ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА, ПОИСКОВ, ОЦЕНКИ И ПЕРЕРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: ЗАВЕЩАНИЕ ЛЕГЕНДАРНОГО ПРОСПЕКТОРА

В. И. Силаев, А. Ф. Хазов, И. Н. Размыслов, В. А. Петровский

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

silae@geo.komisc.ru

Статья посвящена российскому геологическому проспектору и первооткрывателю многих золотороссыпных месторождений и местонахождений ископаемого детрита плейстоценовых мегамлекопитающих А. А. Котову и содержит примеры, подтверждающие справедливость выдвинутых им идей в области геотехнологий поисков, оценки и переработки месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: Александр Андреевич Котов, интеллектуальное наследство, прогноз, поиски и оценка рудных месторождений.

THE PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT OF METHODS FOR FORECAST, SEARCHES, ESTIMATION AND PROCESSING OF ORE DEPOSITS: WILL OF LEGENDARY PROSPECTOR

V. I. Silaev, A. F. Khazov, I. N. Razmyslov, V. A. Petrovsky

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar,

In memory of the outstanding Russian geological prospectus and pioneer of many gold-placer deposits and locations of the fossil detritus of the Pleistocene mega-mammals with examples illustrating and confirming the validity of his ideas in the field of geotechnologies of prospecting, evaluation and processing of mineral deposits.

Keywords: Alexandr Andreevich Kotov, intellectual heritage, forecast, searches and estimation of ore deposits.

Введение

Александр Андреевич Котов (1934—2014) уже при жизни считался легендарным геологическим проспектором¹ и знаменитым первооткрывателем россыпных месторождений титана, золота и алмазов не только в России (Восточная Сибирь, Приполярный Урал, Северный Тиман), но и за рубежом² [18]. Теперь его можно смело включать в международный ряд выдающихся проспекторов — Фреда Штрубена (золотоурановые месторождения Витватерсранда), Шона Райана (золотоносные россыпи на р. Клондайк), Б. Шафигуллина (россыпи на территории Западной Чукотки), М. Кононова и С. Гайфуллина (россыпи на Колыме). Наш герой был, безусловно, одаренной творческой личностью, но при этом относился к редкому типу образно мыслящих («правополушарных») интеллектуалов-интуитивистов, многие выводы которых возникают раньше того, как коллеги-трудяги приступят к героической систематизации непомерных объемов эмпирической информации [25].

А. Котов родился в 1934 г. в Ленинградской области, но в школу пошел уже в Мурманской области, где и увлекся на всю жизнь математикой. После получения среднего образования он подался в Ленинградский госуниверситет, но почему-то не на математический, а на

географический факультет, что тоже было очевидным проявлением незаурядной натуры. Специализировался на кафедре геоморфологии, пописывая время от времени курсовые работы под невероятными названиями, например «Геоморфологическая терминология в русских летописях и былинах» или «А. Эйнштейн об асимметрии речных долин». Окончив университет, А. Котов распределился в Якутский ФАН СССР, в группу так называемых россыпников. Но там — среди ученых — ему быстро наскучило, и он перевелся ближе к «геологическому телу», а именно в Якутскую центральную геологосъемочную экспедицию.

Упомянутое «тело» не подвело, и уже в первом полевом сезоне А. Котов открывает свой первый рудоносный район — с богатыми аллювиальными россыпями титана. Об этом он отчитался не только рутинной геологической информацией, но и математической моделью. Такой карамболь³ в те далекие 1950-е годы был для геологического начальства безусловной ересью. Но начальство оказалось умным (спасибо ему за это) и не стало мешать Александру Андреевичу в создании геолого-математической партии, автоматизации процедур обработки разведочной информации, аналитической геометрии рудных тел, вероятностной оценке ресурсов-запасов и других премудрос-

¹ Специалист по выявлению площадей, перспективных на обнаружение рудных месторождений.

² В 1995 г. А. А. Котов возглавлял геолого-разведочное бюро одной из российских компаний с выездами в Мали, Танзанию, Намибию и Гвинею. Однажды вместе с В. И. Тумановым он прошел более пяти тыс. км по маршруту Лесная Гвинея — Фута-Джаллон (Средняя Гвинея) — Бафинг (Кот-д'Ивуар).

³ Удар на бильярде, при котором пушенный шар поражает последовательно не менее двух прицельных шаров.

тах. Среди последних оказалось, между прочим, открытие в междуречье Омолон-Яна (запад Яно-Индигирской низменности) крупного захоронения костных остатков мамонтовой фауны. Теперь там ходят орды палеонтологов-четвертичников, сочиняющих свои премудрые диссертации. Так прошло 20 лет.

В 1976 г. А. Котов был приглашен гендиректором ПГО «Полярноуралгеология» И. С. Бредихиным для организации поисков золотоалмазных россыпей на Европейском Северо-Востоке России. Целых два невыносимо продолжительных для него года А. Котов анализировал накопленную к тому времени геологическую информацию, а уже в 1978–1979 гг. под его руководством был открыт Кожимский золотороссыпной район (рис. 1). В 1980 г. здесь началась старательская добыча на речных террасах, которая за последующие 19 лет дала около 3.5 т шлихового и самородкового золота. В середине 1980-х гг. по ини-

циаций. Среди редких публикаций А. Котова есть одна особенно важная для нарождающегося поколения геологов и геотехнологов, поскольку ее можно рассматривать как своего рода завещание легендарного Проспектора. Это был доклад на Сыктывкарском минералогическом семинаре в 2012 г., в котором А. Котов примерно за два года до своей кончины сформулировал несколько принципиальных задач, без решения которых, как он считал, невозможен действительный прогресс в поисках, разведках, оценках и утилизации золотороссыпных месторождений [7]. Понятно, что не всё в этом послании является чудесным откровением в силу кажущейся тривиальности, но сосредоточенное изложение идей и неизбежная их проекция на личность самого автора делает упомянутое послание для нас очень важным. Очевидно также, что идеи А. Котова лишь поверхностно могут быть отнесены только к отрасли золотодобычи. В действительности они приложимы к

Рис. 1. К истории открытия и утилизации аллювиальных россыпей в Кожимском золотороссыпном районе

Fig. 1. To the history of discovery and utilization of alluvial placers in the Kozhim gold-placer region

циативе и при активном участии А. Котова на Среднем Тимане была обнаружена так называемая Ичетьюская полиминеральная россыпь⁴ с высококачественными алмазами уральско-бразильского морфологического типа. Так на геологической карте России появился новый алмазоносный район — Среднетиманский.

