте населенных пунктов (поселки Майский и Южно-Енисейский). Предложены мероприятия по экологическому оздоровлению зараженных ртутью территорий.

Полученный в процессе исследований опыт и методические рекомендации по переоценке техногенных россыпей и хвостохранилищ реализованы в процессе ревизионных работ на техногенных золотосодержащих объектах Енисейского кряжа, Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна.

На ОАО "Красноярский завод лесного машиностроения" начато освоение производства разработанных под руководством соискателя мобильных проходческих комплексов для ускоренной оценки и отработки техногенных россыпей.

Разработанные теоретические положения и методические рекомендации по оценке техногенных месторождений золота, а также практические материалы используются в Красноярской государственной академии цветных металлов и золота в читаемых автором учебных курсах "Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых", "Методы научных исследований" и цикле лекций "Геологические аспекты геотехнологий", подготовленном для курсов повышения квалификации геологов и технологов золотодобывающих предприятий Красноярского края, республик Хакасия и Тыва.

Апробация работы. Основные результаты работы, а также отдельные ее разделы обсуждались и докладывались на конференциях, совещаниях, симпозиумах, демонстрировались на выставках в Москве (Третьей Международной конференции "Новые идеи в науках о Земле", МГГА, 1997; Юбилейных Плаксинских чтениях, 2000; выставке "Дни Красноярского края в Москве", 2000), в Екатеринбурге (Международной научно-технической конференции "Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства", УГГГА, 1999), Новосибирске (выставке-ярмарке "Золотопромышленность России – 96"; научно-практической конференции "Геотехнологиии на рубеже XXI века", 1999; семинаре в Институте геологии СО РАН, 2001), Томске ("Актуальные вопросы геологии и географии Сибири", 1998; "Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири", 2000; Международной научно-технической конференции "Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства", 2001), Иркутске (Международной школе-семинаре "Техника и технология для извлечения мелкого самородного золота", 1996; 1 и 2-ой Международных конференциях и выставках "Драгоценные металлы и камни – проблемы добычи и извлечения из руд, песков и вторичного сырья", 1997, 2001), Красноярске (Международной научной конференции "Металлургия XXI века: шаг в будущее", 1998; Первом Сибирском симпозиуме "Золото Сибири", 2000; общероссийском семинаре "Платина в геологических формациях Сибири", 2001; научно-практической конференции "Декларирование безопасности промышленных объектов и современные направления в области предупреждения чрезвычайных ситуаций", 1997 и др.), а также на НТС и семинарах геологических кафедр КГАЦМиЗ и комитета "Красноярскприродресурсы", расширенных Советах Енисейского округа Госгортехнадзора России, 1995, 1998гг.

Публикации. По теме диссертации имеется 42 публикации, в том числе 1 монография, 1 патент на изобретение.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из 5 глав, введения, заключения и приложений. Общий объем работы составляет 270 страниц, в том числе 75 рисунков, 99 таблиц, список использованной литературы содержит 278 наименований.

В главе 1 "Состояние проблемы. Основная терминология" дан краткий обзор проблемы, связанной с изучением вторичного золотосодержащего сырья. Приводится сводка по ресурсам (запасам) и содержанию золота в техногенных месторождениях различных видов.

В главе 2 "Систематика золотосодержащих техногенных минеральных объектов" критически рассмотрены подходы к систематизации техногенных объектов, формируемых в процессе горно-металлургического производства. Обосновывается и предлагается автор-

ский вариант систематики вторичного золотосодержащего сырья.

В главе 3 “Геологическое строение и условия формирования техногенных золотосодержащих объектов” рассмотрены все наиболее значимые классы и виды техногенных золотосодержащих месторождений – техногенные россыпи, хвосты обогащения коренных руд золота, цветных и черных металлов, отвалы забалансовых руд, продукты переработки нерудного сырья и др. Показано строение техногенных залежей, формы нахождения и характер распределения золота в хвостах обогащения и породах отвального комплекса.

В главе 4 “Факторы, определяющие механизм и масштабы миграции золота в процессе формирования техногенного золотосодержащего сырья” рассмотрено влияние геомеханических, гидрогеохимических, биогеохимических и атмогеохимических процессов на миграцию и накопление золота в техногенных образованиях, предложены модели формирования техногенных золотосодержащих месторождений.

В главе 5 “Особенности методики изучения и оценки техногенных золотосодержащих объектов” проведено обоснование оптимальных объемов проб при оценке гале-эфельных отвалов техногенных россыпей, предложена технология ускоренной геологической оценки техногенных россыпей основанная на использовании мобильных проходческих комплексов.

Благодарности. В процессе выполнения работы автор постоянно ощущал содействие работников геологической службы горнодобывающих предприятий Красноярского края и коллег по кафедре. Большой вклад в организацию и выполнение полевых экспедиционных и аналитических работ, результаты которых нашли отражение в диссертации, внесли А.Д. Шрайнер, А.Х. Эммерих, а также Д.А. Бабичев, Ю.М. Емельяшин, М.М. Лабушев, Г.И. Шведов, А.А. Бурлаков.

На разных этапах выполнения исследований автор получил ценные советы, замечания и поддержку от В.С. Кузебного, А.Ф. Коробейникова, Д.П. Лобанова, В.В. Кравцова, В.И. Сотникова, М.Л. Шермана, А.Г. Еханина, Ю.Г. Шестакова, Р.А. Цыкина, В.Г. Михеева, В.К. Бернантониса, С.Б. Бортниковой, Ю.А. Озерского, В.А. Богдановича, В.Е. Кислякова, Н.К. Алгебраистовой, В.И. Брагина, А.И. Рюмина, Л.Г. Тюрюханова, А.А. Чащина, А.С. Хомякова, П.В. Шитова, К.В. Лобанова, А.А. Ладынина, А.В. Пономарева и др.

Оформление текста рукописи и графических материалов выполнено Ю.Б. Дворецкой, Л.Н. Пузыревой, М.А. Самородской.

Всем перечисленным лицам автор выражает свою глубокую признательность. Особую благодарность за ценные консультации и содействие в завершении работы автор выражает научному консультанту – профессору А.Ф. Коробейникову.

Обоснование защищаемых положений

1. Среди техногенных золотосодержащих объектов выделены группы “литотехногенных” и “остаточных” месторождений. В первую группу включены классы объектов, сформированных при переработке руд (песков) и пород, отделенных от массива - отвальный комплекс техногенных россыпей, хвосты обогащения, отвалы забалансовых руд и вскрышных пород, золоотвалы, остаточные кучи после цианирования и др. К группе “остаточных” отнесены месторождения и их части, испытавшие техногенное воздействие в горном массиве. Виды и подвиды техногенных золотосодержащих объектов выделяются внутри классов по составу исходных руд и технологии их переработки.

Систематизация знаний о техногенных минеральных объектах (техногенных месторождениях) важна с позиций их оценки и вторичного использования. Варианты освоения техногенных минеральных ресурсов могут быть различны - от частичной либо полной замены первичного минерального сырья отходами в рамках существующего предприятия до создания нового производства на основе более эффективной техники и технологии. Важным аспектом систематизации, изучения и использования вторичных сырьевых ресурсов является экологический аспект – оценка вредной нагрузки от горнопромышленных отходов на окружающую среду.

Общепризнанно, что в структуре горно-металлургического производства техногенные минеральные объекты представляют собой:

- с точки зрения назначения - геотехнические системы, обеспечивающие долговремен-

ное хранение горнопромышленных отходов;

- с экологических позиций – локальные источники длительного и интенсивного воздействия на окружающую среду, для которых характерно влияние на состояние всех геосферных оболочек планеты (недра, воздушный и водный бассейны, земную поверхность), а также флору и фауну;

- с геолого-промышленных позиций – вторичные минеральные ресурсы, требующие оценки для их использования и утилизации.

Указанные особенности техногенных минеральных объектов определяют соответствующие задачи при их геолого-промышленной и геоэкологической оценке (Гальперин и др., 1997). К ним относятся:

- получение комплекса геомеханических характеристик состава и свойства горнопромышленных отходов для управления состоянием техногенного массива и прогнозирования надежности последнего;

- установление ресурсной ценности горнопромышленных отходов как источника вторичного минерального сырья;

- получение характеристик состава горнопромышленных отходов как источников пыления и загрязнения подземных и поверхностных вод, оценка их способности к самовозгоранию и загрязнению окружающей среды газообразными продуктами горения.

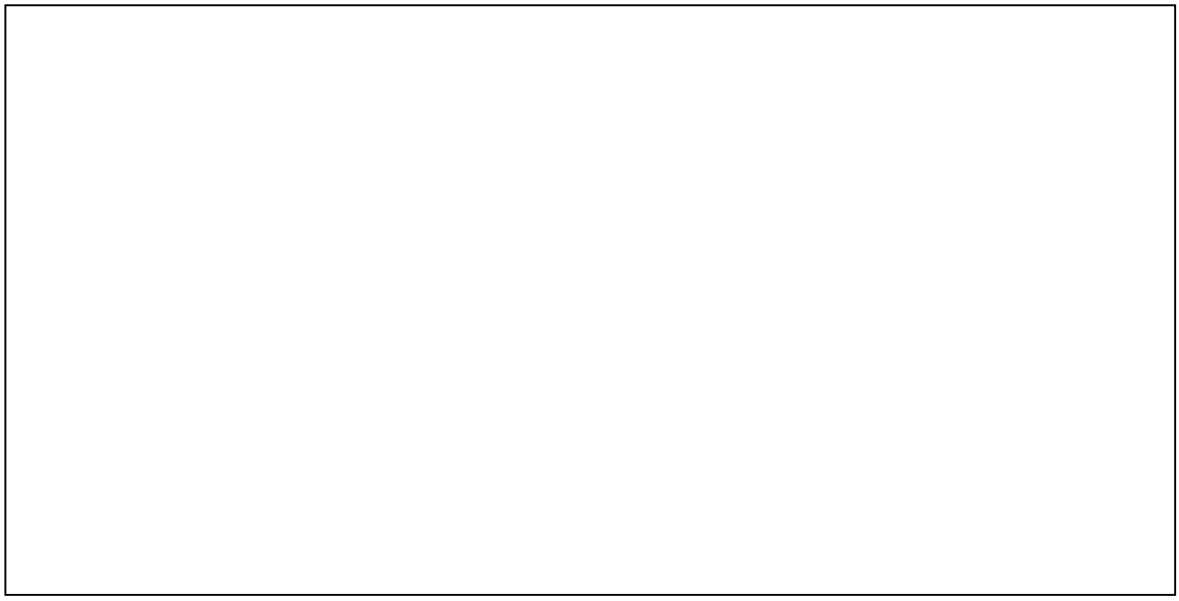
Многоплановость проблемы оценки техногенных минеральных объектов нашла отражение в многообразии подходов к их классификации. Вопросы классификации техногенного минерального сырья, горнопромышленных отходов и техногенных месторождений рассматриваются в многочисленных публикациях (Барский, 1981; Секисов и др., 1997; Трубецкой и др., 1987, 1989; Шегай, 1990; Наркелюн, 1996; Рихванов, Филинова, 2000 и др.). В качестве основных признаков при построении классификаций техногенного минерального сырья использованы: место образования в отраслях промышленности, технологические стадии производственного цикла, время накопления, физическое состояние сырья, морфология тел, гранулометрический состав, содержание полезных компонентов, запасы и т.д. Анализ литературных данных по систематизации техногенного минерального сырья и его оценке показывает, что большинство классификаций носит общий характер, как того требуют работы по кадастровый оценке и учету техногенных ресурсов, направленные на всеобщую паспортизацию техногенного сырья. Вместе с тем, существует необходимость разработки классификации техногенного сырья для нужд конкретных отраслей. Таких классификаций, за исключением стройиндустрии, не создавалось.

