

Где: НП – насыпная плотность, т/м<sup>3</sup>;

a, b, c, d, e, f – содержание соответственно пироксенов, нефелина, апатита, кальцита, магнетита, флогопита, мас. %;

Коэффициент множественной корреляции  $r=0.78$  при  $F=12.46$ .

Как видно, величина насыпной плотности зависит преимущественно от структурно-текстурных особенностей породы и формы зерен, образующихся при дроблении.

По прочности и истираемости, в конечном счете, определяющими качество и стоимость конечного продукта, породы оказываются неодинаковыми. Как показало опробование бортов рудника «Железный», большая часть фенитизированных гнейсов и фенитов и значительная часть ийолитов обеспечивают получение щебня для дорожного строительства высшего качества (марки 1200-1400 по дробимости и марки И1 по истираемости). Щебень из пироксенитов заметно уступает по качеству (марки 800-1000 по дробимости и И2-И3 по истираемости). Основной причиной резкого снижения качества сырья является развитая карбонатизация, как в пироксенитах, так и в ийолитах.

Пироксениты, нефелиновые пироксениты, флогопитовые пироксениты с содержанием флогопита менее 20% обеспечивают получение щебня марки не ниже 800, что позволяет использовать его в бетонах марки 300-400. Примесь к пироксенитам до 20% ийолитов, если она равномерно распределена в объеме готовой продукции, не ухудшает ее качество.

Большая часть фенитов обеспечивает получение высокомарочного щебня. Однако в этих породах иногда наблюдается наложенная минерализация, в том числе сульфидная. Содержание сульфидов в отдельных блоках может превышать критические значения. Такие породы не пригодны в качестве сырья для производства щебня, используемого при производстве бетонов.

Карбонатиты и частично ийолиты не удовлетворяют требованиям к качеству щебня по количеству зерен слабых пород и лещадной формы.

Таким образом, установлено, что для производства щебня, используемого в качестве балласта при строительстве дорог, пригодны практически все вскрышные породы, за исключением карбонатитов. Практически по всем параметрам щебень из этих пород удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267 - 93.

### *Литература*

Мультимедийный справочник по минерально-сырьевым ресурсам и горнопромышленному комплексу Мурманской области: Цифровой информационный ресурс / Сост. Б.В. Афанасьев и др. – Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2001, Ч.2: Горнопромышленный комплекс – 680 мб.

Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии / Ред. А.А. Кухаренко – М.: Недра, 1965. – 772 с.

Макаров В.Н., Усачева Т.Т., Кожина И.С. Вскрышные породы Ковдорского месторождения комплексных руд как сырье для производства строительного щебня. – Апатиты: ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2004 – 43 с. (Рук. деп. в ВИНТИ, № 1246-B2004).

Геология рудных районов Мурманской области / В.И.Пожиленко, Б.В.Гавриленко, Д.В. Жиров, С.В.Жабин. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. – 359 с.

GEOECOLOGICAL RESEARCH CONDUCTED AT THE INSTITUTE OF CHEMISTRY, KOLA SCIENCE CENTRE RAS UNDER THE DIRECTION OF PROFESSOR V. MAKAROV

**D.V. Makarov, O.V. Suvorova**

*Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, KolSC RAS*

Geoecological research is conducted at the Institute of Chemistry, KSC RAS, in the following directions: investigation of physico-chemical processes occurring in mining wastes; supergenesis effect on technological properties of man-made resources and environment; analysis of the state and possibility of recovery of man-made deposits to enhance the level of resource utilization; creation of technologies for mining waste processing to building and technical materials; development of a scientific basis for creating geochemical barriers for effluent and natural water purification and precipitation of dissolved non-ferrous metals.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИНСТИТУТЕ ХИМИИ КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА  
РАН ПОД РУКОВОДСТВОМ ПРОФЕССОРА В.Н. МАКАРОВА

**Д.В. Макаров, [makarovdv@chemy.kolasc.net.ru](mailto:makarovdv@chemy.kolasc.net.ru), О.В. Суворова**

*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева, Кольский научный центр  
РАН*

Геоэкологическое направление в работах Отдела технологии строительных материалов Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН были организованы профессором В.Н. Макаровым (05.09.1937-27.08.2004). От имени учеников В.Н. Макарова авторы посвящают свой доклад его памяти.