А. Котов не защищал диссертаций и очень редко публиковался, ограничиваясь лишь лаконичными пунктирно-смысловыми текстами. Однако это не следует считать слабостью нашего героя — творцы-интуитивисты никогда не оставляют после себя многословно-дремучих сочи-

поискам, разведкам, оценкам и технологиям освоения практически любых рудных месторождений. Итак, переходим к делу.

О ветхозаветных идеях и средневековых технологиях

А. А. Котов: *До сих пор в золотодобыче преобладают устаревшие идеи, в частности так называемый закон о «россыпнеобразующих формациях», и древнейшие, едва ли не средневековые, технологии обогащения: механическое дробление, промывка на наклонной плоскости (использование гравитационного*

⁴ Сам А. А. Котов считал объект на Ичетью именно россыпью, залегающей в основании среднедевонской пижемской свиты и образовавшейся в результате дефляции титанонесущих песчаников нижнедевонской малоручейской свиты. Однако на этот счет имеется и другое авторитетное мнение: А. Я. Рыбальченко по аналогии с Северным Уралом считает эту «россыпь» — всю или частично — телом инъекционных флюидизитов, внедрившихся в кайнозойское время по границе между среднепротерозойским фундаментом Русской плиты и девонской терригенной толщей осадочного чехла.

эффекта), сепарация методом флотации и с использованием естественных магнитных свойств.

Действительно, основные методы, по крайней мере методы первоначального обогащения, за последние 100—150 лет, т. е. начиная как минимум с эпохи первых «золотых лихорадок» принципиально не изменились. В на-

стоящее время почти все в добыче и обогащении руд происходит почти так же, как это делали старатели во времена героев Джека Лондона: копают, дробят, отмывают в воде, концентрируют, используя гравитацию, трение и магнитные свойства (рис. 2). При этом именно такие очень древние процедуры продолжают почему-то отно-

Рис. 2. Методы первичного гравитационного обогащения речных россыпей в эпоху первых «золотых лихорадок» 1880—1915 гг. (а) и в конце XX — начале XXI в. (б)

Fig. 2. Methods of primary gravitational enrichment of river placers in the era of the first «gold fevers» of 1880—1915 years (a) and in the late 20th — early 21st centuries (b)

силь к «перспективным геотехнологиям» [33]. Очевидно, что подобный консерватизм и является основной причиной отмеченной А. Котовым архаичности идей и методов.

Конечно, в практике современных обогатителей имеют место и более сложные процедуры — цианирование, гидровыщелачивание, бактериальное выщелачивание, пирометаллургия и т. п. Но все это ничего не меняет принципиально, поскольку продолжает традицию лишь пассивного использования заповеданных природой свойств минерального сырья. Тем не менее в России уже в 1970-е годы появились признаки перехода к активной форме обогащения, когда исходные свойства природных руд удаётся модифицировать в нужных для обогатителей направлениях и со значительным приростом эффективности извлечения полезных компонентов [20]. В настоящее время эта идея получила развитие в работах российских ученых и начала активно обсуждаться зарубежными коллегами [9, 15, 21, 24, 29, 35—37, 39]. Конкретным примером успехов на таком направлении может служить измельчение руд при воздействии на них мощными наносекундными электромагнитными импульсами (метод ЭМИ), в результате которого степень раскрываемости частиц полезных компонентов может повышаться на 200 % и более. Другой пример — электрохимический метод увеличения эффективности флотационного обогащения (метод ЭХО), обеспечивающий прирост степени извлечения, например, алмазов на 25—30 %.

Особенный интерес в рамках рассматриваемой темы представляет радиационно-термический метод изменения механических и физико-химических свойств руд вследствие нагревания и последующего облучения ускоренными (высокоэнергетичными) электронами (метод РТУЭ). В этом случае могут быть достигнуты не только увеличение производительности измельчения руд и прирост степени извлечения полезных компонентов [24], но и полезное для промышленников изменение фазового состава руд, позволяющее расширять схему обогащения за счет извлечения новообразованных и достаточно фазово-обособленных полезных компонентов, иногда гораздо более ценных, чем фазовые компоненты в исходных рудах.

Размерность частиц как фактор торможения или ускорения

А. А. Котов: *Главный классификационный признак руды — размерность частиц полезного компонента — давно тормозит золотодобычу. Необходим принципиальный переход к освоению микронанодисперсного минерального сырья. В сущности, это является главной предпосылкой к обеспечению потенциала развития горнодобывающей отрасли в условиях продолжающегося промышленного роста.*

Суть данного соображения Проспектора состоит в том, что именно нацеленность обогатителей на так называемую гравитационную размерность частиц (более 100 мкм) в рудах и обуславливает в значительной степени застой как в геологических теориях, так и практиках обога-

щения руд. Однако не исключено, что истинный смысл рассматриваемой посылки лежит гораздо глубже, чем упомянутый выше застой в знаниях и умениях. В настоящее время есть внятное ощущение того, что, ориентируясь на извлечение частиц гравитационной размерности, мы никогда не сможем иметь полного представления о рудном месторождении, какими бы способами мы его ни оценивали [31]. Причина этого состоит в том, что в рудном месторождении самые ценные компоненты могут оказаться за пределами возможностей современных технологий обогащения, т. е., грубо говоря, рудное месторождение может быть вовсе не таким, как его воспринимают современные потребители. Очевидно, что для преодоления такого рода коллизии необходимо переходить к регистрации полезных компонентов с размером частиц в диапазоне от десятков микрон до сотен нанометров [6], а в перспективе и десятков нанометров [17]. Приведем соответствующий пример.

В 1988 г. в Юго-Восточной Якутии было открыто беспрецедентное сульфидно-марганцевое месторождение со средним содержанием Mn в пределах 48—52 мас. % [4]. Таковым оно и считалось до 2010 г., когда в сульфидно-марганцевых рудах была выявлена вкрапленность множества индиевых и индийсодержащих минералов с размером частиц преимущественно от сотен нанометров до первых десятков микрон (рис. 3): лафаретита AgInS_2 , рокезита CuInS_2 , манганоиндита $(\text{Mn, Fe})\text{InS}_2$, петрукита состава $(\text{Cu, Mn, Fe, In, Sn})_3\text{S}_4$, сакураита $(\text{Cu, Zn, Fe, In, Sn})\text{S}$, In, Sn-содержащих алабандина и арсенопирита, In-содержащего сфалерита, сульфоарсенитов In-Sn-Ag-Fe-Zn, сульфоантимонидов In-Sn-Cu, In-Sn-Pb, In-Zn-Cu, In-Pb-Zn [5, 26, 38]. Валовое содержание индия в рассматриваемых сульфидно-марганцевых рудах составляет 30—300 г/т, что почти на порядок превышает его содержание в свинцово-цинковых колчеданных месторождениях — традиционных первоисточниках индия для современной промышленности. В итоге получилось, что в силу выдающейся актуальности индия месторождение Высокогорное, обнаруженное в Восточной Сибири, следует рассматривать как не столько марганцевое, сколько уникальное индиевое, фактически «открытое под микроскопом» [27]⁵.

