

МЕЛКИЕ ЦЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ ГОРНЫХ ПОРОД – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ*



Б.С. Лунев,
доктор геолого-
минералогических наук,
профессор кафедры поисков
и разведки полезных ископаемых,
Пермский государственный
университет

В природе широко распространены ценные минералы, представленные зернами малой размерности (золото, платина, цирконий-титановые, касситерит и др.). Важной задачей являются поиски мелких ценных минералов, оценка и освоение с применением новых экологически чистых и малозатратных технологий. Исследования успешно ведутся в Пермском университете с 1960 года. Для поисков ценных минералов создана уникальная обогатительная малогабаритная установка МЦМ (мелкие ценные минералы). Основные исследования направлены на гравитационное извлечение мелких ценных минералов, доля которых в мире исключительно велика.

Исследования Лаборатории осадочных полезных ископаемых (ЛОПИ) и Института мелких ценных минералов (ИМЦМ) Пермского университета начались в 1960 г. и проведены во всех республиках бывшего СССР (рис.1). Начаты поиски золота в Канаде. Объекты нашего изучения: алмаз, золото, платина, цирконий, титан, стронций, олово, стройматериалы (комплексная оценка) и другие в осадочных и изверженных породах. Создана обогатительная установка МЦМ. Внимание концентрируется на гравитационно извлекаемых ценных минералах, доля которых в мире исключительно велика (в мире преобладает золото менее 0,1 мм). Разрабатывается экологически чистая малозатратная, не энергоемкая отечественная техно-

логия гравитационного извлечения крупных и очень мелких (до 0,04 мм) ценных минералов. Для поисков применяются малогабаритные приборы, а при разработке – аналогичная аппаратура большой производительности. Технология позволяет эффективно извлекать весь спектр мелких тяжелых минералов, а вмещающие их пески разделять по размерным фракциям (гидравлической крупности) для разных строительных целей. Имеются положительные результаты:

1) из россыпей получено **золота** в 2 раза больше, чем по самой совершенной традиционной методике (Ю. Урал, Миасс); имеются аналогичные примеры по Сибири, Таджикистану, Уралу, Предкарпатыю;

* Исследования выполнены и продолжаются при поддержке грантов РФФИ 10-05-96060, 07-05-96016, 07-05-96017.



Рис. 1. Объекты проведения исследований ЛОПИ и ИМЦМ в 1960–2010 гг.

2) из отвалов ГОКа (Ю. Урал, Гай) переведены в концентрат ценные минералы с промышленным содержанием: медь – 0,54 % (допускается минимальное 0,4), золото – 2,6 г/т (не нормируется), сера – 45 % (35), серебро – 10,3 г/т (не нормируется), германий – 3,4 г/т, селен – 0,002 %, теллур – 0,002 %. Концентраты могут быть богаче, если сократить процент извлечения ценных минералов;

3) из коренных руд на стадии поисков извлечено ценных минералов больше, чем по традиционной технологии: медьсодержащих минералов – в 2–14 раз, тяжелых минералов – в 6 раз, серебра – в 8 раз, золота – в 2 раза (Полярный Урал);

4) из коренного месторождения (рудной жилы с золотом) по нашей технологии золота извлечено в 2 раза больше, чем при обычном традиционном извлечении (Пермский край, Вишера);

5) содержание (извлечение) касситерита по нашей методике увеличено в 7, а в отдельных случаях более чем в 30 раз по сравнению с лотковым опробованием (Якутия, Казахстан). Успешно извлекались мелкие ценные минералы (0,1–0,05 мм) – киноварь, галенит, молибденит, антимонит, ильменит, циркон, рутил, малахит, азурит, апатит, магнетит, платина, целестин, минералы сульфидов и др. Мелкие алмазы (более 100 зерен размером менее 0,5 мм) нами обнаружены

на Урале (Пермский край, Оренбуржье, Башкирия) на разных глубинах до 200 м, Восточно-Европейской платформе (мезозой), верхней Каме, Южном Тимане, в Армении, Казахстане;

6) в среднедевонских конгломератах Среднего Тимана по традиционной технологии содержание мелкого золота (фракция менее 0,3 мм) занижено в 3 раза по сравнению с данными ЛОПИ. В других районах содержание мелкого золота по сравнению с нашей методикой также занижено: р. Манья на Северном Урале – в 2 раза, р. Сололи в бассейне р. Лена – в 6,3 раза, р. Миасс на Южном Урале – в 2,4 раза, предгорья Кузнецкого Алатау – в 2,1 раза, Куранах – в 2,1 раза;

7) попутно при обогащении строительных песков из отвалов малозатратным способом получены концентраты циркония, титана и другие в несколько раз богаче, чем руды в отечественных россыпях. Попутно получены концентраты золота с содержанием 5 г/м³. Строительные пески превращены в элитные, пригодные для бетонных смесей с экономией цемента до 14 %. Традиционно применяемые технологии приводят к перерасходу цемента до 20 % и более.