Учитывая возрастающий интерес к техногенному сырью в золотодобывающей промышленности, представляется целесообразной разработка специальной классификации, которая, по возможности, охватывала бы все многообразие видов вторичного золотосодержащего сырья и являлась бы основой для ревизии и оценки техногенных минеральных объектов на золото.

В предлагаемой нами классификации (табл. 1) заложены следующие принципы. Деление техногенных объектов на группы осуществлено по месту их формирования относительно горного массива, на классы – по происхождению, на виды – по применяемой технологии. Подвиды выделяются в соответствии с промышленными типами исходных месторождений. Учитывая техногенный генезис объектов и главенствующую роль в их формировании антропогенных факторов, основные таксономические единицы выделены по технологическому принципу.

Таблица 1

Классификация техногенных золотосодержащих объектов



Как видно из таблицы 1, все многообразие техногенных золотосодержащих объектов разделено на две группы - “литотехногенные” и “остаточные”.

В первую группу включены классы объектов, сформированных при переработке руд (песков) и пород, отделенных от массива: отвальный комплекс техногенных россыпей, хвосты обогащения, отвалы забалансовых руд и вскрышных пород, золоотвалы, штабеля после кучного вышелачивания и др. К группе “остаточных” отнесены месторождения и их части, испытавшие техногенное воздействие в горном массиве – целики и вскрытые забалансовые руды, сульфидные горельники, блоки подземного выщелачивания (природно-техногенные объекты, по Г.В. Секисову и др., (1987)). Виды и подвиды техногенных золотосодержащих объектов выделяются внутри классов в соответствии технологией переработки руд и их составом. Большинство представленных в таблице 1 видов техногенных объектов в настоящее время востребованы промышленностью, другие могут быть освоены в ближайшее время.

2. Самородное золото техногенных объектов претерпевает трансформацию относительно исходного сырья. Для эфельных отвалов техногенных россыпей характерно увеличение доли металла тонких и мелких фракций, а также золотин пластинчатых форм. Изменение состава и преобразование морфологии золотин более всего проявлены в техногенных россыпях и хвостах обогащения в связи с процессами амальгамации.

Техногенез, связанный с освоением месторождений полезных ископаемых, большинством исследователей рассматривается как сжатый во времени и локализованный в пространстве гипергенез, проявляющийся в результате “реакции” поднятых из недр пород и руд на новые условия среды (Хабиров, Воробьев,1993; Генералов, Наумов, 1998). Для золотосодержащих объектов эти воздействия выражаются в изменении строения и состава руд, песков и вмещающих пород, перераспределении полезного компонента в продуктах отвального комплекса, а также изменении типоморфных свойств золота.

Характер изменения самородного золота в отвальном комплексе техногенных россыпей

В силу того, что россыпные месторождения являются гипергенными образованиями и их минеральные парагенезисы на поверхности Земли находятся в относительном равновесии, изменения первичного вещества (песков) при техногенном воздействии для них менее значительны, чем для коренных объектов. Изучение этих изменений важно как с научной

точки зрения, так и с практической - для целей геолого-технологической оценки и повторной отработки техногенных россыпей. В последние годы, в связи с ростом практического интереса к техногенным россыпям, данная проблема стала освещаться в печати (Фельдбарг, Захарова, 1984; Наумов, 1994; Парий, Амосов, 1998; Мязин, Татауров, 2000; Альков и др., 2000; Гореликова и др., 2000).

Минеральный состав и минералого-геохимические особенности техногенных россыпей, как правило, наследуются от первичной россыпи, но в процессе техногенеза испытывают определенные изменения.

Собственно техногенное (антропогенное) воздействие на первичную россыпь в процессе освоения протекает достаточно кратковременно. Масштаб антропогенного вмешательства зависит от применяемой технологии. Дальнейшее преобразование техногенного россыпного объекта – эволюционное изменение сформированных отвальных комплексов и ассоциаций элементов в самой верхней части зоны гипергенеза под воздействием экзогенных процессов. Масштаб и скорость этих преобразований зависят, главным образом, от ландшафтно-климатических условий. В соответствии с этим в формировании вещественного состава техногенной россыпи можно выделить два этапа – технологический и геолого-геохимический.

Таблица 2

Характер преобразования вещественного состава исходных россыпей золота в процессе техногенеза

Этап	Минералы, элементы, соединения		Физико-химические процессы
	Привнос	Вынос	
Технологический	Ртуть, металлический лом, хлорное железо, органическое вещество	Золото, минералы тяжелой фракции, глинистые тонкодисперсные минералы	Амальгамация, гравитационная дифференциация, сегрегация и др.
Геолого-геохимический		Железо, сера, ртуть, мышьяк, сурьма, цинк, коллоидное золото и др.	Растворение, сорбция, переход в коллоидное состояние, окисление, замещение и др.

Из таблицы 2 видно, что на технологическом этапе - наиболее значительном по влиянию, хотя и скоротечном по времени - изменения вещественного состава природной россыпи идут по пути изменения количественных соотношений минералов. При переработке песков происходит вымывание глинистого материала, изменение соотношения минералов легкой и тяжелой фракции. Последние нередко образуют локальные скопления, обусловленные особенностями той или иной технологии. Так, для намывных эфельных отвалов в области слива пульпы отмечается скопление минералов тяжелой фракции – магнетита, гематита, золота, окисленных сульфидов и др. Здесь же, на технологическом этапе идет накопление мелкого металлического лома - гвоздей, проволоки, метеоритного железа, окалины и пр. Концентрация металлов и железосодержащих минералов может быть высока настолько, что такие участки хорошо фиксируются магнитометрической съемкой. В пределах намывных эфельных отвалов аномалии магнитного поля совпадают с повышенными содержаниями золота. Это позволяет в определенных случаях использовать данные магнитометрической съемки для выявления богатой головной части отвала.

Аналогичная ситуация отмечается с распределением ртути в эфельных отвалах. В большинстве случаев она имеет техногенную природу, поскольку до 1992 года использовалась на шлюзовых установках для улавливания мелкого и тонкого золота. В процессе промывки песков ртуть сносилась с промывочных приборов в металлическом виде и в виде амальгам. Золотые амальгамы техногенных россыпей характеризуются очень широкими вариациями соотношения золота и ртути. Они отличаются по цвету, агрегатному состоянию, составу минеральных примесей и химических соединений. Наряду с амальгамами отмечается жидкая металлическая ртуть в виде сферических и полусферических частиц. Растворением такой ртути в азотной кислоте установлено присутствие в ней золота от 0,5 до 3 %. Техногенная ртуть обычно является причиной слипания (срастания) природных золотин и изменения их микрорельефа – появления каверн и ажурных наростов, а также

обрастания золотом металлических предметов (медной проволоки, гвоздей, свинцовой дроби и др.) Величины потерь золота и ртути в эфельном отвале тесно коррелируют между собой, что видно из распределения золота и паров металлической ртути (эфельные отвалы Надеждинской террасы в верхнем течении р. Удерей). Там, где извлечение золота осуществлялось без применения ртути концентрация ее паров в почвенном воздухе невысоко, пространственная корреляция содержания ртути и золота отсутствует.

Микрозондовым анализом установлено, что в золотинах из гале-эфельных отвалов россыпей, отрабатывавшихся с применением ртути, содержания ее в кайме золотин относительно центральной части увеличивается в десятки раз. При изучении поверхности золотин из наиболее загрязненных ртутью эфельных отвалов Надеждинской террасы под электронным микроскопом сканирующего типа, отмечено, что поверхность “чистого” золота и металла, имевшего на поверхности примазки амальгамы, отличаются. Отличия заключаются в том, что участки золотин, испытавшие амальгамацию, имеют, как правило, пористую (губчатую) поверхность.

Считается, что при определенных условиях на золотосодержащих отвалах могут протекать не только процессы высвобождения золота, но и укрупнение его, а также перераспределение на геохимических барьерах. Высказываются предположения о возможности относительно быстрой естественной регенерации отработанных россыпей (Freise, 1931; Смирнов, 1955). При этом указывается на положительное влияние органики и бактерий (Маракушев, 1997). Масштабы и механизм этих процессов детально не раскрыты. Нами при изучении золота в отвальных комплексах более чем 30 техногенных россыпей в ландшафтно-климатических условиях Центральной Сибири укрупнения золота вне связи с процессами амальгамации отмечено не было.

Золото отвального комплекса техногенных россыпей отличается от металла исходных объектов морфологическими особенностями и гранулометрическим составом. Для количественной оценки этих отличий был проведен анализ золота объектов Партизанского и Южно-Енисейского золотороссыпных районов. Для корректного сравнения типоморфных особенностей золота различных россыпей использованы данные, полученные по единой методике – обогащение крупнообъемных проб на концентраторе Knelson-7,5, расситовка концентрата, раздельная доводка каждой фракции в лабораторных условиях.

Для Нижне-Таловского месторождения прослежена изменчивость характеристик металла в ряду: кора выветривания - целиковая россыпь - гале-эфельные отвалы. Здесь в коре выветривания 52 % всего металла относятся к классу -0,25 мм. В одноименной россыпи, возникшей за счет перемыва коры, доля мелких и тонких классов снижается до 38 %. В эфельном отвале возникшем при отработке целиковой россыпи доля металла фракции – 0,25 мм возрастает до 66 %. Кроме того, происходит увеличение среднего веса золотин во всех классах. Данная закономерность свойственна и другим россыпям района (рис. 1).

Для галечных отвалов характерен тот же гранулометрический состав и весовые характеристики золота, что и в целиках исходных россыпей. Это связано с тем, что основная часть золота здесь представляет собой потери с глинистым материалом и не испытала дифференциации по гидравлической крупности в водном потоке промывочного прибора, как это имеет место в отвалах эфелей.

Важным параметром золота, влияющим на снос его со шлюзов и накопление в эфельных отвалах, является морфология золотин. В эфелях происходит значительное увеличение доли пластинчатого металла. Особо контрастно это проявляется при промывке песков с малым содержанием глины. Так, для эфельных отвалов малоглинистых россыпей р. Большая Пенченга и среднего течения р. Удерей установлено, что металл в эфелях на 80 - 90 % представлен золотом пластинчатых форм, тогда как в исходных песках доля пластинчатых золотин не превышает 20 %.