Другой пример, иллюстрирующий важность и необходимость перехода при оценке месторождений минерального сырья в микронанометровый диапазон размеров частиц, дает опыт исследований природных пигментов. Как известно, доля пигментного сырья из российских месторождений в потребности предприятий отечественной лакокрасочной промышленности составляет не более 10 %, хотя учтенные запасы природных пигментов в российских месторождениях весьма велики — до 45 кг на душу населения. Считается, что такой парадокс обусловлен системно низким качеством российских пигментных руд. Однако проведенные нами исследования с использованием сканирующей и просвечивающей электронной и зондовой атомно-силовой микроскопии, рентгеновской дифрактометрии и мёссбауэровской спектроскопии [11, 12] показали, что в действительности проблема отечествен-

⁵ Между прочим, после опубликования первых данных об обогащении Высокогорного месторождения индием китайцы провели ревизию и совершили у себя что-то вроде научно-технической революции — многие их сульфидно-полиметаллические рудопроявления оказались существенно индиеносными, сразу же превратившись в особенно ценные месторождения. В нашем же отечестве руки до уникального индиево-марганцевого месторождения так пока и не дошли.

Рис. 3. Сульфидно-марганцевые руды из месторождения Высокогорного с мезонаномикрометровой вкрапленностью индиевых и индийсодержащих минералов. СЭМ-изображения в режиме упругоотраженных электронов. Минералы: 1 — индиевые сульфиды и сульфосоли, 2 — арсенопирит, 3 — касситерит, 4 — алабандин, 5 — родохрозит

Fig. 3. Sulphide-manganese ores from the Vysokogorny deposit with meson-micrometer impregnation of indium and indium-bearing minerals. SEM images in the mode of elastically reflected electrons. Minerals: 1 — indium sulphides and sulfosalts, 2 — arsenopyrite, 3 — cassiterite, 4 — alabandite, 5 — rhodochrosite

ного пигментного сырья состоит не в тотально низком его качестве, а в широких вариациях этого качества — от действительно низкого до достаточно высокого в зависимости от колебаний дисперсности, формы и степени кристалличности частиц красящего вещества. С увеличением размера частиц в среднем от 100—200 до 600—800 нм и более, изменением формы частиц от глобулярной до угловатой, с ростом степени кристалличности оксидов железа по мере снижения содержания гидрогетита, замещающегося гематитом, и с ростом степени магнитной упорядоченности железистых минералов качество пигментного сырья быстро ухудшается. Статистически это отвечает последовательности перехода от желтых охр к турбитам, далее к коричневым охрам и бурым железнякам (рис. 4). Однако обнаруживается, что в пределах каждого из выстроившихся в упомянутую выше последовательность типов

пигментов их качество достаточно широко варьируется. Очевидно, что в условиях организации непрерывного мониторинга и селективной добычи такого сырья можно легко увеличить долю промышленного потребления отечественных природных пигментов, сильно сэкономив на дорогом импорте.

Прогресс как функция внедрения новых технологий

А. А. Котов: *Существенный прогресс в золотодобыче возможен только после внедрения в практику принципиально новых технологий переработки минерального сырья, например технологии «уголь в пульпе».*

Этот постулат в завещании Проспектора представляется наиболее универсальным и важным для модернизации горнодобывающей отрасли России, поскольку имен-

Рис. 4. Мёсбауэровские спектры (слева) и восстановленные распределения параметров магнитной сверхтонкой структуры секстетов (справа), полученные от желтых охр (1), туритов (2), коричневых охр (3) и бурых железняков (4)

Fig. 4. Mossbauer spectra (left) and reconstructed distributions of the parameters of the magnetic hyperfine structure of the sextets (right) obtained from yellow ochers (1), turites (2), brown ochers (3), and brown iron ores (4)

но он соответствует переходу от многовековой традиции пассивного приспособленчества к новому принципу целенаправленного и разнообразного модифицирования в целях кардинального улучшения ситуации в области геотехнологий [19].

Такой переход, разумеется, не может произойти сам по себе. Для этого необходимо настойчиво повышать в геотехнологических процедурах роль минералогии, поскольку с интервенцией в микронанометровый диапазон дисперсности резко возрастает значение фазовой гетерогенности сырья, вариаций химической неоднородности и степени окристаллизованности минералов, за-

кономерностей их изоморфизма и полиморфизма. Для понимания всего этого необходимо согласованное использование множества высокотехнологичных методов [8, 16] — высокоточной рентгеновской дифрактометрии, высокоразрешающей термографии, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, зондовой атомно-силовой микроскопии, локального рентгено-спектрального анализа, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, разных вариантов спектроскопии (ИКС, ЯГР, ЭПР) и др. Кроме того, для значительного повышения степени и качества утилизации руд необходимо научиться использовать энергетические

(термические, электромагнитные, радиационные) воздействия на первичное минеральное сырье, что может повысить эффект доизвлечения тонких и сублимированных компонентов.

В качестве доказательства эффективности технологичной модификации природных руд могут рассматриваться уже зарекомендовавшие себя эксперименты по омагничиванию некондиционных железных руд [14]. Суть этих экспериментов состоит в том, что исходные буро-железные немагнитные руды в процессе нагревания до 500–700 °С в присутствии восстановителя, например крахмала, приобретают значительные магнитные свойства (омагничиваются) вследствие превращения слабомагнитных оксигидроксидов и оксидов железа (гидрогетита, гетита, гематита) в сильномагнитные (магнетит, магнетит). Понятно, что в результате именно такого превращения резко повышается производительность магнитного обогащения. Приведем три примера.

Были выполнены эксперименты по омагничиванию аподжеспилитовых бурых железняков гипергенного происхождения на Ингулецком месторождении железистых кварцитов в Криворожском железорудном бассейне [28]. Исходные образцы имели преимущественно гетит-гидрогетитовый состав с примесью гематита. Они нагревались до 650 °С в присутствии восстановителя железа, потом охлаждались со скоростью 60–70 °С/мин в режиме непрерывной регистрации взаимодействия магнитного момента образцов с неоднородным магнитным полем. Полученные результаты показали (рис. 5), что после такого нагревания происходит значительное увеличение магнитного момента, обусловленное, судя по рентгендифракционным данным, переходом гематита, гетита и гидрогетита в магнетит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и магнетит.