Отечественные традиционные технологии изучения полезных ископаемых с использованием гравитационных способов обогащения обычно занижают содер-

жание полезного ископаемого по отношению к истинному (природному) и извлекаемому по нашей технологии.

Зарубежные гравитационные технологии при разведке полезных ископаемых дают достоверную характеристику руд, но при разработке месторождений применяются технологии, основанные на других принципах. В итоге геологическая информация недостоверна. Химические, спектральные и им подобные методы изучения вещества при очень мелком ценном компоненте в руде завышают содержание полезного ископаемого (по сравнению с данными традиционных технологических испытаний и эксплуатации), а при крупных размерах зерен – занижают.

Особенность разрабатываемой нами технологии состоит в том, что она практически исключает необходимость временного интервала между началом поисковых работ и технологическим опробованием. Традиционно в прошлом это измерялось 5–10 годами. Предлагаемая технология позволяет извлечь крупные и особенно мелкие, проблемные для традиционной технологии, ценные минералы. Она на стадии поисков и при разработке месторождений идентична. На ряде объектов в России она уже внедрена и может быть использована для больших и малых предприятий.

Изучение мелких ценных минералов в перспективе будет включать не менее половины химических элементов таблицы Менделеева. Интерес к этим минералам малой размерности постоянно растет. Геологи уверенно переходят к анализу минерального вещества по своеобразным «нанотехнологиям» в геологическом понимании. Решается технологическая задача, когда результаты геологических изысканий адекватны данным промышленной разработки месторождения. Автор и коллектив учеников работают над этой проблемой на протяжении ряда десятилетий, получены интересные результаты.

Мелкие алмазы. Прогнозы на обнаружение алмазов в России идут от Михаила Ломоносова. В 1829 г. попутно с шлихованием золота на р. Койве (Урал, бассейн р. Чусовой) впервые в России 14-летний

Павел Попов нашел небольшой (5 мм) алмаз. Позже камень был вручен российской императрице. На Урале, а потом и в Сибири открывали месторождения алмазов коренные и россыпные (вторичные). Месторождения были открыты по находкам крупных алмазов или по их спутникам – пиропам. При поисках и разведке берут пробы большого объема (по 30–50 м³ и более), что соответствует объему песка 10 КамАЗов. Работы эти очень дорогостоящие.

В 1964 г. мною была предложена технология и я возглавил работы исследовательской лаборатории осадочных полезных ископаемых (ЛОПИ) Пермского университета по поискам мелких алмазов (0,1–0,5 мм). В 1966 г. в бассейне р. Вишеры на Западном Урале целенаправленные поиски впервые дали положительные результаты. В отвалах алмазодобывающей фабрики констатированы первые три мелких алмаза. Размер зерен был 0,2–0,3 мм, объем проб составлял от 0,15 до 0,2 м³. Заказчик – опытный специалист по алмазам, в успех не верил и готов был при удаче (находке алмазов) озолотить руководителя работ. Алмазы мы нашли, а заказчик слово не сдержал, и даже прекратил работы. Такое тогда было время.

Позже впервые на Урале (Чикман) мы нашли алмазы космического происхождения (импактные, сланцеватые с включениями лонсдейлита). Такие кристаллы формируются в момент удара крупных метеоритов о Землю. Первые алмазы с больших глубин (до 200 м) из керна скважин Башкирии в 1993 г. удалось обнаружить тоже нам. Повторилась история с первыми вишерскими алмазами. До начала работ в качестве бонуса заказчик пообещал 1 млн рублей при обнаружении алмаза на больших глубинах. Из всех участников работ алмазы в разных скважинах нашли только мы. Заказчик сдержал слово, но заплатил два миллиона, поскольку миллион прошлого года стал уже вдвое дешевле из-за инфляции. Приятно сознавать, что иногда качество работ высоко ценится.

На Урале в рыхлых отложениях нами обнаружено и изучено более 100 мелких

алмазов. Это целые кристаллы (до 3 мм), осколки, обломки обычных алмазов, а также импактные – космические. Размер обнаруженных зерен от 0,25 до 0,75 мм. Мелкие алмазы помимо Урала обнаружены нами в Армении, Казахстане, Башкирии, на южном Тимане; выполнены работы по поискам алмазов в Азербайджане и Карелии. По итогам работ издана монография «Мелкие алмазы Урала» (Лунев Б.С., Осовецкий Б.М. – Пермь, 1996. – 125 с.). Под руководством профессора Б.М. Осовецкого впервые найдены мелкие алмазы в верховьях р. Камы. Мелкие алмазы имеют большое поисковое значение для обнаружения промышленных месторождений с крупными алмазами. На Урале мелкие кристаллы встречаются в 10–100 раз чаще крупных алмазов. Особый интерес представляют безазотные мелкие алмазы (менее 1 мм), которые высоко ценятся при использовании в электронике, радиотехнике, медицине, алмазocerамике, изготовлении фоторезисторов и др.