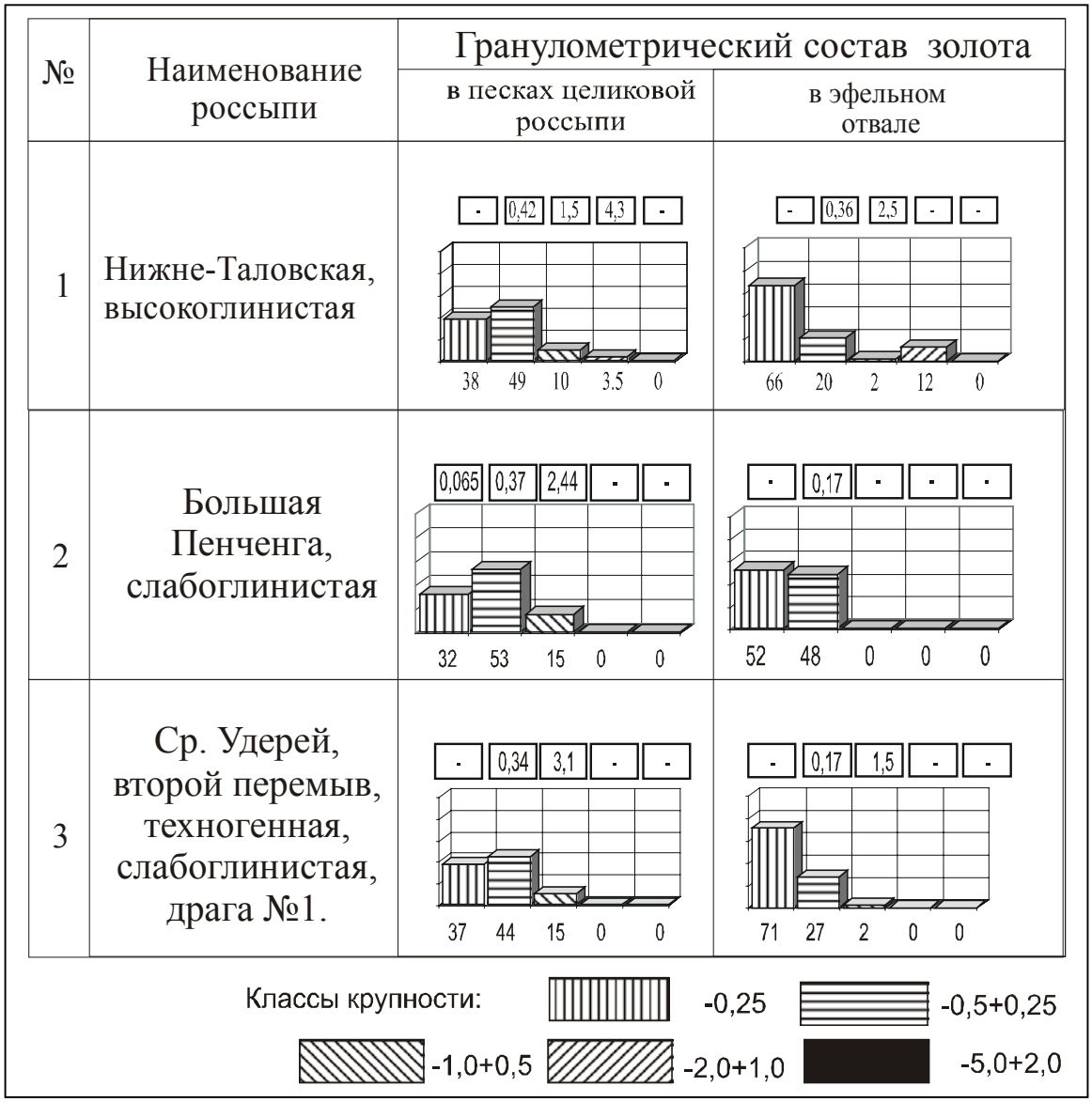


Рис. 1. Гранулометрический состав и весовые характеристики золота в песках целиковых россыпей и эфельных отвалах. Цифры в прямоугольнике - средний вес золотин в классе, мг.

Особенности изменения самородного золота в хвостах обогащения

Анализ изменчивости самородного золота в хвостах доводки шлихов и хвостах обогащения коренных руд позволил выявить следующие основные особенности.

В хранилище хвостов доводки шлихов (изучено хвостохранилище Южно-Енисейской шлихообогатительной фабрики (ШОФ)) самородное золото присутствует только в ртутной "рубашке". Значительная доля его растворена в металлической ртути. Анализ свободной металлической ртути показал содержание в ней золота около 1%. После полного растворения такой ртути в азотной кислоте из нее вырастают игольчатые агрегаты ярко- желтого золота. Данные формы золота в хвостах Южно-Енисейской ШОФ представляют промышленный интерес. Среднее содержание извлекаемой в гравитационный концентрат ртути составило 175 г/м^3, достигая в отдельных пробах 759 г/м^3. В процессе исследований при опробовании хвостов из всего промытого на концентраторе Knelson-7,5 материала (41 проба общим объемом 20 м^3) было извлечено 2367 граммов свободной металлической ртути, около 760 граммов ртути, содержащейся в амальгаме, и около 200 граммов золота.

В хвостах гравитационного обогащения коренных руд золота (изучены хвостохранилища Туманной, Ивановской, Приисковой, Майской ЗИФ), где также использовался процесс амальгамации, отмечаются следующие особенности нахождения и распределения благородного металла:

- в хвостах присутствуют как свободное золото, так и металлическая ртуть;
- содержание связанного (негравитационного) золота в них на порядок превышает содержание свободного металла и золото-ртутной амальгамы;
- максимальные концентрации золота и ртути локализуются около бегунных чаш;
- в почвенном воздухе над хвостами амальгамации наблюдаются повышенные содержания паров ртути, максимальные концентрации которых совпадают с максимумами содержания золота;
- помимо золота, техногенная ртуть обнаруживает тесную связь со свинцом и мышяком;
- на встречаемом в хвостах металлическом скрапе отмечаются примазки ртути и пленки золота.

В хвостах флотационного обогащения коренных руд золота доля свободного металла редко превышает 10-15 % от общего его содержания. В аналогичных хвостах при обогащении золотосодержащих руд цветных металлов эта цифра может достигать 60-80 %. Связанное золото чаще всего ассоциирует с сульфидными минералами. Несмотря на то, что сульфиды могут быть значительно окислены, золото, находящееся с ними в сростках, не высвобождается а остается в ассоциации с окислами и гидроокислами железа. Окисление сульфидных минералов более интенсивно проявляется в обводненных хвостохранилищах, где наиболее изменчив уровень зеркала грунтовых вод. Быстрее всего процессы окисления протекают в условиях влажного климата (Маинское хвостохранилище) и в меньшей степени в аридной климатической зоне (хвосты обогатительной фабрики Норильского ГМК).

Общим для свободного золота хвостов обогащения коренных руд являетя наличие на его поверхности пассивирующих пленок, возникающих в процессе измельчения руды и флотации. Кроме того, при переизмельчении руды отмечается деформация зерен свободного золота, уменьшение их гидравлической крупности, загрязнение шламом и наклепом тонко измельченного железа и других тяжелых металлов. В технологическом процессе свободное золото иногда сорбирует серу. Все это ведет к снижению эффективности ряда технологических процессов при вовлечении хвостов в повторную переработку и делает золото трудноизвлекаемым.

3. Ключевую роль в миграции золота и его перераспределении при формировании большинства техногенных золотосодержащих объектов, а также их последующем преобразовании играют геомеханические процессы. Совокупность этих процессов в сочетании с другими природными и технологическими факторами определяет две тенденции (модели) в формировании техногенных золотосодержащих месторождений – рассеяния золота в продуктах техногенного комплекса и его концентрации. Первая тенденция свойственна собственно золоторудным месторожде-

ниям, вторая - месторождениям рудного и нерудного сырья с рассеянной золотой минерализацией.

Механизм и масштабы миграции элементов в геотехнической системе определяются природными и техническими потоками вещества и энергии. Потоки вещества и энергии реализуются в конечном итоге посредством геомеханических, гидрогеохимических, биогеохимических и атмогеохимических процессов. Влияние их на миграцию и накопление золота в техногенных образованиях различно и заслуживает подробного рассмотрения.

Роль геомеханических процессов в формировании техногенных скоплений золота. В техногенных минеральных объектах, представляющих собой геотехнические системы, наряду с управляемыми (техногенными) процессами механического разрушения и перемещения горной массы (взрывание, погузка, разгрузка, дробление, классификация и др.) протекают естественные геомеханические процессы – механическое выветривание с перемещением обломочного материала в гравитационных, водных и воздушных потоках. Природные и техногенные процессы не могут быть рассмотрены раздельно по той причине, что в чистом виде ни те, ни другие не проявляются. В технологических процессах всегда устанавливается природная составляющая и, наоборот, в природных геомеханических явлениях заметную роль играют техногенные факторы (Емлин,1991).

При техногенном разрушении вещества и механическом выветривании, проявляющимся при освоении месторождений, возникает обломочный материал различного размера, что предопределяет и различие механизмов переноса его и ассоциированных с ним полезных компонентов. Крупные глыбы и щебень формируют гравитационные потоки; мелкий щебень, дресва, псаммитовый и алевритовый материал участвуют в образовании конусов выноса и осадков временных потоков и водоемов. Алевритовые и пелитовые частицы переносятся воздушными и водными потоками, а обломочный материал размерностью менее 5 мкм образует устойчивые водные суспензии.

Изучение техногенных золотосодержащих месторождений показывает, что механическая миграция обломочного материала оказывает решающее влияние на накопление и перераспределение золота. Фактический материал по геологическому строению и характеру распределения золота в техногенных месторождениях различных видов позволяет выделить определенные формы механической миграции золота для россыпных и коренных месторождений (табл.3-4).

Основные факторы механической миграции золота в техногенных россыпях

Перемещение золота с глинистыми окатышами. Оценке потерь золота и изучению механизма его миграции в отвальном комплексе при отработке россыпей с высоким содержанием глины, а также образованию глинистых окатышей посвящено большое количество исследований. Процентный выход глинистых окатышей при промывке песков зависит от состава минералов глин, их содержания в песках и технологии дезинтеграции материала. Максимальное развитие окатыши получают при дражном способе отработки россыпи, где грохочение песков осуществляется с использованием барабанного грохота (дражной бочки) – идеального устройства для закатывания кусков глины. Существует определенная (нелинейная) зависимость между содержанием глины, выходом окатышей в подрешетном продукте и потерями металла. В объеме эфельного отвала мелкие глинистые окатыши распределены относительно равномерно.

Процентный выход крупных глинистых окатышей, теряемых с галей (в надрешетном продукте), во многом зависит от технологических причин, а именно – скорости черпания песков и коэффициента заполнения черпаков, времени грохочения, скорости вращения дражной бочки и др. Доля окатышей в галечном отвале может достигать 15-20%. Скатываясь с гребней галечных отвалов, крупные окатыши накапливаются в западинах между соседними валами, обуславливая периодичность в их размещении. Отмечено, что способность к движению вниз по склону приобретают окатыши, диаметр которых в 3-5 раз больше размеров наиболее представительной фракции материала гали.