В качестве второго примера можно сослаться на опыты по омагничиванию оолитовых буро-железных руд из Керченского железорудного бассейна [1, 13], недавно вернувшегося под юрисдикцию России. Железняки при-

урочены к морским терригенным отложениям нижнего-среднего палеозоя [23, 34], их минерально-фазовый состав определяется парагенезисом Fe-аллофаноидов, гидрогетита-гетита, смектитов, гидрохлоритов и гидрослюда, Fe-Mn-карбонатов, фосфатов ряда вивианит — оксикерченит. Среднее валовое содержание железа в рудах составляет около 30 мас. %. В ЯГР-спектрах исходных образцов наблюдается релаксированная магнитная сверхтонкая структура, отвечающая плохо окристаллизованному гетиту (гидрогетиту), и дублет Fe^{2+} в железистых силикатах и фосфатах. В процессе нагревания в присутствии крахмала буро-железные руды дегидратируются и изменяют окраску с желтовато-бурой на черную. Магнитная восприимчивость увеличивается в 300 раз, а в мёсбауэровских спектрах проявляется хорошо разрешенная секстетная структура, отвечающая магнетиту (рис. 6). Таким образом, в результате эксперимента плохообогащаемые бурые железняки превращаются в качественную магнетитовую руду.

Третий пример изменения первичных свойств некачественного минерального сырья — результаты экспериментов над некондиционными бёмит-гетит-гидрогетитовыми бокситами из среднетиманских месторождений [9, 22]. В этом случае в результате нагревания до 600 °С в сочетании с воздействием на руды электрическими полями или высокоэнергетичными электронами сначала происходит термическая диссоциация бёмита и гетита-гидрогетита с образованием $\lambda\text{-Al}_2\text{O}_3$ и гематита, а затем следует преобразование слабомагнитного гематита в сильномагнитные магнетит и магнетит. Последнее способствует эффективному отделению от продуктивной алюминиевой фракции условно вредной железистой фракции. Хотя «вредная» фракция при этом может оказаться вовсе и не вредной, а вполне полезной как ценный побочный промышленный продукт.

Таким образом, приведенные примеры модификации буро-железных и железоалюминиевых руд

Рис. 5. Термомагнитные кривые (а; стрелками показаны точки достижения максимума магнитного момента) и кривые намагниченности после нагревания и последующего охлаждения (б) для аподжеспилитовых бурых железняков

Fig. 5. Thermomagnetic curves (a, the arrows indicate the points of reaching the maximum of the magnetic moment) and the magnetization curves after heating and subsequent cooling (b) for apojespilite brown irons

Рис. 6. Результаты термического анализа (а) и мёссбауэровские спектры (б) образцов технологической пробы керченских бурожелезняковых руд до и после омагничивания

Fig. 6. Thermal analysis results (a) and Mössbauer spectra (b) of specimens of the technological sample of the Kerch brown-lime-rich ores before and after magnetization

демонстрируют универсальную картину превращений в ходе нагревания в присутствии восстановителя и облучений некондиционных слабомагнитных руд в качественные маггемит-магнетитовые руды, что, безусловно, открывает замечательную перспективу утилизации громадных объемов труднообогатимого минерального сырья.

К вышеизложенному следует добавить, что в ходе нагревания образцов железистых бокситов с последующим их облучением пучками ускоренных электронов при определенной напряженности магнитного поля нами наблюдался неизвестный ранее эффект фазовой гетерогенизации, обусловленной образованием собственных минералов промышленно ценными микроэлементами, ранее эндокриптно рассеянными в исходном веществе и потому неизвлекаемыми.

Приватно-государственное сотрудничество, привлечение молодежи и романтика современной геологии

А. А. Котов: *Возвращение России в мир большой золотодобычи потребует предварительного решения целого ряда социально-экономических задач, включая востребованность со стороны государства современного старательства «тумановского» типа, сокращение чрезмерного в настоящее время влияния на горнодобывающую отрасль бюрократов и вовлечение молодёжи в крупные научно-технические и производственно-новаторские проекты, характеризующиеся высокой культурой и романтикой творчества.*

А. Котов был убежденным сторонником многоукладности российской экономики, имеющей глубокие исторические корни [10]. При этом у самого Проспектора имелся личный опыт сотрудничества с выдающимися продолжателями традиций знаменитого российского предпринимательства, демонстрировавших высокую эффективность даже в самое неблагоприятное для этого советское время. Наиболее известный пример — история необыкновенного человека и старателя с большой буквы — Вадима Ивановича Туманова.

В. И. Туманов (1927 г.р.) в 16—17 лет успел повоевать, потом окончил школу морских штурманов. Но в 1948 г. был осужден на 8 лет по ст. 58 УК РСФСР («шпионаж, террор, антисоветская агитация»). После освобождения в 1956 г. он окончил курсы горных мастеров и занялся старательским промыслом, создав первую в СССР «скоропроходческую» бригаду на колымских золотороссыпных месторождениях. Впоследствии Вадим Иванович организовывал и возглавлял множество старательских артелей и кооперативов: «Семилетка» (1966), «Прогресс» (1966), «Алдан» (1969), «Восток (Амур)» (1973), «Витим» (1973), «Лена» (1976). Считается, что за весь период предпринимательства коллективы В. И. Туманова добыли примерно 400 т самородного золота.

После открытия Кожимского золотороссыпного района В. И. Туманов был приглашен в Республику Коми, где собрал старательскую артель «Печора» (с 1980 г. кооператив на хозрасчете), которая успешно вела добычу до 1986 г. (рис. 7). Артельщики-печорцы работали вахтами, практически круглосуточно, зарабатывая ежемесячно по

Рис. 7. Основоположник современного горного старательства «тумановского» типа и некоторые из его команды
Fig. 7. The founder of modern mining of «Tumanovsky» type and some people of his team

2000 руб. (раз в 10 больше средней зарплаты в СССР в те времена). Очень показательно, что сам глава кооператива получал лишь в два раза больше своих проходчиков, что в сравнении с современными беловоротничковыми «премиями» и «золотыми парашютами» выглядит каким-то экзистенциализмом.

Тем не менее в 1987 г., после короткого следствия, проведенного бригадой следователя-«важняка» Нагорнюка А. Н. по инициативе члена ПБ ЦК КПСС Лигачева Е. К., министра цветной промышленности СССР Дурасова В. А. и первого секретаря Коми обкома КПСС Мельникова В. И. и при активном соучастии начальника управления бухучета и контроля Минцветмета Одарюк Л. С. и авторов статьи «Вам и не снилось» в газете ЦК КПСС «Социалистическая индустрия» Цекова В. и Капелькина В., кооператив «Печора» был ликвидирован. Правда, до осуждения кого-либо по причине отсутствия реальных злоупотреблений дело не дошло. Уже в 1987 г. В. И. Туманов организовал новый кооператив — «Строитель» — с пропиской в Карелии, строил там в течение многих лет автомобильные дороги и мосты, благоустраивал территории, за что в 2017 г. получил звание «Почетный гражданин Республики Карелия».