Доля мелких алмазов в коренных рудах может быть значительной. Это подтверждено в разных районах мира. В кимберлитах США (штат Вайоминг) из пробы небольшого объема извлечено 78 алмазов, в том числе 54 мелких. В ЮАР (район Кимберли) в ксенолитах перидотита массой 5,6 и 8,8 кг найдены алмазы. В одном ксенолите обнаружено 46 зерен алмаза размером 0,2–1 мм с содержанием 55 карат (т.е. в 50 раз выше, чем во вмещающем ксенолите кимберлите в целом), в другом – 53 зерна размером 0,3–1 мм.

В лампроитах Австралии (трубка Аргайл) средняя масса алмаза 16 мг (1,5 мм). В ее перидотитовых ксенолитах общей массой 8,9 кг встречено 622 алмаза при средней массе кристалла 0,06 мг (около 0,2 мм). В 1967 г. в пробе массой 650 кг выявлено 52 мелких алмаза со средним размером 0,2 мм. Из пробы массой 40 кг извлечено 300 зерен мелких алмазов. Промышленные месторождения Австралии открывали по ореолам рассеяния мелких кристаллов. Использовали небольшие пробы массой 40 кг. По мелким алмазам открыта лампроитовая трубка

Аргайл. В кимберлитах Ганы алмазы размером до 0,1 мм встречаются в количестве нескольких тысяч кристаллов на карат.

В Северном Казахстане обнаружено богатейшее Кудымкольское месторождение с содержанием алмазов более 25 г/т, причем цена этих алмазов низкая. Алмазы в этом месторождении на 88 % представлены микрочастицами фракции менее 0,045 мм. Только 1,1 % алмазов крупнее 0,07 мм. В каждом килограмме породы находится 20–30 тысяч зерен алмазов. Ранее на территории Северного Казахстана мы работали по своей технологии, были обнаружены три мелких алмаза от 0,25 до 0,55 мм пробами 1–2 м³ породы. Наша технологическая схема поисков мелких алмазов включает много этапов. Они направлены на сокращение массы пробы – обогащение. Среднее для Урала сокращение массы пробы составляет 10 млн раз.

Поиски мелких алмазов требуют глубоких теоретических расчетов и предположений. Случайности практически отсутствуют. Другое дело с крупными алмазами, тут роль случая, удачи велика. Алмазы случайно находили во время копания колодца (кристалл 16 мм, Канада, США), при потрошении птиц (Африка, в желудке голубя), в качестве игрушки у ребенка (кристалл 20 мм, Южная Африка). Самый крупный алмаз «Куллинан» (50×65×100 мм, размером с граненый стакан – около 250 см³) был вначале принят за льдинку в стене карьера кимберлитовой трубки (ЮАР, 1905 г.). Он соответствовал по цене 94 т золота. Из него изготовили 105 бриллиантов, самый крупный был размером с куриное яйцо (Куллинан 1, Большая звезда Африки).

Титано-циркониевые минералы в основном накапливаются в россыпях [2, 3, 5, 8, 10]. Россыпи этих минералов имеют одну важную особенность: они часто приурочены к современным пляжам экваториальной полосы земного шара. Этому способствует жаркий и влажный климат. В Индии богатые ильменит-циркониевые россыпи обрабатывают с 1909 г. В 1969 г. этой страной на мировой рынок поставлено 25 % цирконий-титанового сырья. Россыпи содержат 49–80 % ильменита, 8–

20 % циркона, до 14 % монацита. В Австралии, на ее восточном побережье, ценные компоненты составляют на некоторых пляжах 70–80 % (циркон 25–55, рутил 20–45, ильменит 18–40). В 1965 г. Австралия на мировой рынок поставляла из таких месторождений 90 % от мировой добычи рутила, 75 % – циркона. Все эти месторождения состоят из мелких зерен, в основном менее 0,25 мм.

Сейчас фирма «Ависма» (г. Березники) покупает титансодержащие пески на Украине, изготавливает продукцию из титана высочайшего качества, продает изделия для самолетов в США.