Исследования проводились по нескольким направлениям:

изучение физико-химических процессов в горнопромышленных отходах, влияния гипергенеза на технологические свойства техногенного сырья и окружающую среду;

анализ состояния и возможности вовлечения в переработку техногенных месторождений, повышение комплексности использования минерального сырья;

создание технологий переработки горнопромышленных отходов в строительные и технические материалы;

разработка научных основ создания геохимических барьеров для очистки сточных и природных вод от загрязнения и осаждения растворенных цветных металлов.

В результате исследований показано, что хотя техногенные месторождения обладают большими запасами полезных компонентов, требуют меньших затрат на добычу, дробление и измельчение, они характеризуются недостаточной контрастностью свойств, неполным раскрытием минеральных зерен и высоким содержанием шламов. Поэтому традиционные методы, как правило, неприемлемы при переработке вторичного сырья. Наряду с совершенствованием технологии раскрытия и повышения контрастности свойств минералов при их переработке необходимо применение химических и гидрометаллургических методов в сочетании с поиском путей утилизации нерудной составляющей техногенных месторождений, которая составляет в ряде случаев более 95 % их объема (Математическое ..., 1998, Чантурия и др., 2005).

В.Н. Макаровым разработана классификация горнопромышленных отходов по степени их экологической опасности (Макаров В.Н., 1998). Показано, что особую опасность представляют сульфидсодержащие отходы (Чантурия и др., 2000а). При их хранении происходит окисление сульфидов с образованием серной кислоты и сульфатов тяжелых металлов, поэтому отвальные продукты представляют серьезную опасность для окружающей среды. Процесс окисления сульфидов может растягиваться на многие десятки лет и, вследствие этого, отвальные продукты представляют угрозу окружающей среде и после завершения эксплуатации месторождения.

Исследовано влияние климатических, гидрологических условий, состава нерудных минералов на скорость окисления сульфидов и концентрацию тяжелых металлов в растворах. Установлено, что наиболее интенсивно процесс окисления протекает при циклическом характере увлажнения и высыхания. Следовательно, наибольшую экологическую опасность хвостохранилища будут представлять после завершения эксплуатации месторождений. Создание на хвостохранилищах после их выведения из эксплуатации искусственных водоемов, рекультивация и др. не устраняют полностью экологическую опасность: окисление сульфидов может, хотя и с меньшей скоростью, протекать и при ограничении доступа кислорода (Калинников и др., 2001).

Проведены детальные исследования нейтрализующей способности нерудных минералов горнопромышленных отходов при воздействии атмосферных осадков («кислотных дождей») в зоне действия горно-металлургических предприятий и продуктов окисления сульфидов: растворов серной кислоты и кислых солей (Макаров, Макаров, 2000, Чантурия и др., 2000б). Разработана классификация порообразующих минералов по нейтрализующему потенциалу. Установлено, что нейтрализующая способность минералов зависит не только от их состава, но и степени дисперсности, времени взаимодействия и относительного объема образующейся при этом твердой фазы.

На основе проведенного анализа кинетики взаимодействия растворов минеральных кислот и кислых солей железа и тяжелых металлов с наиболее распространенными нерудными минералами горнопромышленных отходов разработаны научные основы для создания искусственных геохимических барьеров для очистки сточных и природных вод от загрязнения и осаждения растворенных цветных металлов. Предложены способы борьбы с закислением природных водоемов и загрязнением их тяжелыми металлами.