Теперь кратко о действительных результатах деятельности «Печоры». Тумановский кооператив работал в Ко-

жимском золотороссыпном районе семь лет, ежегодно добывая в среднем около 300 кг золота. После ликвидации кооператива добычу возобновили в 1989 г., создав для этого подконтрольную государству компанию ОАО «Терра». В 1997 г. «Терру» из-за ее малой эффективности заменили артелью «Комсомольская», но это уже стало и вовсе агонией золотодобычи на Приполярном Урале.

Сравнительный анализ результатов деятельности золотодобытчиков в Кожимском золотороссыпном районе (см. таблицу) приводит к следующему заключению. Тумановский кооператив оказался, безусловно, самым эффективным. ОАО «Терра» уступило «Печоре» в среднегодовой добыче в 1.7 раза, а в общем объеме добычи — в 1.5 раза. Деятельность артели «Комсомольская» оказалась еще менее продуктивной — она уступила «Печоре» и «Терре» в среднегодовой добыче соответственно в 16.7 и 9.7 раз, а в общем объеме добычи — в 33.3 и 22 раза. Вот таким оказался экономический эффект борьбы государства с «злоупотреблениями» в тумановской артели⁶. Очень показательно, что если тумановцы после ликвидации «Печоры» создали эффективный строительный кооператив, то о поздней судьбе их преемников вообще ничего не известно — растаяли как утренний туман.

Однако остался вопрос, в чем именно состояла причина замены наиболее социально-экономически эффек-

⁶ Есть, однако, и другая точка зрения, согласно которой причиной «затухания» золотодобычи на Приполярном Урале послужило включение соответствующей территории в состав национального парка «Югыд ва» [30].

Результаты старательской добычи золота в Кожимском золотороссыном районе в период 1980—2000 гг.

The results of gold mining in the Kozhim gold-placer area in the period 1980—2000 years

Золотодобычное предприятие (руководитель) Gold Mining enterprise (head)	Годы добычи Years of production	Размах объемов добычи, кг Scope of production, kg	Общий объем добычи, кг Total production, kg	Среднегодовая добыча ± СКО, кг (коэффициент вариации, %) Average annual production ± ± standard deviation, kg (coefficient of variation, %)
Артель (кооператив) «Печора» от объедине- ния «Уралзолото» (В. И. Туманов) Artel (cooperative) «Pechora» from the asso- ciation «Uralzoloto» (V. I. Tumanov)	1980—1986 (7 лет / years)	196—342	2041	292 ± 52 (18)
ОАО «Терра» от Ухтинской ГРЭ (Л. В. Акимов) OJSC «Terra» from the Ukhta prospecting expedition (L. V. Akimov)	1989—1996 (8 лет / years)	45—352	1358	170 ± 112 (66)
ЗАО Артель старателей «Комсомольская» (О. А. Чакров) CJSC Artel of prospectors «Komsomolskaya» (O. A. Chakrov)	1997—2000 (4 года / years)	9—26	73	18 ± 8 (44)

Примечание. Исходные данные заимствованы у А. А. Иевлева [3].

Note. The initial data were borrowed from A. A. Iyevlev [30].

тивного предприятия гораздо более слабыми, если не ска-
зать ничтожными, последователями. Лучше всех это
объяснил сам В. И. Туманов: «Причина уничтожения
«Печоры» заключалась в том, что такой пример произ-
водительного труда не был нужен ни до, ни после 1987
года...» [32].

Остается прокомментировать идею А. Котова о моло-
дежи и современном понимании геологической романти-
ки. Понятно, что российскую молодежь XXI века в геоло-
гию и горное производство только лозунгами и мобилиза-
циями не навербуешь. Для этого необходимо, подобно
В. И. Туманову, уважать людей и учитывать их частные ин-
тересы. Это в настоящее время более или менее понятно.
Но вот с романтикой не так все однозначно.

Еще лет 50—60 назад, в эпоху «золотого века советс-
кой геологии», замечательно воспетую О. Куваевым, геоло-
гическую романтику видели прежде всего в героичес-
ком исхаживании труднодоступных территорий, собира-
нии камней и поисковом фарте. Точно так, как это было в
эпоху «великих географических открытий», когда на пер-
вом месте была романтика кругосветных плаваний и от-
крытий новых материков. Однако тогда после обнаруже-
ния новых земель надо было переходить к их освоению,
что потребовало несколько иной романтики.

Примерно то же самое происходит в настоящее вре-
мя и в отечественной геологии, в которой практически
непрерывно повышается роль аналитических и научно-
исследовательских работ, хотя это и не всем прежним ро-
мантикам нравится⁷. Что-то подобное предвидел еще со-
ветский академик А. Е. Ферсман, большой, надо сказать,
путешественник и первооткрыватель. В 1940-х гг. он ут-
верждал, что истинная романтика в геологии состоит вов-
се не в бродяжничестве, а «лежит за третьим десятичным

знаком». Более развернуто об этом написал в начале
1970-х гг. профессор Ростовского госуниверситета В. В.
Закруткин, много путешествовавший по Якутии, Афри-
ке и преподававший в университетах России, Гвинеи, Ал-
жира, Туниса, Конго, Заира. По его мнению, настоящая
романтика в геологии «... это романтика исследований...
это поиски не только в глубинах Земли, это поиски в глу-
бинах вещества, это тончайшие химические анализы, это
скрупулёзные рентгеноструктурные исследования, это
изучение даже не элементов, а изотопов. Это электрон-
ный микроскоп, это лазерный и квантовый анализаторы,
это инфракрасная спектроскопия, это магнитный и
квадрупольный резонансы. ... в общем, это не только
костры по ночам и рюкзак за плечами. Это еще и белые
халаты, и умные машины...» [2].

Вот так и расширяется формула завещанных
Проспектором «научно-технических и производственно-
новаторских проектов, характеризующихся высокой куль-
турой и романтикой творчества» и к тому же привлека-
тельных для современной хорошо образованной и умной
молодежи. Надо только поменьше лениться.

Вместо заключения

Александр Андреевич Котов прожил почти 80 лет,
практически непрерывно трудился и никогда по-настоя-
щему не отдыхал. Был женат, оставил после себя достой-
ных детей. Ученики у него, наверное, тоже были, но не в
том смысле, что он кого-то учил, а в том, что находились
умные и талантливые, которые сами у него учились впри-
глядку.