Среднее Приднепровье богато ильменитом, рутилом, цирконом. *Ильменит* на 90 % состоит из частиц 0,15–0,074 мм. В Липецкой области около 98 % этого минерала заключено во фракции 0,15–0,061 мм. В Западной Сибири 95 % ильменита сконцентрировано в классе 0,1–0,043 мм. В Зауралье ильменит еще мельче: фракция 0,1–0,043 мм составляет 98 %, фракция 0,074–0,043 мм – 88 %. *Рутил* представлен фракцией 0,15–0,10 мм (97 %), в Липецкой области – 0,15–0,06 мм (95 %), в Западной Сибири – 0,10–0,043 мм (100 %), в Зауралье – 0,10–0,043 мм (98 %). *Циркон* имеет размер частиц 0,15–0,074 мм (99 %) и 0,15–0,061 мм (100 %), в Липецкой области – 0,074–0,061 мм (98 %), в Западной Сибири – 0,074–0,043 мм (90 %), в Зауралье – 0,074–0,043 мм (90–99 %).

В центре Восточно-Европейской платформы в границах Воронежской антеклизы среди мелкозернистых песков находится Центральная ильменит-рутил-цирконовая россыпь. Ценные минералы (ильменит, рутил, циркон, лейкоксен) на 80–90 % представлены частицами 0,1–0,074 мм, при этом циркон на 15–20 % состоит из частиц 0,074–0,043 мм. Свободное золото имеет размер частиц 0,026–0,017 мм, содержание его 67 мг/м³, общее содержание металла – 228 мг/м³. В богатейшей Среднетиманской россыпи среднего девона наибольшие концентрации титановых минералов приурочены к классу 0,25–0,1 мм.

В России и в странах СНГ цирконий-

титановые минералы в современных морских отложениях связаны с осадками Черного, Азовского, Каспийского, Балтийского и Охотского морей. Однако они отличаются бедными концентрациями полезных компонентов по сравнению с зарубежными. Древние прибрежно-морские россыпи (палеоген-неогеновые, меловые, девонские), а также озерные (Зауралье) значительно богаче россыпью современных морей и океанов. Однако эти россыпи имеют большую мощность перекрывающих отложений (вскрышных пород), что влияет на стоимость разработки. Очень богатые пески с высоким содержанием цирконий-титановых минералов есть на Украине (месторождение Малышевское).

В Австралии комплексные россыпные месторождения (ильменит-рутил-цирконовые) протянулись на 2 225 км. Запасы тяжелых минералов достаточны для обеспечения сырьем всей мировой металлургии титана. Мировая добыча их среди всех капиталистических стран составляла: 90 % – рутила, 60 % – циркона и 25 % монацита.

Монацит нередко входит в состав комплексных цирконий-титановых россыпей на берегах океанов и морей и ценится как редкоземельный минерал. Так, на восточном побережье Бразилии, на протяжении 150 км вдоль берега, выявлено 20 комплексных россыпей. В Азии этого минерала много на юге полуострова Индостан. По качеству он превосходит бразильский: содержит 29 % оксида тория, 6 % оксида урана, 30 % оксида цезия. Монацит Среднего Приднепровья представлен фракцией 0,07–0,04 (98 %) и 0,10–0,07 мм (88 %); Западной Сибири – 0,07–0,04 мм (100 %); Зауралья – менее 0,07 мм (100 %).

На берегах морей и океанов Австралии, Африки, Америки, Индии месторождения такого рода формируется кругло-суточно многие миллионы лет. Морская вода на пляжах намывает черные пески с цирконием и титаном. Пляжи чернеют от тонких черных песчаных намывов – нецементированной богатой цирконий-титановой руды. Пески в некоторых местах

чистят – обогащают специальными аппаратами. Это проявляется в разделении песков на белые (кварцевые) и черные (концентраты), пригодные для промышленности. Такая намывка драгоценных песков на пляжи будет вечным природным процессом и местом работы для предприимчивых чистильщиков пляжей. На берегах Атлантического океана подобную работу ведут с дополнительным извлечением крупных промышленных алмазов, причем извлекают их не только в зоне прибоя, но и на больших глубинах моря на сотни километров вдоль берега.

В Пермском крае цирконий-титановые минералы следовало бы получать попутно при разработке строительных песков и песчано-гравийных месторождений. По нашим исследованиям, Камское пароходство попутно могло бы получать концентраты с содержанием до 462 кг/м^3 условного ильменита, что богаче, чем в известных россыпях России.

В бассейне р. Вишеры в древних толщах горных пород цирконий-титановые минералы имеются также в виде мелких зерен. Установлены очень богатые концентрации. Руда представляет собой полосчатые черно-белые кварциты, в которых черные полосы состоят из титаносодержащих минералов. Образцы руд напоминают титановые пески украинского месторождения Малышевское. История открытия богатых руд Пермского края следующая.