Таблица 3

Формы и характер механической миграции золота в отвальном комплексе техногенных россыпей

Размерность материала	Отвальный комплекс / формы нахождения золота	Механизм миграции
1. Глыбы, валуны, галька (> 10 мм)	Галечные отвалы / самородное золото в ассоциации с глинистыми окатышами и примазками	А) Гравитационное перемещение окатышей вниз по склону к подножию отвалов; Б) Локальная миграция золота в пределах деятельного слоя после дезинтеграции окатышей
2. Гравий (10-1 мм)	Эфельные отвалы / то же, что 1 + свободное золото	В) Равномерное распределение окатышей по массе отвала + Б
3. Песок (1-0,05 мм)	Эфельные отвалы / свободное золото, золото в ассоциации с ртутью и гидроокислами железа	Г) Перемещение частиц в потоках технологической воды и атмосферных осадков
4.Алеврит (0,05-0,005 мм)	Тыльные части эфельных отвалов и отложения прудов-отстойников / то же, что 3	Д) Перемещение за счет ветровой эрозии + Г
5. Глина (< 0,005 мм)	Отложения прудов-отстойников/ тонкодисперсное, иногда переходящее в коллоидный раствор	Е) В виде тонкой взвеси на минералах-сорбентах и в форме коллоидов + Г + Д

Таблица 4

Формы и характер механической миграции золота в отвальном комплексе, возникающем при разработке и переработке руд коренных месторождений

Размерность материала	Отвальный комплекс / формы нахождения золота	Механизм миграции
1. Глыбы, валуны, щебень крупный (> 20 мм)	Отвалы забалансовых руд и вмещающих пород / в агрегатах с рудными и нерудными минералами	А) Руды прочнее вмещающих пород: гравитационное перемещение по склону и скопление крупных рудных обломков у подножия склона отвала; Б) Вмещающие породы прочнее руд: скопление обогащенной золотом рудной мелочи в верхней части отвала
2. Щебень мелкий, дресва (20-1 мм)	Хвосты сухой магнитной сепарации, штабеля руд после кучного выщелачивания золота / в агрегатах с рудными и нерудными минералами	В) Отсыпка автомобильных дорог и железнодорожных насыпей (хвосты сухой магнитной сепарации) + Б
3. Песок (1-0,05 мм)	Хранилища хвостов обогащения руд в головной части (местах слива пульпы) / свободное золото, в минеральных сростках	Г) Перемещение частиц в потоках технологической воды и атмосферных осадков;
4.Алеврит (0,05-0,005мм)	Хранилища хвостов обогащения / свободное золото, в минеральных сростках	Д) Перемещение за счет ветровой эрозии + Г
5. Глина (< 0,005 мм)	Тыльные зоны хвостохранилищ, отстойники оборотных технологических вод / тонкодисперсное иногда переходящее в коллоидный раствор	Е) В виде тонкой взвеси на минералах-сорбентах и в форме коллоидов + Г + Д

Локальная миграция золота в пределах деятельного слоя происходит при дезинтеграции окатышей. Считается, что наиболее быстро этот процесс протекает в географических поясах, где имеет место фазовый переход воды из жидкого состояния в твердое. Песчано-глинистый материал окатышей, дезинтегрированных под действием криогенных факторов и атмосферных осадков, заполняет пустоты галечного отвала до достижения толщей плотной упаковки. Вместе с рыхлым материалом в вертикальной миграции участвует золото. Скорость этих изменений высока. Наблюдение за фрагментом галечного отвала полигона драги № 2 (правый приток р. Удерей), где широко развиты глинистые окатыши, сразу после отработки и год спустя, показало, что через год сферический облик окатышей исчезает. Локальные скопления окатышей трансформируются в бугорчатый слой глины, обогащенный с поверхности гравийно-дресвяным материалом.

Перемещение самородного золота в потоках технологической воды и атмосферных осадков. Данный механизм миграции золота проявляется главным образом в намывных эфельных отвалах. Такие отвалы формируются самотеком ниже работающего шлюза и по характеру формирования и морфологии напоминают отложения пролювиального конуса выноса. В вершине отвала мощность конуса максимальная, к периферии она уменьшается. Перенос и осаждение материала на таком отвале контролируется сменой гидродинамического режима потока. В вершине потока накапливаются грубообломочные фракции, а по мере продвижения к периферии начинают преобладать мелкие фракции.

Основная закономерность распределения свободного гравитационного золота в намывных техногенных массивах – это приуроченность наиболее высоких концентраций к устью сбросных пульповодов. При этом наибольшая изменчивость проявляется в направлении движения потока эфелей.

Дальность транспортировки золота в потоке, формирующем намывной массив, зависит от морфологических особенностей золота, а также параметров транспортирующей золото жидкости, которая при промывке песков на добычных полигонах с высоким содержанием глины является не водой, а глинистым раствором. Скорость падения частиц золота в такой транспортирующей среде существенно зависит от ее плотности (Мязин, 1995). На дальность транспортировки золота влияет и то обстоятельство, что часть металла поступает в эфельный отвал в агрегате с глинистыми минералами и в мелких окатышах. Проведенный сравнительный анализ распределения золота различных фракций крупности при формировании намывных эфельных отвалов россыпей с различной глинистостью показал, что содержание глины в песках и их промывистость являются главными факторами, определяющими дальность транспортировки золота.

Миграция алеврито-глинистого материала и золота из отвального комплекса техногенных россыпей в результате эоловых процессов в условиях влажного климата несущественна. В условиях жаркого сухого климата такие процессы, без сомнения, будут иметь место.

Примерами ***перемещения золота в виде взвеси*** на отвалах техногенных россыпей могут служить эфельные отвалы после перемыва материала золотоносных кор выветривания (элювиальных россыпей) [29, 32]. Негравитационное (связанное) золото в этих отвалах относительно равномерно распределено по всей площади, не обнаруживая признаков механической дифференциации и, соответственно, зональности в размещении. Механизм миграции золота в виде взвеси тонких и ультратонких частиц описан в литературе (Воротников, 1983; Росляков, 1981). Считается, что предпочтительнее всего золото сорбируется на гидроксидах железа и глинистых частицах. В таком виде оно может транспортироваться в различных условиях окислительно-востановительной обстановки и весьма устойчиво в природных водах.

Механическая миграция золота в отвальном комплексе, формируемом при разработке и переработке руд коренных месторождений

В таблице 4 отражены основные причины и формы механической миграции золота в отвальном комплексе, возникающем при переработке руд коренных месторождений. ***В отвалах забалансовых руд и минерализованых вмещающих пород*** основной механизм миграции – гравитационная сегрегация материала различных фракций крупности по

высоте штабеля отвала. В зависимости от механической и химической устойчивости минеральных агрегатов, несущих золото, и их плотности, в отвалах могут наблюдаться два варианта их накопления. Первый вариант реализуется тогда, когда обогащенные золотом минеральные агрегаты прочнее безрудных и испытывают меньшее разрушение и дезинтеграцию (например, кварцевые жилы и окварцованные породы среди сланцев). В этом случае наблюдается перемещение более крупных и прочных рудных обломков вниз по склону и накопление их у основания отвала. В случае, если вмещающие породы прочнее оруденелых пород, наблюдается скопление обогащенной золотом рудной мелочи в верхней части отвала. С течением времени на таких отвалах под воздействием атмосферных осадков и физического выветривания может происходить вынос (просадка) обогащенной золотом рудной мелочи в основание штабеля.

Другой причиной значительной механической миграции золота является использование обогащенных благородными металлами отвальных продуктов для отсыпки насыпей автомобильных и железных дорог. Наиболее интенсивно для этих целей, в силу прочностных свойств, используются хвосты сухой магнитной сепарации железных рудников (Темиртаусский, Абаканский, Ирбинский и др). Дорожные насыпи, отсыпанные подобными “отходами”, представляют собой протяженные техногенные геохимические аномалии золота. В.А. Алексеенко (2000) такие образования выделяет в особый тип техногенных ландшафтов – дорожный. При дальнейшей эволюции дорожных ландшафтов цепочка механической миграции золота может значительно удлиниться (истирание золотоносных агрегатов, пыление, миграция в виде взвеси в гидродинамических потоках и пр).

Механическая миграция золота при формировании хранилищ хвостов обогащения коренных руд. Анализ материалов по условиям формирования хранилищ золотосодержащих хвостов обогащения коренных руд показывает, что на распределение золота в них решающее влияние оказывает механическая миграция минералов-носителей полезного компонента в гидродинамических потоках. Характер миграции золота с отвальными хвостами определяется целым рядом технологических и минералогических факторов, а именно: характером намыва хвостов, формой нахождения золота (свободное или связанное), гидравлической крупностью зерен минералов-носителей полезного компонента, гранулярным составом материала хвостов, обводненностью хранилища, климатическими условиями и др. В размещении участков повышенных концентраций золота в хвостохранилищах выявляется ряд закономерностей, не зависящих от вида золотосодержащих хвостов. Таковыми являются:

- устойчивое повышение содержаний золота в придонной части хранилищ;
- равномерное снижение содержания золота от головной части хранилища (места излияния пульпы) к тыльной;
- наличие сезонной ритмичности в распределении полезных компонентов.

Закономерным для ряда хвостохранилищ является то, что механическая миграция золота продолжается после заполнения хранилища. Механическое перемещение золота отмечается как внутри контура хвостохранилища, так и вне его. Последнее связано, как правило, с деятельностью ливневых и паводковых вод, а также водотоков, дренирующих хвосты. Иллюстрацией тому может служить хвостохранилище ЗИФ Артемовского рудника, где вдоль русла реки Ольховка в результате перемыва хвостов и выноса легкого обедненного материала происходит формирование обогащенных золотом струй. Содержание металла в контуре струй в 2-4 раза выше, чем в среднем по хвостохранилищу. В контуре хранилища хвостов обогащения Норильской ОФ отмечается повышение концентраций благородных металлов, связанное с волноприбойной деятельностью озера, находящегося в центральной его части.

То, что активизированное техногенными процессами золото подвижно и может переноситься водотоками на десятки километров, отражается данными региональной геохимической съемки в северной части Енисейского кряжа. Интенсивный техногенный поток рассеяния золота от ЗИФ Советского рудника прослеживается в донных отложениях р.р. Енашимо и Тея, вплоть до впадения последней в р. Вельмо. На техногенную природу потока рассеяния золота указывает тесная пространственная корреляция его с серебром, мышьяком и сурьмой – основными элементами-спутниками в коренных рудах Советского месторождения и компонентами отвальных продуктов хвостохранилища. Среднее содер-

жание золота в донных пробах по 40-километровому отрезку от хранилища хвостов по р. Енашимо составило 0,354 г/т. По р. Тея от впадения в нее р. Енашимо до р. Вельмо содержание золота превышает 0,1 г/т. Общая протяженность техногенного потока рассеяния золота составляет около 132 км. Кларк концентрации золота относительно местного геохимического фона в головной части потока (сразу после хвостохранилища) достигает 108, в тыльной (у впадения р. Тея в р. Вельмо) – 22. Количество рассеянного золота в 20-сантиметровом слое пойменных отложений водотоков, расположенных ниже хвостохранилища ЗИФ Советского рудника, в сумме превышает 1,2 тонны.

Факт развития интенсивных геохимических ореолов от техногенных объектов, несомненно, должен учитываться при геохимических поисках, поскольку протяженность и интенсивность техногенных аномалий очень высока. Интенсивный поток рассеяния мышьяка и зараженность донных отложений этим элементом ландшафтов, прилегающих к рекам Енашимо и Тея, необходимо оценить также с точки зрения экологии.

Известны другие примеры значительной механической миграции золота в водных потоках от хранилищ хвостов обогащения золотосодержащих руд. Техногенный поток рассеяния золота и ртути в донных отложениях протяженностью до 12 км описывался ранее Т.Т. Тайсаевым (1991). По его данным, большая часть золота от хранилища хвостов амальгамации переносится в виде взвеси и принадлежит классу –23+3 мкм. Учитывая наличие биогеохимического ореола золота и тесную его пространственную корреляцию с ореолом, выявленным в донных осадках водотока, очевидна также миграция золота в растворенной форме.