Удивительной особенностью А. А. Котова была, как
теперь говорят, «мягкая сила» — внутренняя убежденность
в своей правоте и молчаливая неуступчивость по принци-

⁷ Например, геофизик по образованию и профессии, но писатель-романтик по призванию О. М. Куваев в конце 1960-х гг. необратимо «разочаровался» в геологии именно из-за роста роли в ней так называемых камеральных работ.

пиальным для него вопросам. Он даже по телефону никогда не спорил, просто отключал трубку. При этом А. А. Котов мог быть и очень язвительным. Одна только его шутка в сторону известных геологов о том, что они «золото ищут, как солону на дороге», чего стоит. Кстати, как раз после этой шутки он и открыл свое «эльдорадо» на Приполярном Урале.

В общем, нет никаких сомнений в том, что завещание легендарного Проспектора не останется втуне, а еще долго будет отзываться в новых геологических и геотехнологических открытиях его коллег, учеников и последователей.

Работа выполнена по теме НИР «Научные основы эффективного недропользования, развития и освоения минерально-сырьевой базы, разработка и внедрение инновационных технологий, геолого-экономическое районирование Тимано-Североуральского региона» (ГР № ААА-А17-117121270037-4) при частичной финансовой поддержке программ УрО РАН (проект 18-5-5-44).

Литература

1. Брик А. Б., Иваницкий В. П., Дудченко Н. А., Польшин Э. В., Влайков Г. Г. Фазовый состав табачных руд Керченского железорудного бассейна и возможность их омагничивания // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2014): Материалы минералог. семинара с международ. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2014. С. 248—249.
2. Закруткин В. В. Анабарский щит. Ростов н/Д: Ростовское книжное издательство, 1973. 220 с.
3. Иевлев А. А. История и перспективы добычи золота в Республике Коми // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. С. 341—344.
4. Кокин А. В. Минеральные ассоциации уникальных алабандиновых руд Восточной Якутии // Структура и разнообразие минерального мира: Материалы международ. минералог. семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2008. С. 393—394.
5. Кокин А. В., Силаев В. И., Киселева Д. В., Филиппов В. Н. Новый потенциально промышленный сульфидно-индиево-марганцевый тип оруденения // Доклады РАН. 2010. Т. 430. № 3. С. 372—377.
6. Конев Р. И. Наноминералогия золота. СПб.: Delta, 2006. 218 с.
7. Котов А. А., Петровский В. А., Сухарев А. Е. Введение в «новейшую» геологию // Кристаллическое и твердое некристаллическое состояние минерального вещества: Материалы минералог. семинара с международ. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 264—266.
8. Котова О. Б., Ожогина Е. Г., Рогожин А. А. Интервенция минералогии в технологии переработки труднообогатимых полезных ископаемых // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения — 2017): Материалы международ. науч. конф. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. С. 10—13.
9. Котова О. Б., Размыслов И. Н., Ростовцев В. И., Силаев В. И. Радиационно-термическое модифицирование железистых бокситов в процессах их переработки // Обогащение руд. 2016. № 4. С. 3—9.
10. Лешиков В. Г. Российское золото — государственная и старательская добыча (1719—2007). М.: Горная книга, 2008. 206 с.
11. Лютоев В. П., Грановская Н. В., Силаев В. И., Кочергин А. В., Лысюк А. Ю. Свойства и наноминералогические критерии технологической оценки природных ультрарадисперсных пигментов // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2011. С. 50—63.
12. Лютоев В. П., Лысюк А. Ю., Силаев В. И. Микро-наноминералогические тайны природных пигментов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 9. С. 18—20.
13. Лютоев В. П., Силаев В. И., Лысюк А. Ю., Шевчук С. С. Керченские оолитовые железные руды и возможности их технологической модификации // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 1. С. 18—29.
14. Лютоев В. П., Силаев В. И., Пономаренко А. Н., Брик А. Б., Дудченко Н. А., Юшин А. А., Лысюк А. Ю., Шевчук С. С. Преобразование структуры природных оксидов/оксигидроксидов железа при восстановлении окисленных железозоксидных руд // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 1. С. 20—25.
15. Научное обоснование и разработка инновационных технологий комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья / С. А. Кондратьев, В. И. Ростовцев, Г. Р. Бочкарев, Г. И. Пушкарева, К. А. Коваленко // ФТПРПИ. 2014. № 5. С. 187—202.
16. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Минералогия горнопромышленных отходов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 5. С. 44—48.
17. Олейникова Г. А., Панова Е. Г. Нанотехнологический способ определения золота в горных породах, рудах и продуктах их переработки // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Материалы Всерос. конф. с международ. участием. Москва, 2010. Т. 2. С. 114—116.
18. Петровский В. А. Александр Котов — лучший геолог-поисковик России // Уральский геологический журнал. 2015.
19. Пирогов Б. И. Генетическая природа технологических свойств минералов руд // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2018): Материалы минералог. семинара с международ. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2018. С. 51—52.
20. Плаксин И. Н. Обогащение полезных ископаемых: Избранные труды. М.: Наука, 1970. С. 292—300.
21. Повышение магнитных свойств железосодержащих минералов при радиационно-термической обработке / Х. Ванг, Г. Р. Бочкарев, В. И. Ростовцев, Ю. П. Вейгельт, С. С. Лу // ФТПРПИ. 2004. № 4. С. 89—97.
22. Пономаренко А. Н., Брик А. Б., Дудченко Н. А., Лютоев В. П., Силаев В. И. Фазовые превращения в гематит-бемитовом боксите под воздействием электрических волн в восстановительной среде // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2013): Материалы минералог. семинара с международ. участием. Сыктывкар: Геопринт, 2013. С. 408—409.
23. Рейхард Л. Е. Коллоидное происхождение киммерийских оолитовых железных руд Таманского полуострова // Минералогические перспективы: Материалы международ. минералог. семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 263—264.

24. Ростовцев В. И. Теоретические основы и практика использования электрохимических и радиационных (ускоренных электронов) воздействий в процессах рудо-подготовки обогащения минерального сырья // Вестник ЧГУ. 2010. № 8. С. 91—99.

25. Силаев В. И. Красные, синие, желтые, зеленые // В краю, где поздняя весна: Литературный сб. Апатиты, 2013. С. 200—203.

26. Силаев В. И., Кокин А. В., Лютов В. П., Пискунова Н. Н., Симакова Ю. С., Филиппов В. Н. Природный алабандин как индикатор аномальной обстановки минерало- и рудообразования // Минеральный вид: структура, разнообразие, конституция минералов, кристаллогенезис и минералообразование, биоминеральные взаимодействия, эволюция минералообразующих процессов. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 77—102.