Зимой 1957 г. в Пермском университете с докладом о научной работе выступил петрограф доцент Н.П. Старков. Обсуждали горные породы Вишерского района, богатые минералами циркония и титана. Один из слушателей доклада доцент И.П. Шарапов оценил породы как стратегическое минеральное сырье. Срочно организовали командировку на место отбора образцов горных пород. Специальная экспедиция из г. Свердловска в зимние месяцы добиралась в верховья р. Вишеры. В глубоком снегу искали месторождение, ночевали у специального костра. В Свердловске детально изучили пробы. Порода оказалась крепко сцементированной, разрабатывать такое месторождение

оказалось невыгодно. Интерес к богатому объекту пропал.

Мелкая платина – важный источник минерального сырья [6, 7]. Полезными компонентами россыпей элементов платиновой группы являются Pt, Ir, Os, Rh, Rd, создающие в составе шлиховой платины около 100 минеральных видов и разновидностей (кристаллы, осколки, агрегаты).

Платина коренных пород. Минералы платиновых металлов (МПМ) в коренных породах связаны с медно-никелевым сульфидным оруденением (Норильск, Талнах – платиново-палладиевые) и, в основном, с дунитами (Инагли и Кондер на Алданском щите и на Урале – платиновые). Коренные промышленные месторождения МПМ не образуют россыпи: минералы очень мелкие (десятые-тысячные доли миллиметра). Россыпеобразующими считаются МПМ крупнее 0,1 мм. Большинство россыпей платиновых металлов – продукт размыва массивов ультраосновных пород (альпино-типные дунит-пироксенит-габбровый и щелочно-ультраосновной формации). В рудах норильского типа размер мономинеральных частиц МПМ равен 15–20 мкм и полиминеральных (сростков) – 30–100 мкм. На Алданском щите (Инаглинское месторождение) зерна и сростки имеют размер 5–1500 мкм (среднее 20–40 мкм). На Среднем Урале в рудах качканарского типа сростки достигают 200 мкм. В рудах Мончегорского типа МПМ характеризуются размером частиц 10–20 мкм, сростки – 10–100 мкм. В рудах печенгского типа МПМ с размером зерен в единицы микрон находятся в пирротине и серпентине.

Россыпи платины. Мелкая платина в россыпных объектах, изученных в основном традиционными методами, составляет значительную долю. В устье р. Ис (Урал) на платину фракции 0,5–0,1 мм приходится 75 %, остальное (25 %) представлено фракцией менее 0,1 мм. Уникальное иридиоплатиновое месторождение Кондер-Уоргалан на Алданском щите с запасами 60 т имеет вверху (истоки) платину из средних и крупных частиц. В нижней части россыпи платина фракции менее 0,1 мм составляет 15 %. В целом на р. Кондер на долю тонкой пла-

тины (0,25 мм) приходится 11 %, мелкой (0,5–0,25 мм) – 34 % (сумма 45). В россыпи Уоргалан выход тонкой (17 %) и мелкой (61 %) платины составляет 78 %. В Ингалинском россыпном месторождении (Алданский щит) протяженностью более 30 км преобладают частицы платины менее 0,5 мм. В россыпи Ингаринга (Красноярский край) протяженностью до 20 км платина на 90 % представлена частицами мелкой (56 %) и тонкой платины (34 %). По левым притокам р. Лены в аллювии платина состоит из частиц в основном менее 0,1 мм. Вилюйская платина имеет размер частиц преимущественно менее 0,02 мм, они недоступны для извлечения гравитационными методами. В Норильском районе отработанные россыпи содержали платину в основном (до 75 %) менее 0,074 мм. На Камчатке россыпь р. Левтыринываям обогащена мелкой (57 %) и тонкой (8 %) платиной (сумма 65 %). В россыпи руч. Листвинитового Ледяного (Камчатка) платина мелкая (32 % и 37 % соответственно) и тонкая (3 и 8), в сумме 35 % и 45 %. На северо-восточном побережье Охотского моря (Пенжинская площадь) прибрежно-морские россыпи содержат золото и платину мелких и тонких фракций.

Техногенные объекты. Перспективы извлечения мелкой платины весьма внушительны: прогнозные ресурсы «шлиховой платины» (масса +0,1 мм), включая техногенные россыпи, составляют 90–811 т. На долю Норильского (Таймыр) объекта приходится 600 т, Кондерского (Алданский щит) – 70–75 %, Сейнава-Гальмоонанского (Корякия) – 80 т. Расчеты ведутся из фракции крупнее 0,1 мм. Мелкая платина (0,1 мм) пока остается на положении техногенного продукта. За 100 лет эксплуатации от гигантских уральских россыпей (реки Ис, Тура, водотоки горы Соловьевой) протяженностью более 200 км остались техногенные россыпи мелкой платины. Прогнозные ресурсы «шлиховой» платины 40–45 т, из них на долю техногенных приходится 70–80 %. В прошлом извлекали 30–50 %, сейчас – 70–80 % металла. Освоили извлечение частиц платины менее 0,1 и менее 0,04 мм.