Известен случай, когда водоток, перемывающий золотосодержащие хвосты формирует аллювиальную россыпь с промышленными запасами благородных металлов. Такая россыпь возникла в бассейне р. Щучья, в верховьях которой складированы отвальные хвосты Норильской обогатительной фабрики раннего периода ее деятельности (Самойлов и др., 2000). Хвосты обогатительной фабрики с содержанием платиноидов 1,7 г/т и золота 0,27 г/т находятся на левом берегу вблизи современного русла и практически сплошным чехлом прослеживаются на расстоянии 3,5 км вдоль реки. В долине р. Щучья разведочными работами изучена и поставлена на баланс россыпь благородных металлов протяженностью 9 км (запасы + ресурсы МПГ и золота – 2,6 т). Продуктивный горизонт россыпи (пласт песков) представлен перемытым и переотложенным материалом отвальных хвостов, частично смешанным с естественными аллювиальными отложениями. В результате перемыва техногенного материала в водном потоке концентрации полезных компонентов в россыпи в среднем в 2-3 раза выше, чем в исходных хвостах, и достигают ураганных значений (Pt – 66,65; Pd – 77,8; Au – 18,56 г/м^3). Россыпь представляет собой лентообразную, вложенную преимущественно в русловые и пойменные отложения залежь шириною 10-60 м, с мощностью песков 2-6 м при полном отсутствии торфов. Распределение ценных компонентов в разрезе и плане россыпи неравномерное, подчиняющееся следующим закономерностям: содержание благородных металлов уменьшается сверху вниз по течению реки; наиболее богатые пески свойственны верхней части продуктивного горизонта. Минеральный состав песков совпадает с составом пород и руд Норильских месторождений. Полезные компоненты представлены изоферроплатиной, тетраферроплатиной, таймыритом, сперрилитом, рустенбургитом, самородным золотом, кюстелитом и др. Благородные металлы встречаются в классах песков до 0,4 мм. В классе +0,25 мм их содержится 10%, в классе –0,1мм - 60%. В тонких классах более 90 % благородных металлов находятся в свободном виде. Содержание сульфидных минералов в россыпи достигает 10 %. Из сульфидов преобладает пирротин, в подчиненном количестве присутствует халькопирит.

Без сомнения, техногенная россыпь р. Щучья является уникальным объектом, в силу уникальности питающего ее источника благородных металлов – отвальных хвостов Норильской фабрики. В отличие от классических аллювиальных россыпей благородных металлов, техногенная россыпь р. Щучья характеризуется повышением концентраций полезных компонентов к верхней части разреза, что сближает ее с россыпями косового типа. Материалы по разведке россыпи показали, насколько велики интенсивность и дальность механического переноса благородных металлов - менее за чем тридцать лет на

отрезке в 9 км их вынесено и переотложено около 2,6 т. По прогнозным оценкам, оставшийся отрезок реки протяженностью 21 км может содержать еще около 3,6 т платиноидов и золота (Самойлов и др, 2000).

Миграция золота за счет деятельности ветра. Специальных работ по оценке миграции золота из хранилищ золотосодержащих хвостов обогащения не проводилось. Тем не менее, свидетельства значительной роли ветровой эрозии в переносе вещества с поверхности хвостохранилищ имеются. В частности, такие оценки выполнены для хвостохранилища Салагаевский Лог Салаирского горно-обогатительного комбината (Айриянц, 1999; Айриянц, Бортникова, 2000). Изучая пылевую нагрузку вокруг хранилища, эти авторы пришли к выводу, что эоловый снос вещества является доминирующим механизмом поступления металлов в окружающую среду. Максимальное загрязнение почв пылью и тяжелыми компонентами наблюдается к северо-востоку от хвостохранилища, т.е. в соответствии с господствующим направлением ветров. С удалением от объекта площадь загрязнения почв снижается в соответствии с пылевым рассеянием и оседанием. Общая масса вещества, вынесенного ветром за 30 лет существования хвостохранилища и накопленного в 10-сантиметровом слое почвы, оценивается в 60 000 т. Итоговый вынос металлов (в тоннах) составил: Zn - 275,6 ; Pb - 60,4 ; Cu - 12,4 ; Cd - 0,94.

Содержания золота в пылевых ореолах не определялись и оценок его рассеяния не проводилось. Нами, исходя из форм нахождения золота в отвальных хвостах и баланса вещества, выявленного при изучении пылевой нагрузки, косвенно оценен эоловый вынос золота. При допуске, что содержание золота в пыли и в хвостах будет одинаковым (0,27 г/т), вынос его составит около 16 кг. Вместе с тем очевидно, что свободное золото, доля которого в хвостах составляет более 80%, в эоловых процессах будет мигрировать ограничено. Если считать, что с пылью будет перемещаться только связанное золото, объем его выноса составит около 3 кг. Значение величины эолового выноса золота с поверхности хвостохранилища Салагаевский Лог между 3 и 16 кг реально с учетом того, что наиболее обогащены золотом именно мелкие фракции хвостов, подвижные при ветровой эрозии.

Модели формирования техногенных золотосодержащих иесторождений

Техногенные месторождения - это звено сложной системы, элементами которой являются: природное месторождение полезного ископаемого, горное предприятие (система разработки), обогатительный и металлургический переделы, отходы различных стадий производства. Эти элементы связаны между собой потоками рудной и породной массы, подземных и поверхностных вод (рудничных и отвальных), газов, пыли и аэрозолей. В формировании техногенного месторождения выделяются два этапа – технологический и геолого-геохимический. На первом этапе формирования техногенного месторождения определяющими являются технологические (антропогенные) факторы, на втором - природные горно-геологические и ландшафтно-климатические (табл. 5).

Если рассматривать поведение золота в процессе техногенеза и анализировать факторы, приводящие к появлению промышленных концентраций, следует указать на две противоположные тенденции (модели) их формирования (табл. 6,7).

В таблице 6 отражена модель формирования техногенных золотосодержащих объектов с преобладанием процессов рассеяния золота. По такой модели формируются техногенные объекты при разработке золоторудного и золотосодержащего месторождения, где золото является основным полезным компонентом, а хвосты и отвальный комплекс вмещают преимущественно потерянный (рассеянный) металл. Содержание золота в них в 5-10 раз ниже, чем в исходных объектах. В отдельных случаях могут наблюдаться локальные повышенные концентрации, связанные с технологией складирования отвальных пород и отходов обогащения (сегрегация обогащенной рудной мелочи в основании породного отвала, скопление металла в местах слива пульпы и т.д.). Этому типу объектов свойственно перераспределение полезного компонента на геолого-геохимическом этапе под влиянием природных факторов. Данное обстоятельство открывает возможность организации на таких объектах внутриотвального обогащения. Эти объекты приобретают промышленную значимость с течением времени при снижении кондиций на минеральное сырье.

Таблица 5

Факторы, определяющие условия формирования техногенных золотосодержащих объектов

Группы факторов	Факторы
Технологические	Система отработки (извлечения) полезного ископаемого из недр
	Схема обогащения руд
	Технология складирования и захоронения хвостов и отходов горного производства
Геологические и горнотехнические	Минеральный и химический состав вмещающих пород и исходных руд, условия их залегания
	Гранулометрическая и морфологическая характеристика золота
	Физические свойства вмещающих пород и руд (крепость, пористость, кусковатость и др.)
	Обводненность пород и руд
Ландшафтно-климатические	Климат (количество осадков, температура, наличие многолетней мерзлоты и др.)
	Геоморфологический (лог, склон, долина реки и др.)
	Биологический (наличие растительности, бактериальный состав и др.)

Модель и примеры формирования техногенных золотосодержащих объектов с концентрацией золота отражены в таблице 7. Промышленные концентрации золота в них формируются главным образом на технологическом этапе. Механизм концентрации определяется минералого-технологическими свойствами исходного сырья, формой нахождения золота и особенностями технологического процесса. При этом металл может концентрироваться как по причине повышенной подвижности (скопление тонкого золота в шламоотстойниках), так и за счет его инертности (накопление в головных частях карт намыва песчано-гравийных смесей). То, что главной причиной концентрации золота на таких объектах является технологический фактор, позволяет ставить вопрос о направленном формировании техногенных месторождений с заданными параметрами в процессе отработки объектов и переработки сырья (Уманец, 1992).

4. Выбор методики геолого-экономической оценки техногенных россыпей должен осуществляться с учетом: 1) технологических причин и горно-геологических факторов, определяющих эксплуатационные потери золота при первичной разработке россыпи; 2) закономерностей размещения металла в отвальном комплексе, 3) предполагаемой технологии повторной отработки объекта.

Нормативно-методические основы изучения и оценки техногенных месторождений наиболее полно проработаны для хвостохранилищ, рудных и породных отвалов (Борисевич, Чайников, 1991; Уманец, 1992; Методическое руководство…, 1998; Чайников, 1999; Цибизов, Туманова, 1995 и др.). Вопросы методики изучения техногенных россыпных месторождений золота надлежащего освещения в литературе не получили. Из нормативных документов по изучению техногенных россыпей следует отметить составленное ВНИИ-1 “Временное руководство по методике повторной разведки россыпей для дражной отработки” (Временное…, 1959) и рекламируемые в последние годы, но не опубликованные разработки АО “Иргиредмет” – “Временные методические указания по переоценке “остаточных” запасов техногенных россыпей мелкозалегающих дражных полигонов” (Замятин и др., 1997).

В отличие от природных рудных и россыпных месторождений золота, изучение и оценка техногенных золотосодержащих объектов имеют свою специфику. Эта специфика определяется тем, что:

1) техногенные объекты, обладая определенным набором ценных потребительских свойств, одновременно являются мощными загрязнителями окружающей среды;

2) место локализации и пространственные границы объектов в большинстве случаев

известны;

Таблица 6

Модель формирования техногенных золотосодержащих объектов с преобладанием рассеяния золота (собственно золоторудные месторождения)

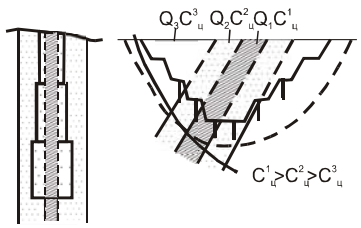
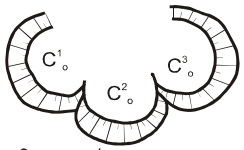
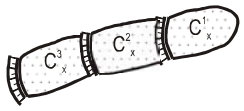
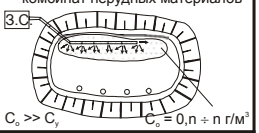
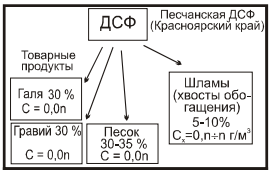
ЗАПАСЫ, РЕСУРСЫ	ДОБЫЧА	ПЕРЕРАБОТКА
Техногенно-целиковый комплекс  **$P_{тех} = P_{общ} - P_{изв}$**, где $P_{тех}$ - запасы техногенно-целикового объекта; $P_{общ}$ - балансовые и забалансовые запасы; Q_1 - запасы балансовых руд; Q_2 - запасы забалансовых руд; Q_3 - запасы вмещающих минерализованных пород; $C^1_ц$; $C^2_ц$; $C^3_ц$ - содержание золота в балансовых ($C^1_ц$), забалансовых рудах ($C^2_ц$) вмещающих породах ($C^3_ц$) $P_{общ} = Q_1C^1_ц + Q_2C^2_ц$	Отвальный комплекс  C_o= 0,n ÷ n г/т $C^1_o > C^2_o > C^3_o$ **$P_{отв} = Q_3C^3_ц + Q_2C^2_ц + П$** $P_{отв}$ - запасы золота в отвальном комплексе; П - потери полезного ископаемого при совместной выемке с вмещающими; C^1_o;C^2_o;C^3_o;C^i_o - содержание золота в отвалах различного времени складирования.	Хвостохранилище  $C^3_x < C^2_x < C^1_x$ **$P_{хв} = (Q_1 - П)C^{ср}_x$** $P_{хв}$ - запасы золота в хвостах; C^1_x;C^2_x;C^3_x;C^i_x - содержание золота в хвостах различных лет; K_u - коэффициент извлечения; $C^{ср}_x$ - среднее содержание золота в хвостах; $C^{ср}_x = C^1_ц(1-K_u)$.