27. Силаев В. И., Кокин А. В., Пискунова Н. Н., Филиппов В. Н. Рудное месторождение, открытое под микроскопом // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 9 (1). С. 14—16.

28. Силаев В. И., Лютов В. П., Брик А. Б., Дудченко Н. А., Лысюк А. Ю. Джеспилиты Ингулекского месторождения и продукты их гипергенного изменения в связи с проблемой усовершенствования технологии переработки труднообогатимых железных руд // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. Вып. 1. С. 60—77.

29. Силаев В. И., Хазов А. Ф., Пискунова Н. Н. Оценка минеральных месторождений: химия, геохимия или минералогия // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2011. С. 35—47.

30. Тарбаев М. Б., Кузнецов С. К. Золотоносность Тимано-Североуральского региона // Горный журнал. 2007. № 3. С. 57—61.

31. Ткачев Ю. А. Плата за недра. СПб.: Наука, 1998. 168 с.

32. Туманов В. И. Все потерять и вновь начать с мечты. М.: Новости, 2004. 110 с.

33. Шумилов И. Х. Исследование процессов рудоподготовки и обогащения золотосодержащих пород проявления Чудного (Приполярный Урал) // Перспективные геотехнологии. СПб.: Наука, 2010. С. 254—284.

34. Юрк Ю. Ю., Шнюков Е. Ф., Лебедев Ю. С., Куриченко О. Н. Минералогия железорудной формации Керченского бассейна. Симферополь: Крымиздат, 1960. 450 с.

35. Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate / S. Yean, L. Cong, C. T. Yavuz, J. T. Mayo, W. W. Yu, A. T. Kan, V. L. Colvin, M. B. Tomson // Journal of Materials Research, 2005. Vol. 20. № 12. P. 3255—3264.

36. Prospects of electron accelerators used for realizing effective low-cost technologies of mineral processing / G. R. Bochkarev, V. A. Chanturiya, V. E. Vigdergauz, V. D. Lunin et al. // Proceedings of the the XX International Mineral Processing Congress, September 21—26, 1997, Aachen, Germany. Clausthal-Zellerfeld, GDMB, 1997. Vol. 1. P. 231—243.

37. Radiation-thermal treatment in ore dressing / M. V. Korobeinikov, A. A. Bryazgin, V. V. Bezuglov et al. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015. Vol. 81. P. 1—6.

38. Silaev V. I., Kokin A. V., Kiseleva D. V., Piskunova N. N., Lutoev V. P. New Potentially Industrial Type of Indium Sulfide-Manganese Ore // INDIUM: Properties, Technological Applications and Health Issues». Nova Science Publishers, Inc. 400 Oser Avenue, Suite 1600 Hauppauge, NY 11788-3619. 2013. P. 261—284.

39. Wang H., Lu S. Modifying effect of electron beam irradiation on magnetic property of ironbearing minerals // Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2014. Vol. 50, Iss. 1. P. 79—86.

References

1. Brik A. B., Ivanitskiy V. P., Dudchenko N. A., Pol'shin E. V., Vlaykov G. G. *Fazovyy sostav tabachnykh rud Kerchenskogo zhelezorudnogo basseyna i vozmozhnost' ikh omagnichivaniya. Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya — 2014): Materialy mineralogicheskogo seminara s mezhdunarodnym uchastiyem* (The phase composition of tobacco ores in the Kerch iron ore basin and the possibility of their magnetization. Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin memorial seminar — 2014): Proceedings of the mineralogical seminar with international participation). Syktyvkar: Geoprint, 2014, pp. 248—249.

2. Zakrutkin V. V. *Anabarskiy shehit* (Anabarsky shield). Rostov Publishing house, 1973, 220 pp.

3. Ievlev A. A. *Istoriya i perspektivy dobychi zolota v Respublike Komi* (History and Prospects for Gold Mining in the Komi Republic). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)*, 2011, pp. 341—344.

4. Kokin A. V. *Mineralnyye assotsiatsii unikal'nykh alabandinykh rud Vostochnoy Yakutii* (Mineral Associations of Unique Alabandine Ores of Eastern Yakutia). *Struktura i raznoobraziye mineral'nogo mira: Materialy mezhdunarodnogo mineralogicheskogo seminara* (Structure and Diversity of the Mineral World: proceedings of the International Mineralogical Seminar.). Syktyvkar: Geoprint, 2008, pp. 393—394.

5. Kokin A. V., Silaev V. I., Kiseleva D. V., Filippov V. N. *Novyy potentsialno promyshlennyy sulfidno-indiyevo-margantsevy tip orudneniya* (A new potentially industrial sulfide-indium-manganese type of mineralization). *Doklady Earth Sciences*, 2010, V. 430, No. 3, pp. 372—377.

6. Koneev R. I. *Nanominalogiya zolota* (Nanomineralogy of gold). St. Petersburg: Delta, 2006, 218 pp.

7. Kotov A. A., Petrovskiy V. A., Sukharev A. Ye. *Vvedeniye v «noveyshuyu» geologiyu. Kristallicheskiye i tverdoe nekristallicheskiye sostoyaniye mineral'nogo veshchestva: Materialy mineralogicheskogo seminara s mezhdunarodnym uchastiyem* (Introduction to the «newest» geology. Crystalline and solid non-crystalline state of the mineral substance: Materials of the mineralogical seminar with international participation). Syktyvkar: Geoprint, 2012, pp. 264—266.

8. Kotova O. B., Ozhogina Ye. G., Rogozhin A. A. *Interventsiya mineralogii v tekhnologii pererabotki trudnoobogatimyykh poleznykh iskopayemykh. Sovremennyye problemy kompleksnoy pererabotki trudnoobogatimyykh rud i tekhnogennoy syr'ya (Plaksinskiye chteniya — 2017): Materialy mezhdunarodnoy nauch. konf* (Intervention of mineralogy in the technology of processing of difficult minerals. Modern problems of complex processing of hard ores and technogenic raw materials (Plaksin readings — 2017): Materials of international scientific. conf). Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2017, pp. 10—13.

9. Kotova O. B., Razmyslov I. N., Rostovtsev V. I., Silaev V. I. *Radiatsionno-termicheskoye modifikirovaniye zhelezistykh boksitov v protsessakh ikh pererabotki* (Radiation-thermal modification of ferruginous bauxites in the processes of their processing). *Obogashcheniye rud*, 2016, No. 4, pp. 3—9.

10. Leshkov V. G. *Rossiyskoye zoloto — gosudarstvennaya i staratelskaya dobycha (1719—2007)* (Russian gold — state and

prospecting mining (1719—2007)). Moscow: Gornaya kniga, 2008, 206 pp.