В Норильском рудном районе установлены гигантские запасы (325 млн т) техногенных россыпей. Это отвалы горнодобывающих предприятий, хвосты Норильской обогатительной фабрики, пирротиновые и магнетитовые концентраты. Общие запасы платиновых металлов – 600 т. Богатые концентраты минералов платиновой группы (1–50 кг/т) получены при использовании винтовых шлюзов, гидроциклонов, центробежно-вибрационных сепараторов. Концентраты могут перерабатываться на Норильском горно-металлургическом комбинате или на заводе «Красноцветмет».

Винтовые шлюзы впервые использованы для извлечения из исходной породы в концентрат мелких ценных минералов широкого спектра (цирконий-титановые, золото, платина, алмазы и др.) в Пермской ЛОПИ. Сейчас винтовые шлюзы используют не только для извлечения минералов олова, куда первоначально шлюзы планировались, но и для золота, платины и др. В ЛОПИ проведены исследования по извлечению мелкой платины из бедных платиной дробленых дунитов горы Соловьевой на Урале. Получен содержащий платину концентрат, который может рассматриваться как попутный продукт при использовании дробленых дунитов. В бассейне р. Вишеры в одной из проб песчано-глинистых вишеритов выделено до 800 зерен мелкой платины, размер которых варьируется в широких пределах (от 30 до 800 мкм, мелких значительно больше). В этом районе есть алмазоносные объекты. Платина, как и некоторые другие компоненты (золото и др.), могла бы стать попутным продуктом извлечения ее из отвалов при определенной схеме обогащения (алмазы, пески строительные, платина, золото и др.). В бассейне р. Чусовой изучены речные отложения, обнаружена мелкая платина. Отдельные пробы содержали ее в промышленных концентрациях. При изучении голоценового аллювия р. Вилюя вместе с мелким золотом встречена аналогичного размера платина и другие ценные минералы (касситерит, цирконий-титановые минералы).

ЛОПИ предложена схема комплексной разработки таких объектов и извлечение пла-

тины из отвалов строительных песков, которые здесь в большом числе объектов разведаны. В границах Верхнекамской впадины в аллювии мезо-кайнозоя по методике ЛОПИ получены богатые концентраты с золотом, платиной и цирконий-титановыми минералами. Средний размер золотин – 0,1 мм, платина такая же и более крупная. Среднее содержание золота в русловых отложениях – 27 мг/м³, на косах – 97 мг/м³; наибольшие содержания платины – 40 мг/м³. Концентраты от обогащения строительных песков могут рассматриваться как попутный продукт техногенных отвалов строительных песков. В прошлом применялась несовершенная обогатительная техника, и мелкий металл оставался в техногенных отвалах. Еще в 1973 г. мною отмечено, что большие потери его связаны с техногенными целиками и шламами. Сейчас внедряются прогрессивные технологии обогащения, но масштабный успех будет достигнут в случае использования простых и дешевых обогатительных устройств, к числу которых относится установка МЦМ (мелкие ценные минералы). На Урале из спецотвалов с ртутью извлечено при эксперименте по нашей технологии за короткий отрезок времени 1,2 кг платины и золота (в том числе и из мелких фракций). По предложенной технологии производственная организация увеличила годовую добычу золота на 76 кг и платины на 36 кг, ранее попадавших в техногенные отвалы в виде мелких и крупных фракций драгметаллов.

Медь Прикамья [1, 4, 9, 11]. Город Пермь обязан меди появлению на том месте, где он стоит. Его судьбу решила медь верхнепермских песчаников. Здесь в междуречье Камы и Сылвы обнаружили медь, возникло горнорудное производство, основная Прикамская промышленность, а вместе с нею и город (рис. 2). На Урале рудноформационное семейство медистых песчаников – второй по значимости после меднопорфирового тип месторождений меди. На данный тип приходится около трети всех мировых запасов этого полезного ископаемого. Медистые песчаники известны на всех континентах, во всех геологических эпохах. Максимум

меденакопления связан с докембрием, девонном-карбоном, пермью и триасом [4]. В странах СНГ доля запасов меди этого типа месторождений не менее 35 %. Это протерозойское месторождение Удокан в Читинской области (запасы меди 14,4 млн т, среднее содержание 1,56 %); каменноугольное Джезказган в Казахстане, а также более мелкие месторождения на Сибирской и Восточно-Европейской платформах.