Таблица 7

Модель и примеры формирования техногенных золотосодержащих объектов с преобладанием концентрации полезного компонента

ИСХОДНЫЙ ОБЪЕКТ(ПРИМЕРЫ)	ДОБЫЧА	ПЕРЕРАБОТКА
Месторождения ПГС (Русская платформа, бассейн р. Енисей) $C_ц$ = 0,0n÷0,n г/т	Вяземский ГОК, Усть-Каменогорский комбинат нерудных материалов  	
Железорудные месторождения (Маргоз, Казское, Абаканское) 1. Рассеянное, гнездовое, вкрапленное и прожилковое золотое оруденение $C_Ц$ = 0,0n г/т 2. Отдельные минерализованные зоны совпадающие с рудными телами $C_Ц$ = 0,n ÷ n г/т	Обогащение при селективной выемке руд с высоким содержанием сульфидов и складирование их в спецотвалы C_o = n г/т (Казское месторождение)	Хвосты сухой магнитной сепарации C = 0,n г/т (Абаканское месторождение) Хвосты мокрой магнитной сепарации C = 0,n - n г/т (Краснокаменская, Мундыбашская фабрики)
Месторождения угля (Экибастузский бассейн) $C_ц$ = 0,0n, г/т	Нет концентрации в отвалах	Золоотвалы C_x = 0,n г/т Текущие золы ГРЭС, ТЭЦ (Рефтинская ГРЭС)
Месторождения серного колчедана (Урал) $C_ц$ = 0,0n - 0,n г/т	———	Пиритные огарки после серно-кислотного производства C = 0,n ÷ n г/т

3) сырье, прошедшее через стадию обогащения, упорно для последующей переработки, поэтому при технико-экономическом обосновании повторного его освоения требуется проведение углубленных геолого-технологических исследований под новые, более совершенные технологии;

4) по физико-механическим свойствам техногенное сырье хорошо подготовлено для применения геотехнологических методов отработки (скважинной гидродобычи, кучного выщелачивания, внутриотвального обогащения и др.) и при оценке должно изучаться на предмет возможности их использования.

Очевидно, роль собственно технологических исследований при оценке техногенных месторождениях золота весьма высока. Углубленные технологические исследования должны начинаться уже на первой стадии геологической оценки – ревизионно-оценочных работах – для того, чтобы определить весь необходимый перечень оценочных параметров и оптимально выбрать технические средства разведки. При выборе методов геолого-технологической оценки и технических средств разведки необходимо учитывать вероятный способ отработки техногенного сырья.

Последнее положение применительно к техногенным россыпям отражено в таблице 8. Наш опыт работы по переоценке ряда техногенных россыпных объектов Енисейского кряжа показывает, что селективная отработка отвалов может представлять интерес для мелких горно-геологических организаций. В отдельных отвалах и их частях уровень содержания золота изменяется от 300 до 1500 мг/м^3 , что вполне рентабельно для повторной переработки в условиях небольших горно-геологических предприятий. Выявление обогащенных головных частей отвалов (стоянок прибора) возможно с использованием газортутной и магнитометрической съемки. Применение при оценке и отработке мобильных проходческих комплексов позволяет вести геологическую оценку с попутной добычей металла в рамках разведочно-эксплуатационных предприятий в режиме самоокупаемости.

Таблица 8

Способы повторной отработки техногенных россыпей и особенности их геолого-технологической оценки

Класс объектов	Возможные способы повторной отработки	Особенности методики геолого-технологической оценки
Техногенные россыпи	Селективная отработка отвалов мускульных и гидромеханических разработок	Газортутная и магнитометрическая съемка. Оценка и попутная отработка отвалов с использованием мобильных проходческих комплексов.
	Массовый перемыв отвалов с применением высокоэффективных золотоулавливающих аппаратов	Траншейная или шурфовая оценка по линиям с отбором большеобъемных проб и промывкой их на центробежных сепараторах
	Скважинная гидродобыча песков из целиков, оставленных в карстовых западинах	Геофизические исследования для изучения поверхности плотика, анализ гранулометрического состава песков и их физико-механических свойств
	Кучное и подземное (скважинное) выщелачивание золота из песков	Гидрогеологические исследования, изучение физико-механических свойств песков, опытно-технологические работы по подбору реагентов и режима выщелачивания

Массовый перемыв отвалов возможен на объектах с высоким содержанием тонкого и мелкого золота при использовании более совершенных технологий извлечения металла, чем те, которые использовались предшественниками. Соответственно при переоценке таких россыпей на промывке и доводке геологических проб должны использоваться обогатительные аппараты аналогичного или более высокого уровня. Некоторые техногенные россыпи, вероятно, могут быть объектами для скважинной гидродобычи либо подземного выщелачивания. Например, в пределах Енисейского кряжа первоочередными объектами для оценки возможностей применения таких технологий могут являться техногенные россыпи рр. Огневка, Пьяный, Гавриловская яма и др. Остаточные запасы каждого из этих объектов составляют от 200 до 400 кг. Находясь на глубинах до 30 и более метров и будучи сильно обводненными, такие объекты не могут быть рентабельно отработаны с использованием традиционных схем.

Особенности методики переоценки техногенных россыпей

В последние годы потребность в ревизии большого числа техногенных россыпей определила задачу выбора (разработки) эффективной методики и оборудования, позволяющего быстро и качественно осуществлять геологическую переоценку объектов. Центром геотехнологических исследований “Прогноз” при Красноярской государственной академии цветных металлов и золота на протяжении последних 7 лет проводились исследовательские и опытно-методические работы в данном направлении (Макаров, 1996; Макаров, 1997; Макаров, Шрайнер, 1998; Макаров и др., 1999). Этот опыт и вытекающие из него методические рекомендации заслуживают самостоятельного рассмотрения.

Экспериментальные исследования по определению минимальных объемов проб при оценке эфельных отвалов техногенных россыпей показывают, что достоверной является проба объемом не менее 0,05 м^3. С возрастанием в отвалах доли металла крупных классов минимальный объем пробы может возрасти до 0,1 м^3. Опытным путем установлено, что в пробах такого объема присутствует золото практически всех представленных в отвалах классов крупности.

Полученные результаты позволяют обоснованно подойти к выбору технических средств для переоценки эфельных отвалов. Наиболее надежными являются шурфы, траншеи и шурфоскважины. Применение обычных разведочных скважин диаметром 120 мм приемлемо, если в пробу будет отбираться материал со всей мощности отвала либо из куста скважин (2-3 скважины в точке).

Изучение техногенных россыпей, как и других техногенных объектов, должно осуществляться в 2 стадии – стадию ревизионно-оценочных работ и стадию разведки. В зависимости от стадии работ будет определяться выбор технических средств и густота разведочных пересечений. Выбор первоочередных объектов для постановки ревизионно-оценочных работ должен осуществляться на основе прогнозной оценки, которая может быть проведена в форме составления кадастра техногенных россыпных объектов.

Таблица 9

Основные горно-геологические факторы природных россыпных месторождений, определяющие потери золота в различных элементах техногенных россыпей

Факторы природных россыпей			Уровень
Группа	Факторы	Градация фактора	Отвальный вскрыша
Литологические	Валунистость	Мелковалунистые (валунов <1%)	
		Средневалунистые (1-3%)	
		Валунистые (3-10%)	
		Очень валунистые (10-30%)	
	Глинистость	Супесные (глины <10%)	
		Суглинистые (глины 10-15%)	
		Глинистые (глины >15%)	
Структурно-морфологические	Морфология и выдержанность пласта	Выдержанные	
		Средней выдержанности	
		Невыдержанные	+
	Глубина залегания пласта	Мелкие (до 4 м)	
		Средней глубины (4-20 м)	
		Глубинные (20-60)	
		Очень глубокие (>60 м)	
	Изрезанность плотика	Ровный	
		Ребристый и щеткообразный	
		С карманами и карстом глубиной до 5 м	
Минералогические	Размерность золотин (преобладающая)	Крупное >5-20 мм и более	
		Среднее 0,25-5 мм	
		Мелкое и тонкое < 0.25	
	Содержание минералов тяжелой фракции в песках	Низкое < 0,1 кг/м^3	
		Среднее 0,25-10 кг/м^3	
		Высокое > 20 кг/м^3	
	Морфология золотин	Изометричное, массивное	
		Пористое, изометричное	
		Уплощенное, плоское	
	Наличие золота в сростках	Свободное	
		В сростках с породообразующими минералами	
Климатические	Криогенные	Талые	
		С островной мерзлотой	
		Многолетнемерзлые сплошные	

Продолжение таблицы 9

потерь золота в техногенной россыпи *					Примечание
комплекс			Целики		
галя	эфель	илы	приплоти-ковый	внутри контура	
+					
+			++	+	
			+		Просадка золота в породы плотика
+	+				
++	++				При наличии плотных жирных глин потери очень высокие
			+	+	
			++	++	
			+		
			++		Недоработанные пески, оставленные на плотике
			+++		
			+	+	
			++		
+					Крупные самородки в гале
	++	+			
	+				Вымывание золота из-за отсутствия "постели" из тяжелых минералов на шлюзах
	++				Наличие плотной минеральной "постели", препятствующей проседанию золота
	+				
	++				
	+++	+++			В элювиальных россыпях, совмещенных с корами химического выветривания
			+	+	Потери в связи снарушением технологии оттайки песков
			++	+	

Ревизионно-оценочные работы должны ставиться на россыпях, для которых по результатам прогнозной кадастровой оценки показана принципиальная возможность их промышленного освоения. Основной задачей этой стадии должно стать выбор объектов, перспективных для промышленного освоения и, соответственно, постановки разведочных работ. Выполняются эти работы в 2 этапа – камеральный и полевой. На камеральном этапе производится ревизия всех имеющихся данных: геолого-геоморфологических исследований, первичной разведки, эксплуатации. Анализируются виды и причины документально зафиксированных и возможных неучтенных потерь (табл.9). Сопоставляются данные разведки и эксплуатации. При этом техногенная россыпь должна получить комплексную прогнозную оценку как единая система, элементами которой в том или ином сочетании могут являться: 1) отвальный комплекс дражных разработок; 2) отвальный комплекс мускульных и гидромеханических отработок; 3) внутриконтурные и боковые целики, а также мелкие ложковые россыпи, примыкающие к основному руслу. На этапе полевых исследований при ревизионно-оценочных работах, помимо маршрутного обследования, проходятся единичные горные выработки (закопушки, шурфы, шурфоскважины, траншеи) и производится их опробование. Размещение горных выработок на этой стадии работ должно осуществляться с учетом условий формирования пород отвального комплекса и характера распределения в нем золота. Основные рекомендации могут быть сведены к следующему.

1. На эфельном отвале, сформированном при раздельной добыче песков, заверочный шурф (шурфоскважина, траншея) должен располагаться в центре отвала. Это исключит пересечение заведомо обедненных (тыльная часть) или обогащенных (головная часть) участков. Учитывая отсутствие вертикальной сегрегации металла в эфельном отвале, на стадии ревизионно-оценочных работ возможна оценка его мелкими шурфами или закопушками.

2. Отвалы торфов и гали, где отмечается наибольшая изменчивость содержания золота, должны быть пересечены заверочными выработками на всю мощность. Особо это относится к галечным отвалам, где процессы вертикальной сегрегации мелкого, обогащенного золотом материала максимальны.