Наблюдения на техногенных объектах и проведенные специально эксперименты показали, что в случаях, когда нерудные минералы характеризуются низкой химической активностью, наблюдается снижение селективности флотации сульфидных минералов медно-никелевой руды (Изменение ..., 2000в). Пирротин становится наиболее флотоактивным минералом, что обусловлено образованием на его поверхности элементарной серы. Суммарные потери никеля и меди с увеличением времени хранения руды возрастают в основном за счет образования водорастворимых металлсодержащих продуктов. В присутствии кальцита (и других минералов с высокой химической активностью) после длительной обработки частично депрессируются как сульфиды никеля и меди, так и пирротин. Флотоактивность нерудных минералов несколько повышается и становится сопоставимой с флотоактивностью пирротина. Такие изменения обусловлены образованием гидроксидов железа на поверхности сульфидных зерен при увеличении рН и окислением элементарной серы до сульфат-ионов. Значительно возрастают потери цветных металлов как в твердой фазе, так и в водорастворимой форме. Образующиеся пленки гидроксидов железа на поверхности сульфидов меняют кинетику сорбции ксантогената. Наблюдается изменение технологических свойств и нерудных минералов – увеличивается их дисперсность, возрастает удельная поверхность, снижается контрастность свойств (Чантурия и др., 2005). Следовательно, при вовлечении в переработку техногенных руд необходимо разрабатывать нетрадиционные технологические подходы с учетом свойств минералов.

Впервые проведено всестороннее изучение инженерно-геологического состояния и гипергенных преобразований сульфидсодержащих хвостохранилищ Кольского полуострова. Оценены потенциальная экологическая опасность хвостов и их свойства как техногенного сырья (Изменения ..., 2004). Проведенные исследования показали, что хотя рН поровых растворов во всех пробах лежалых хвостов в среднем выше 8, концентрации тяжелых металлов в них достаточно высоки и представляют реальную угрозу окружающей среде даже через 30 лет после завершения эксплуатации хвостохранилища. Таким образом, процессы гипергенеза снижают ценность техногенного сырья. С другой стороны, присутствие сульфидов в хвостах ограничивает возможность утилизации силикатной составляющей в строительные материалы. Вместе с тем, экологическая опасность хвостов сохраняется на протяжении десятков лет. Поэтому предложен способ складирования и внутриотвального обогащения техногенного сульфидного материала с использованием физико-химической геотехнологии (Чантурия и др., 2005).

Исследованиями В.Н. Макарова с сотрудниками установлено, что эффективное и экономически оправданное вовлечение в переработку техногенного сырья возможно при условии утилизации нерудной составляющей. Учитывая большие объемы таких продуктов, наиболее перспективной областью их применения является производство строительных и технических материалов.

Выявлены причины, сдерживающие переработку такого сырья – присутствие некоторых минералов-примесей, непостоянство состава и свойств. Впервые в мировой практике показано, что устранение влияния этих факторов может быть обеспечено управлением качеством вторичного сырья, а в ряде случаев – параметрами технологического процесса (Макаров, 1994). Для обеспечения последнего установлены и математически описаны взаимосвязи состава вторичного сырья и ряда важнейших технологических свойств – температуры полного плавления, вязкости при заданной температуре, растворимости в расплаве компонентов, инициирующих ликвацию, химической стойкости получаемых материалов (Математическое ..., 1998а, Калинин и др., 1998б). Разработана программа вычисления температуры ликвидуса и логарифма вязкости алюмосиликатных расплавов по их химическому составу, которая позволяет оперативно регулировать технологические параметры и организовать управление процессами варки, осветления и выработки расплавов и отжига готовых изделий при получении высокосортного минерального волокна, стекол, стеклокристаллических и керамических материалов, в том числе – со специальными свойствами (декоративных, кислото- и щелочестойких, термостойких и др.). Предложенный подход может быть применен и к другим технологиям (цветной и черной металлургии) и системам (шлакам, солевым расплавам и др.).

Разработан ряд технологий первичной подготовки, управления качеством техногенного сырья и переработки его в строительные и технические материалы: заполнители бетонов, компоненты комплексных вяжущих, материалов экологического назначения (Использование ..., 1999).

Таким образом, геоэкологические исследования В.Н. Макарова с сотрудниками являются научной основой снижения нагрузки на окружающую среду при разработке месторождений полезных ископаемых и хранении отходов горнопромышленного комплекса. В то же время, реализация разработок позволит существенно сократить потребности в первичном сырье, повысить полноту, комплексность использования руд, а также улучшить экономические показатели их переработки.

## Литература

Изменение свойств техногенных руд цветных металлов в процессе хранения / В.А.Чантурия, В.Н.Макаров, Калинин А.М. и др. // Цветные металлы. - №10. - 2000. - С.80-85.