На западном Урале и прилегающей платформе наибольшие концентрации меди отмечены по мере смещения на юг с удалением от Урала. В Пермском крае это центральная часть Прикамья. Медь здесь находится среди пермских пород уфимского яруса шешминской свиты. При смещении в Татарстан и Оренбургскую область возраст отложений, содержащих медь, становится моложе (казанские, татарские) и, наконец, триасовые в Актюбинской области.

Медистые песчаники Предуралья имеют сходство с песчаниками Германии и Польши (Предсудетско-Манфельдской меденосной областью). На сравниваемых территориях имеются конгломераты, песчаники, сланцы, мергели, доломиты, соли, гипсы. Отложения Предуралья (татарские, казанские, уфимские) содержат меди до 2 % и соответствуют отложениям цехстейна Германии. Более древние пермские отложения Предуралья однообразны красному лежению (P₁) Германии, где содержания меди составляют 0,1–0,90 % [4].

Промышленная разработка меди в Прикамье начата в 1724 г. За 200 лет эксплуатации в Предуралье разведано около 500 тыс. т меди. На этих рудах работало не менее 10 заводов, производилось до 2100 т штыковой меди в год. В середине XIX века на смену этим рудам пришли медноскарновые и медноколчеданные.

В прошлом медистые песчаники выявляли бурением, шахтами, штольнями (длиной до 300 сажен). При разработке рудосодержащий пласт песчаника нарезался блоками, которые полностью вынимались. При этом рудный пласт мог быть очень тонким (10–12 см). На поверхности

существовали (А.А. Болотов).

В Пермском Приуралье существовало 5 380 рудников. Средняя протяженность рудных тел составляла 1 км (редко 3 км), ширина – 0,04 (редко 0,4 км), число рудных горизонтов – 1 (редко 2–3, отмечено и 6). Наиболее полно изучены песчаники Юговского завода Пермского края. В прошлом интерес для разработки представляли руды с содержанием меди до 2 % (среднее 3,14 %). Теперь интересен объект «За Яйвой» на левом берегу р. Камы.

Около каждого разрабатываемого объекта накопились медьсодержащие отвалы. Таких объектов в Пермском крае много: Пыскор, Дурино, Романово, за рекой Яйвой, Юго-Осокино, Бузяр, Ашп, Уинское и др. Исследователи провели расчеты содержания меди в отвалах, оценены прогнозные ресурсы (А.А. Болотов). Во всех рудах медьсодержащие минералы находятся в цементе песчаников и конгломератов в виде вкраплений медной зелени (малахит) и медной сини (азурит) размером до горошины. По слоистости распределяются медьсодержащие сульфиды. Встречаются медьсодержащие минералы: малахит (содержание меди 57 %, плотность минерала 3,9 г/см³), азурит (55 и 3,7), куприт (89 и 5,8), тенорит (80 и 5,8), халькозин (80 и 5,5), ковеллин (66 и 4,6), борнит (52 и 4,9), халькопирит (35 и 4,1), самородная медь (88 и 8,5), хризолла (33 и 4,9), фольбортит.

Ценность медных руд отвалов и шлаков Пермского Предуралья по мере их изучения растет. Помимо меди в них установлены: ванадий, никель, кобальт, серебро, золото, платина, германий, иттрий, уран, редкоземельные элементы. Подсчитано, что в 2 млн т шлаков медной руды старых медеплавильных заводов содержатся полезные компоненты (тыс. т): медь – 40, никель – 2, ванадий – 0,8, кобальт – 0,6, галлий – 0,4, серебро – 0,14, золото – 0,013, платина – 0,006, иттрий – 0,06 (Ю.А. Нечаев). Теоретически возможны еще индий, рений, таллий, тантал.

В рудах Карагалинского месторождения (Оренбургская область) высокое содержание (г/т) палладия – 6,3, родия –

6,4, рутения – 4,9, что сопоставимо с концентратами платиноидов в месторождениях польского цехштейна.

Цены на медь высокие. В 2008 г. тонна меди стоила 8 304 долларов США, в 2010 – 2 320 долларов. Месторождения медных руд разрабатывают открытым, подземным и комбинированным способом. На открытый способ приходится более 2/3 мировой добычи. При разработке ограничено применяют подземное выщелачивание (химическое, бактериально-химическое) на отработанных месторождениях (Блявинское на Южном Урале) и на новых бедных месторождениях (Рей в США, Кананея в Мексике).

Для разработки меди используют или рекомендуют выщелачивание углекислым аммонием (Г.Г. Кобяк), электролиз для окисленных руд, подземное выщелачивание 10 %-ной серной кислотой (Ладейщиков, 1993).

Золото и серебро при обогащении попадает в медный концентрат. Золото бывает свободное и связанное сульфидами. При металлургической обработке все золото и серебро переходит в медь. Электролитическое рафинирование меди позволяет получать медь и шламы, содержащие золото.