3. Гале-эфельные отвалы дражных полигонов при заверочных работах должны быть пересечены на всю мощность. Обязательным условием является опробование пород разборного плотика.

4. Целиковые участки техногенной россыпи – боковые и внутриконтурные целики, примыкающие ложковые россыпи – на ревизионной стадии должны быть заверены пересечениями, обеспечивающими крупнообъемное опробование. Особенно это касается россыпей, где преобладает крупный и средний металл, а разведка осуществлялась буровыми скважинами.

На стадии разведки техногенной россыпи на густоту сети и расположение горных выработок влияет большое количество факторов – масштаб объекта, сочетание типов отработки (мускульный, гидромеханический, дражный), соотношение отвального и целикового комплексов. Основные рекомендации могут быть сведены к следующему.

1. Более всего приемлем линейный способ разведки с валовым либо крупнообъемным опробованием.

2. При разведке крупных отдельно стоящих намывных и насыпных эфельных отвалов разведочные выработки (шурфы) должны располагаться по линиям, радиально расходящимся от места слива пульпы с промприбора либо в шахматном порядке по всей площади отвала.

3. Целики в бортах россыпи, оставленные между линиями разведочных скважин, оцениваются традиционными для россыпных месторождений методами.

Как было показано выше, на техногенных россыпях наиболее распространенные средства разведки - буровые скважины - не могут обеспечить надежной представительности опробования ввиду малого объема материала проб. Шурфовая и траншейная разведки россыпей дают более достоверные результаты, однако имеют ряд существенных недостатков - низкую производительность и высокую трудоемкость.

Нами для районов с активной золотодобычей и широким развитием техногенных россыпей разработана и предлагается технология ускоренной геологической оценки объектов. Основу технологии составляют мобильные проходческие комплексы для экспрессного

большеобъемного и валового опробования сырья, позволяющие вести геологическую оценку техногенных объектов с попутной их отработкой в рамках разведочно-эксплуатационных предприятий в режиме самоокупаемости. В технологии получили развитие и реализацию идеи создания самоходных промывочных установок для валового опрбования песков россыпей, предлагаемых ВНИИ-1.

Основу комплексов составляют скомпонованные на гусеничном шасси и работающие от единого двигателя гидравлический экскаватор, барабанный грохот-дезинтегратор и шлюз. Гидравлический экскаватор (обратная лопата) с емкостью ковша 0,25 м^3 рассчитан на глубину черпания песков до 4-4,5 м. Производительность агрегата по погрузке песков - 15-20 м3 в час, по промывке на средне- и хорошо промывистых песках - до 10-15 м^3 . Обладая высокой производительностью, будучи маневренным и легко управляемым одним оператором, комплекс может являться как геологоразведочной, так и добычной единицей.

Как агрегат для поисков и геологической разведки техногенных и целиковых россыпей золота, в отличие от традиционных технологий оценки (скважинами, шурфами, бульдозерными траншеями), комплекс имеет ряд преимуществ. Он позволяет:

- осуществлять проходку разведочных выработок (шурфов, траншей) с одновременной валовой промывкой песков, что обеспечивает высокую достоверность и быстроту опробования, а также низкую трудоемкость работ (в 1,5 раза ниже, чем на проходке траншей бульдозером);
- проходить разведочные выработки на обводненных объектах, где проходка бульдозерных траншей невозможна.

Кроме того, высокая производительность комплекса по промывке песков в сочетании с мобильностью делают его незаменимым при эксплуатационной разведке неглубоких россыпей, а также заверке данных буровой разведки.

Как малая добычная единица, комплекс может быть использован по нескольким направлениям, а именно:

- при разработке мелких россыпных месторождений с незначительной мощностью вскрышных пород;
- на доработке целиков и зачистке богатых карманов и западин в коренном плотике на действующих полигонах старательских артелей;
- при повторной переработке старых отвалов и хвостов обогащения;
- при отработке обводненных песков россыпи.

В развитие идеологии создания модульной техники для оперативной оценки, разведки и отработки техногеннных золотосодержащих объектов с высоким содержанием мелкого и тонкого золота предлагается модульный вариант с использованием в качестве обогатительного узла центробежных концентраторов. Для обогащения окисленных и сцементированных хвостов предлагается вариант прицепного обогатительного модуля с предварительной дезинтеграцией промываемого материала шарами. Данный модуль предлагается для оценки и переработки мелких хвостохранилищ типа Южно-Енисейской ШОФ, где наряду с золотом (8 г/м^3) присутствует свободная металлическая ртуть (в среднем 175 г/м^3).

Основные выводы и рекомендации

Анализ геологического строения и условий формирования техногенных месторождений различных классов позволил оценить роль геологических и технологических факторов в формировании повышенных концентраций золота и показать закономерности его распределения и перераспределения в техногенных образованиях.

При рассмотрении основных причин возникновения остаточных запасов золота в отвальном и целиковом комплексе техногенных россыпей установлено, что неполное выявление запасов обусловлено занижением при первичной разведке россыпей содержания как мелкого и тонкого, так и крупного золота. Выявлено, что традиционно применяемые методы обогащения с окончательной доводкой концентрата на лотке и отдувкой золота занижают содержание тонкого мелкого золота (класс - 0,25 мм) в 2 - 3 раза. Погрешности в определении содержания крупного золота в основном связаны с малыми объемами проб и ведут к пропуску кондиционных пересечений пласта россыпи.

Проанализированы технологические причины и горно-геологические факторы, влияю-

щие на эксплуатационные потери золота при отработке россыпей мускульным, гидравлическим, гидромеханическим и дражным способами. Для техногенных россыпей, формируемых при дражном и гидромеханическом способах отработки, выявлены основные закономерности в распределения золота в породах отвального комплекса. В частности, для намывных и насыпных эфельных отвалов, формируемых при гидромеханическом способе отработке россыпей, установлено следующее: 1) в отвалах обоих типов отмечается снижение содержания золота от головной части отвала к тыльной; 2) в намывных отвалах, где эфеля складированы самотеком, эффект обогащения головных частей проявляется наиболее контрастно; 3) чем выше глинистость исходных песков, тем менее отчетливо проявлена площадная зональность в эфельном отвале; 4) головные части отвалов обогащены золотом крупных фракций, а мелкое и тонкое золото распределено в отвале относительно равномерно; 5) вертикальной сегрегации золота в эфельных отвалах, в отличие от галечных, не отмечается. В распределении потерянного золота в галеэфельных отвалах, формируемых при дражном способе отработки, выявлено два пика его содержания - на плотике россыпи (связан с потерями при зачистке скального плотика) и в верхней части эфельного отвала. При отработке драгой глинистых песков эта закономерность не проявляется.

Анализ особенностей гранулометрического состава и морфологии золота техногенных россыпей показал, что: гранулометрический состав и морфологические особенности золота песков целиковой россыпи и галечных отвалов близки; в эфельных отвалах накапливается более мелкое золото, чем в исходных песках и галечных отвалах, а также происходит увеличение доли золота пластинчатых форм и снижение среднего веса золотин; изменения состава и трансформация зерен золота в техногенной россыпи незначительны и связаны преимущественно с процессом амальгамации.

При анализе условий формирования техногенных объектов, связанных с переработкой коренных руд золота, цветных и черных металлов, показаны формы нахождения золота в продуктах отвального комплекса. Установлены уровни его концентрации, масштабы накопления, характер распределения в объеме техногенных массивов и особенности последующего перераспределения. Выявлено, что в хвостах гравитационного обогащения золотоносных руд, где использовался процесс амальгамации, содержание золота тесно коррелирует с содержанием ртути. Ртуть в хвостах присутствует как в виде амальгам, так и в свободном металлическом состоянии, неся в себе растворенное золото. Показано, что из хвостов шлихообогатительных фабрик золото и металлическая ртуть могут быть извлечены гравитационной технологией с использованием высокоэффективных центробежных концентраторов.

Общими закономерностями для хранилищ хвостов обогащения руд золота и цветных металлов с использованием флотации являются следующие: 1) в нижних частях хвостохранилищ отмечаются повышение концентрации благородных металлов, что связано с отработкой более богатых руд на ранних стадиях освоения месторождений, а также просадкой тяжелых фракций хвостов; кроме того, отмечается резкое обогащение золотом мест поступления (слива) пульпы в гидроотвал; 2) золото находится в свободном виде и связано с сульфидными минералами; 3) содержание благородных металлов повышается в мелких и тонких фракциях вещества хвостов; 4) интенсивность процессов окисления сульфидных минералов хвостов зависит от уровня грунтовых вод и условий аэрации вещества и для большинства изученных хвостохранилищ невелика.

Анализом отвального техногенного комплекса, связанного с переработкой руд черных металлов, показано, что в процессе освоения железорудных месторождений относительно равномерно распределенные и промышленно значимые концентрации золота могут быть сформированы: а) при селективной выемке и складировании в спецотвалы обогащенных сульфидами руд; б) в отвалах хвостов сухой магнитной сепарации; в) в хвостах мокрой магнитной сепарации. При этом в контурах рудных тел железорудных месторождений присутствует рассеянная минерализация золота, как правило, не имеющая самостоятельного промышленного значения.

При изучении золотоносности месторождений песчано-гравийных смесей и продуктов их переработки определены уровень содержания золота, его гранулометрические и морфологические характеристики. Показано, что на некоторых месторождениях ПГС Красно-

ярского края (Сымское месторождение) может быть организовано рентабельное попутное извлечение золота и платиновых металлов при условии комплексной переработки песков. Кроме того, рассмотрены возможности освоения месторождений ПГС с формированием обогащенных золотом участков на картах намыва (наличие в ПГС относительно крупного золота) и в шламоотстойниках (тонкое золото) для их последующей переработки с использованием традиционных гравитационных технологий извлечения тяжелых минералов.

В процессе исследований рассмотрены основные факторы, определяющие механизм и масштабы миграции золота при формировании техногенного золотосодержащего сырья. Сравнительным анализом процессов геомеханической, гидрогеохимической, биогеохимической и атмогеохимической миграции установлено, что ключевую роль в миграции золота и его перераспределении при формировании техногенных золотосодержащих объектов, а также их последующей трансформации играют геомеханические процессы.

Выявленные закономерности накопления и перераспределения золота и сопутствующих компонентов в техногенном минеральном сырье могут быть использованы для разработки технологических и геотехнологических схем их извлечения, организации внутриотвального обогащения и решения природоохранных задач.

В работе решен ряд методических вопросов по оценке техногенных золотосодержащих объектов.

Для техногенных россыпных месторождений проведено экспериментальное обоснование объемов проб, осуществлена оценка эффективности оборудования, применяемого для их доводки. Показано, что рациональный комплекс методов геолого-технологической оценки техногенного золотосодержащего объекта и методика проведения геологоразведочных работ должны выбираться с учетом природных и технологических факторов его формирования, а также с учетом технологии последующей отработки и переработки вторичного сырья. Для районов с широким развитием техногенного золотосодержащего сырья (техногенных россыпей, хвостов гравитационного обогащения) разработана и предлагается технология ускоренной геологической оценки объектов. Основу технологии составляют многофункциональные мобильные проходческие комплексы для экспрессного большеобъемного опробования сырья, позволяющие вести геологическую оценку в рамках разведочно-эксплуатационных предприятий в режиме самоокупаемости. Полученный в процессе исследований опыт и методические рекомендации по переоценке техногенных россыпей и хвостохранилищ реализованы при проведении ревизионных работ на объектах Енисейского кряжа, Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна.