Изменения содержания Ni, Cu, Co, Fe, Mg в хвостах обогащения медно-никелевых руд в процессе их хранения / Д.В.Макаров, В.Н.Макаров, Т.Н.Васильева, Е.Р.Фарвазова // Инженерная экология. - №1. - 2004. - С.18-28.

Использование горнопромышленных отходов как сырья для производства строительных и технических материалов / В.Н.Макаров и др. // Химия в интересах устойчивого развития. - Т.7. - 1999. - С.183-187.

Калинников В.Т., Макаров В.Н., Суворова О.В., Макарова И.В. Математическое описание некоторых свойств расплавов базальтового состава. - Апатиты, КНЦ, 1998. - 105 с.

Калинников В.Т., Макаров Д.В., Макаров В.Н. Последовательность окисления сульфидных минералов на действующих и выведенных из эксплуатации хранилищах горнопромышленных отходов // Теоретические основы химической технологии. Т.35, - №1, - 2001. С.68-72.

Макаров В.Н. Оценка и управление качеством горнопромышленных отходов при переработке их в строительные и технические материалы. Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Москва, 1994. 30 с.

Макаров В.Н. Экологические проблемы хранения и утилизации горнопромышленных отходов. – Апатиты, КНЦ, 1998. - Ч.1. 126 с. - Ч.2. 146 с.

Макаров Д.В., Макаров В.Н. Взаимодействие нерудных минералов горно-промышленных отходов с водорастворимыми продуктами окисления сульфидов железа // Химия в интересах устойчивого развития. Т.8, - 2000. С.829-835.

Математическое описание зависимости вязкости от состава и температуры сульфидсодержащего базальтоидного расплава / В.Т.Калинников, В.Н.Макаров, О.В.Суворова др. // Доклады АН. - Т.362. - №3. - 1998. - С.357-358.

Чантурия В.А., Макаров В.Н., Макаров Д.В. Изменение нерудных минералов горнопромышленных отходов в процессе хранения под воздействием минеральных кислот // Инженерная экология. - №1, - 2000. С.31-40.

Чантурия В.А., Макаров В.Н., Макаров Д.В. Классификация горнопромышленных отходов по типу минеральных ассоциаций и характеру процессов окисления сульфидов // Геоэкология. - №2, - 2000. С.136-143.

Чантурия В.А., Макаров В.Н., Макаров Д.В. Экологические и технологические проблемы переработки техногенного сульфидсодержащего сырья. – Апатиты, КНЦ, 2005. - 227 с.

## USE OF AMELIORATING MATERIALS BASED ON WASTE FROM ORE MINING AND PROCESSING PLANTS FOR RECUPERATION OF FORESTS AFFECTED BY ACID RAINS

**N.K. Manakova<sup>1</sup>, V.N. Makarov<sup>† 1</sup>, N.V. Lukina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials, Kolsk RAS;

<sup>2</sup> CAPL RAS (Institute of forest)

“Acidic” rains promote a selective leaching from vegetation and soils of the forest ecosystems a series of vital elements, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> cations in the first place. An effective method of eliminating the adverse effect of ‘acidic’ atmospheric precipitation is applying low-cost ameliorating agents which could both replenish the lost elements, improve the soil structure and neutralize excess acidity, and have a prolonged and mild action. Low production costs of the agents can be achieved by involving mining wastes in the production.

We have obtained magnesium-based ameliorating agents by the method of thermal activation of serpentine-bearing starting products (magnesium hydrosilicates) and magnesium-based ameliorating agents from olivine-bearing sources (magnesium silicates) coupled with acidic treatment. The resulting fertilizers contain MgO from 23 to 40 mass % as well as calcium and manganese. All the components are present in a hard-to-solve in water phase, which means that they are not washed out by rains but are easily extracted to the solution by weak organic acids, thus being accessible for plants.

Pilot testing has shown that thermally activated sungulite effectively enriches the soil with mobile compounds accessible for plants; the concentration of principal nutritious elements in soil solutions is observed to increase; and the soil acidity reliably decreases.