Для всех промышленных медных руд используют механические, гидро- и пирометаллургические методы обогащения. Основной метод механического обогащения – флотация. Физические свойства минералов определяют технологическую схему переработки руд.

Исследования медистых песчаников в Предуралье проводились с использованием бурения скважин глубиной до 200 м. Широкими профилями изучены медные руды (Вятские Поляны – Битаман – Аспа). На отрезке в 570 км прослежен медьсодержащий горизонт с переменным содержанием меди на глубинах 150–200 м в породах кровли шешминской свиты (Полянин, Изотов, 1967). Помимо меди песчаники содержат ванадий (до 4 %), серебро (до 100 г/т), теллур (до 135 г/т), скандий (до 20 г/т), редкие земли (до 140 г/т). Руды комплексные, ресурсы меди в песчаниках 2 млн т (Харитонов, 2008). Вме-

щающие медь пески могут использоваться в строительстве. Региональные исследования в течение последних 25–30 лет основаны на химико-спектральных методах по малым навескам, сделано около 20 тыс. спектральных анализов проб из разных стратиграфических горизонтов – от артинского до татарского. Среднее содержание меди составляет 0,003–0,005 %, что соответствует кларковому (В.П. Наборщиков).

Традиционный подход к изучению медистых песчаников не приведет к возрождению добычи меди в Пермском крае. Проблема не геологическая, а технологическая. Использование новых технологий должно помочь возродить такое известное для Прикамья производство. Малообъемное технологическое опробование позволяет адекватно решить задачу геологического опробования и последующей разработки месторождения минерального сырья в Пермском крае. Нами проведен эксперимент с двумя представительными пробами медьсодержащих пород (конгломераты Белозерского рудника с содержанием извлекаемой меди 0,01–0,03 % и отвалы медистых песчаников с. Кояново). Проба отвалов шахты представлена спе-

циально отобранными богатыми медью образцами и содержит много гравитационно извлекаемой меди – 8,3 %. На установке МЦМ (мелкие ценные минералы) проведено гравитационное обогащение.

Итоговым экспериментом стало получение из очень бедных медистых песчаников (0,03 %) концентратов меди с промышленным содержанием. В зависимости от размерности песчаных фракций (от 0,25 до 0,04 мм) содержание меди в концентратах меняется от 10 до 82 % (обычно 25–40 %). Эти показатели могут быть улучшены при внесении изменения в технологию обогащения. Следует отметить, что для промышленности пригодны богатые концентраты с содержанием меди 40 %, бедные – 12 %. Первые эксперименты указывают на возможность применения экологически чистой малоэнергозатратной технологии обогащения. Положительные результаты экспериментов могут возродить интерес к медистым песчаникам Пермского края. Песчаники представляют собой комплексную руду. Объектами исследования могут стать и смежные территории Татарстана, Оренбуржья, Казахстана и др.

Библиографический список

1. Власов Ю.А., Чернышев Н.И. О развитии медеплавильной промышленности Прикамья (1640–1902). Физико-географические основы развития и размещения производительных сил нечерноземного Урала // Межвед. сб. науч. тр. – Пермь, 1970. – С. 126–137.
2. Гурвич С.И., Болотов А.М. Титано-циркониевые россыпи Русской платформы и вопросы поисков. – М.: Недра, 1968. – 187 с.
3. Жердева А.Н., Абулевич В.К. Минералогия титановых россыпей. – М.: Недра, 1964. – 239 с.
4. Контарь Е.С., Либарова Л.Е. Металлогения меди, цинка, свинца на Урале. – Екатеринбург, 1997. – 233 с.
5. Левченко Е.Н. Новые перспективы технологии добычи и переработки титано-циркониевых россыпей России. – М., 2004. – 88 с.
6. Патык-Кара Н.Г. Минерагения россыпей. – М.: ИГЕМ РАН, 2008. – 527 с.
7. Разин Л.В. Промышленно-перспективный минерально-сырьевой потенциал Уральского платиноносного пояса. – М., 2008. – 171 с.
8. Савко А.Д., Беляев В.И., Иконников Н.Н., Иванов Д.А. Титано-циркониевые россыпи центрально-черноземного района. – Воронеж, Воронежский ун-т, 1995. – 148 с.
9. Стратифицированные месторождения СССР / Ю.В. Богданов, Е.З. Бурьянова, Э.И. Кутырев [и др.] Л.: Недра, 1973. – 312 с.
10. Тигунов Л.П., Быховский Л.З., Зубков Л.Б. Титановые руды России: состояние и перспективы освоения. – М., 2005. – 105 с.
11. Харитонов Т.В. Пермская медь – это реально. Природные ресурсы // Вестник недропользователя Пермского края. – 2008. – № 1 (24). – С. 77–84.