Публикации

1. Макаров В.А. Геолого-технологические основы ревизии техногенного минерального сырья на золото. - Красноярск: ООО “Поликом”, 2001. - 132 с.
2. Макаров В.А., Эммерих А.Х., Шрайнер А.Д. Особенности обогащения геологических проб при оценке техногенных россыпных месторождений золота с использованием концентратора Knelson-7,5. – М.: ООО “ПКЦ Альтекс”, 2001. – 25 с.
3. Макаров В. А. Задачи и перспективы переоценки техногенных россыпных месторождений золота Нижнего Приангарья / Сырьевые ресурсы Нижнего Приангарья (горно-металлургический и лесохимический комплекс). - Красноярск, 1997. - С.26-27.
4. Макаров В. А., Шрайнер А. Д. Проблемы геологической переоценки техногенных месторождений золота // Горный журнал. - 1998. - № 5. - С.29-33.
5. Макаров В.А. Золото месторождений песчано-гравийных смесей бассейнов рек Енисея и Чулыма: результаты геолого-технологической оценки и перспективы комплексного освоения / Сб. статей “Геология и полезные ископаемые Красноярского края”. - Красноярск: КНИИГиМС, 1999. - С. 99-105.
6. Макаров В.А. Виды техногенного золотосодержащего сырья и особенности методики его геолого-технологической оценки / Тезисы докладов международной научной конференции “Металлургия XXI века: шаг в будущее”. - Красноярск, 1998. - с. 177-178.
7. Макаров В.А. Вопросы методики геолого-технологической оценки техногенного золотосодержащего сырья как объекта геотехнологий. Материалы научно-практической конференции “Геотехнологиии на рубеже XXI века”. -Новосибирск,

1999. - с. 99-100.
8. Макаров В.А. Геологические, технологические и методические основы ревизии техногенного минерального сырья на золото / В кн. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири. Материалы научной конференции. – Томск: ТПУ, 2000. - с. 169-174.
9. Макаров В.А. Золото техногенных россыпей Красноярского края // Разведка и охрана недр. - 1997. - №10. - С.10-14.
10. Макаров В.А. Золотоносность месторождений песчано-гравийных смесей и перспективы комплексного освоения объектов в Красноярском крае и Хакасии // Известия вузов. Геология и разведка. – 2000. - № 6. - С.68-77.
11. Макаров В.А. Металлы платиновой группы в хвостах обогащения Малошушенского золоторудного месторождения / Платина в геологических формациях Сибири // Тезисы докладов общероссийского семинара 20-21 сентября 2001 г. - Красноярск, 2001. - с. 51-52.
12. Макаров В.А. Опыт переоценки эфельных отвалов техногенных россыпей и хвостохранилищ с использованием новых технологий / В кн. Техника и технология для извлечения мелкого самородного золота. Материалы международной школы-семинара 31.07-5.08.95г. - Иркутск: ИРГИРЕДМЕТ, 1996. - с. 79-84.
13. Макаров В.А. Особенности распределения золота в техногенных россыпях дражных разработок (на примере объектов Енисейского кряжа) / Материалы Международной научно-технической конференции “Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства”. Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых. - Томск: ТПУ, 2001. – С. 260-265.
14. Макаров В.А. Потенциал техногенных месторождений золота в Красноярском крае и республике Хакасия и перспективы их освоения / Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика // Тезисы докладов Первого Сибирского Симпозиума с международным участием. – Красноярск, 1999. - с. 28-29.
15. Макаров В.А. Природные условия выщелачивания меди на Фестивальном и Маинском месторождениях и перспективы доработки остаточных запасов геотехнологическими методами / Материалы научно-практической конференции “Геотехнологиии на рубеже XXI века”. - Новосибирск, 1999. - с. 95-97.
16. Макаров В.А. Ртуть в хвостах шлихообогатительных и золотоизвлекающих фабрик Красноярского края / Новые идеи в науках о Земле // Тезисы докладов третьей Международной конференции. Т.4. - Москва, МГГА, 1997. - с . 55.
17. Макаров В.А. Техногенное золотосодержащее сырье: Условия формирования, вопросы систематики и методики переоценки / Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства // Материалы международной научно-технической конференции – Екатиринбург, УГГГА, 1999. - с. 76-78.
18. Макаров В.А. Технология разведки техногенных россыпей с использованием мобильных проходческих комплексов на базе гусеничного шасси / В кн. Новые идеи в науках о Земле // Тезисы докладов третьей Международной конференции. Т.2. - Москва, МГГА, 1997. - с . 167.
19. Макаров В.А. Технология ускоренной геологической оценки техногенных россыпей на основе мобильных проходческих комплексов / Тез. докладов 2-ой Международной конференции и выставки “Драгоценные металлы и камни – проблемы добычи и извлечения из руд, песков и вторичного сырья”. - Иркутск, 2001. – с.6-8.
20. Макаров В.А. Хвосты обогатительных фабрик золотодобывающих предприятий – объекты повышенной экологической опасности территорий активной золотодобычи Красноярского края и Хакасии / Материалы первой научно-практической конференции “Декларирование безопасности промышленных объектов и современные направления в области предупреждения чрезвычайных ситуаций”. – Красноярск: КГАЦМиЗ, 1997. - с 54-55.
21. Макаров В.А. Шведов Г.И. Металлы платиновой группы в Сымском месторождении песчано-гравийных смесей – поисковое значение и перспективы освоения / Платина в геологических формациях Сибири // Тезисы докладов общероссийского семинара

20-21 сентября 2001 г. - Красноярск, 2001. - с. 153-156.
22. Макаров В.А., Бабичев Д.А., Шведов Г.И. и др. Изменчивость типоморфных особенностей самородного золота коренных месторождений, кор выветривания и россыпей Восточного Саяна / В кн. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири // Материалы научной конференции. – Томск: ТПУ, 2000. - с. 321-327.
23. Макаров В.А., Ладынин А.А. К вопросу о характере распределения и масштабах миграции золота в процессе техногенеза / Тез. докладов 2-ой Международной конференции и выставки “Драгоценные металлы и камни – проблемы добычи и извлечения из руд, песков и вторичного сырья”. - Иркутск, 2001. – с.11-13.
24. Макаров В.А., Ладынин А.А. Золото в процессе техногенеза – характер перераспределения и масштабы миграции / Труды Второго Международного Симпозиума “Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика”. – Красноярск, 2001. – с. 295-299.
25. Макаров В.А., Лобанов К.В. Техногенные россыпи золота Сибирского региона: условия формирования, особенности строения и перспективы освоения / В кн. Алмазы, золото и платиноиды Красноярского края. - Красноярск, 2000. – с. 147-156.
26. 24. Макаров В.А., Макеев С.М., Исаев А.В. Технико-технологический комплекс для экспрессной оценки золотоносных кор выветривания / Тезисы докладов Первого регионального совещания “Проблемы золотоносных кор выветривания Сибири” 20-21 мая 1998 г. – Красноярск. - 1998. - С. 14-15.
27. Макаров В.А., Мильман В.З. К вопросу о состоянии и перспективах развития сырьевой базы меди, свинца и цинка Республики Хакасия. Материалы научной конференции “Актуальные вопросы геологии и географии Сибири”, Т. 3. – Томск: ТГУ, 1998. - с.114-116.
28. Макаров В.А., Чащин А.А. Козаченко М.Г. Факторы опасности техногенных объектов горно-металлургического комплекса Красноярского края // Безопасность труда в промышленности. - 2001. - №11. - с. 14-17.
29. Макаров В.А., Чащин А.А., Козаченко М.Г. Тонкое и связанное золото техногенных россыпей Енисейского кряжа – проблема оценки и извлечения // Безопасность труда в промышленности. - 2001. - № 5. - С.34-38.
30. Макаров В.А., Шведов Г.И. Золото и металлы платиновой группы в месторождении песчано-гравийных смесей среднего течения р. Енисей – поисковые признаки и перспективы освоения // Руды и металлы. - 2001. - № 1. - С. 61-68.
31. Макаров В.А., Шведов Г.И. Золото и металлы платиновой группы Сымского месторождения песчано-гравийных смесей (среднее течение р. Енисей) / В кн. Минералы и руды Красноярского края // Сб. научн. тр. – Красноярск: РИУ КНИИГиМС, 1999. - с. 44-50.
32. Макаров В.А., Шитов П.В., Шрайнер А.Д., и др. Технологический комплекс для экспрессной геологической оценки золотоносных кор выветривания и техногенных образований, формируемых при их переработке / В кн. Алмазы, золото и платиноиды Красноярского края. - Красноярск, 2000. – с. 157-166.
33. Макаров В.А., Шрайнер А.Д. Практический опыт переоценки техногенных россыпей и хвостохранилищ на содержание золота и ртути с использованием новых технологий // Золотопромышленность России - 96. Каталог участников выставки. - Новосибирск, 1996. - С.19-23.
34. Макаров В.А., Шрайнер А.Д., Бурлаков А.А. и др. Опыт решения геологических технологических и экологических задач при переоценке техногенных россыпей и хвостохранилищ Енисейского кряжа / Материалы сообщений отраслевой научно-технической конференции, посвященной 125-летию со дня основания института “Иргиредмет”. - Иркутск, 1997. - с. 18-29.
35. Макаров В.А., Шрайнер А.Д., Эммерих А.Х. К вопросу о достоверности оценки содержания золота в техногенных россыпях / Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства / Материалы международной научно-технической конференции. – Екатиринбург, УГГГА, 1999. - с. 78-80.

36. Макаров В.А., Шрайнер А.Д., Эммерих А.Х. Отработка методики переоценки техногенных россыпей на примере объектов верхнего течения р. Удерей. - Красноярск, 1999.
37. Макаров В.А., Эммерих А.Х. Задачи и опыт изучения распределения и миграции золота и ртути в рудообразующих и экологических системах (на примере объектов Сибирского региона) / Материалы научной конференции “Актуальные вопросы геологии и географии Сибири”, Т. 3. – Томск: ТГУ, 1998. - с.274-275.
38. Макаров В.А., Эммерих А.Х., Шрайнер А.Д. Особенности обогащения геологических проб при оценке техногенных россыпных месторождений золота / В кн.: Развитие идей И.Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии // Тезисы докладов юбилейных Плаксинских чтений, г. Москва 10-14 октября 2000 г. – М., 2000. - с.46-47.
39. Григоренко А.В. Макаров В.А. Оценка потерь золота при эксплуатации россыпных месторождений бассейнов рек Тея и Удерей с использованием 7,5 дюймового концентратора Нельсона: Тезисы докладов конференции “Совершенствование методов поисков и разведки, технологии добычи и переработки руд”, Часть 1. - Красноярск, 1996. - с. 7.
40. Лемешко Д.И., Макаров В.А. Роль рудоносных структур бассейнов рек Енисея и Чулыма в формировании месторождений золотоносных песчано-гравийных смесей / Тезисы докладов конференции “Совершенствование методов поисков и разведки, технологии добычи и переработки руд”, Часть 1. - Красноярск, 1996. - с. 9.
41. Эммерих А.Х., Макаров В.А. К методике переоценки россыпей и оценки потерь золота с использованием концентратора Нельсона / Тезисы докладов конференции “Совершенствование методов поисков и разведки, технологии добычи и переработки руд”, Часть 1. - Красноярск, 1996. - с. 6.
42. Патент на изобретение № 2132463. Проходческий комплекс / Макаров В.А., Прядко В.Р., Мельников В.Г., Невский В.П., Каверзин С.В., Гончаров А.В. – Заявл. 03.03.97., № 97103293.