11. Lyutov V. P., Granovskaya N. V., Silaev V. I., Kocherigin A. V., Lysyuk A. Yu. *Svoystva i nanomineralogicheskiye kriterii tekhnologicheskoy otsenki prirodnnykh ul'tradispersnykh pigmentov. Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh i problemy raskrytiya mineralov* (Properties and Nanomineralogical Criteria for Technological Evaluation of Natural Ultrafine Pigments. Mineralogical and Technological Evaluation of Mineral and Mineral Deposits mineral disclosure problems). Petrozavodsk: Karelian SC UB RAS, 2011, pp. 50—63.

12. Lyutov V. P., Lysyuk A. Yu., Silaev V. I. *Mikro-nanomineralogicheskiye tayny prirodnnykh pigmentov* (Micro-nanomineralogical secrets of natural pigments). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2010, No. 9, pp. 18—20

13. Lyutov V. P., Silaev V. I., Lysyuk A. Yu., Shevchuk S. S. *Kerchenskiye oolitovyye zheleznyye rudy i vozmozhnosti ikh tekhnologicheskoy modifikatsii* (Kerch Oolitic Iron Ores and the Possibilities of Their Technological Modification). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2011, No. 1, pp. 18—29.

14. Lyutov V. P., Silaev V. I., Ponomarenko A. N., Brik A. B., Dudchenko N. A., Yushin A. A., Lysyuk A. Yu., Shevchuk S. S. *Preobrazovaniye struktury prirodnnykh oksidov/oksidirovannykh zheleza pri vosstanovlenii oksidnykh zhelezooksidnykh rud* (Transformation structures of natural oxides/ oxyhydroxides of iron in the reduction of oxidized iron oxide ores). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2013, No. 1, pp. 20—25.

15. *Nauchnoye obosnovaniye i razrabotka innovatsionnykh tekhnologiy kompleksnoy pererabotki trudnoobogatimnykh rud i tekhnogennogo syr'ya* (Scientific substantiation and development of innovative technologies for complex processing of refractory ores and technogenic raw materials). S. A. Kondrat'yev, V. I. Rostovtsev, G. R. Bochkarev, G. I. Pushkareva, K. A. Kovalenko. FTPI, 2014, No. 5, pp. 187—202.

16. Ozhogina Ye. G., Kotova O. B., Yakushina O. A. *Mineralogiya gornopromyshlennyykh otkhodov* (Mineralogy of mining wastes). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018, No. 5, pp. 44—48.

17. Oleynikova G. A., Panova Ye. G. *Nanotekhnologicheskiy sposob opredeleniya zolota v gornyykh porodakh, rudakh i produktakh ikh pererabotki. Samorodnoye zoloto: tipomorfizm mineral'nykh assotsiatsiy, usloviya obrazovaniya mestorozhdeniy, zadachi prikladnykh issledovaniy: Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* (Nanotechnological method for determining gold in rocks, ores and products of their processing. Native Gold: Typomorphism of Mineral Associations, Conditions for the Formation of Deposits, Problems of Applied Research: Materials of the All-Russian Conference with International Participation). Moscow, 2010, V. 2, pp. 114—116.

18. Petrovskiy V. A. *Aleksandr Kotov — luchshiy geolog-poiskovik Rossii* (Alexander Kotov - the best search geologist in Russia). Uralskiy geologicheskii zhurnal, 2015.

19. Pirogov B. I. *Geneticheskaya priroda tekhnologicheskikh svoystv mineralov rud. Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya — 2018): Materialy mineralogicheskogo seminar s mezhdunarodnym uchastiyem* (The genetic nature of the technological properties of ore minerals. Modern Problems of Theoretical, Experimental and Applied Mineralogy (Yushkin memorial seminar — 2018): Proceedings of the mineralogical seminar with international participation). Syktyvkar: Geoprint, 2018, pp. 51—52.

20. Plaksin I. N. *Obogashcheniye poleznykh iskopayemykh: Izbrannyye trudy* (Mineral Processing. Selected Works). Moscow: Nauka, 1970, pp. 292—300.

21. *Povysheniye magnitnykh svoystv zhelezosoderzhashchikh mineralov pri radiatsionno-termicheskoy obrabotke* (Increasing the magnetic properties of iron-containing minerals during radiation-heat treatment). Kh. Vang, G. R. Bochkarev, V. I. Rostovtsev, Yu. P. Veygel't, S. S. Lu. FTPI, 2004, No. 4, pp. 89—97.

22. Ponomarenko A. N., Brik A. B., Dudchenko N. A., Lyutov V. P., Silaev V. I. *Fazovyye prevrashcheniya v gematitobomitovom boksite pod vozdeystviyem elektricheskikh voln v vosstanovitel'noy srede. Sovremennyye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy i prikladnoy mineralogii (Yushkinskiye chteniya — 2013): Materialy mineralogicheskogo seminar s mezhdunarodnym uchastiyem* (Phase transformations in hematite-boehmite bauxite under the influence of electric waves in a reducing environment. Modern problems of theoretical, Experimental and Applied Mineralogy (Yushkin memorial seminar — 2013): proceedings of the mineralogical seminar with international participation). Syktyvkar: Geoprint, 2013, pp. 408—409.

23. Reykhard L. Ye. *Kolloidnoye proiskhozhdeniye kimneriyskikh oolitovykh zheleznykh rud Tamanskogo poluostrova* (Colloidal origin of Cimmerian oolitic iron ores of the Taman Peninsula). Mineralogicheskiye perspektivy: Proceedings of seminar. Syktyvkar: Geoprint, 2011, pp. 263—264.

24. Rostovtsev V. I. *Teoreticheskiye osnovy i praktika ispol'zovaniya elektrokhimicheskikh i radiatsionnykh (uskorennykh elektronov) vozdeystviy v protsessakh rudopodgotovki obogashcheniya mineral'nogo syr'ya* (Theoretical foundations and practice of using electrochemical and radiation (accelerated electrons) effects in the processes of ore preparation of mineral raw materials enrichment). Vestnik CHGU, 2010, No. 8, pp. 91—99.

25. Silaev V. I. *Krasnyye, siniye, zheltые, zelenyye. V krayu, gde pozdnyaya vesna*. (Red, blue, yellow, green. In the edge, where the late spring). Literature Collection. Apatity, 2013, pp. 200—203.

26. Silaev V. I., Kokin A. V., Lyutov V. P., Piskunova N. N., Simakova Yu. S., Filippov V. N. *Prirodnyy alabandin kak indikator anomal'noy obstanovki mineralo- i rudoobrazovaniya. Mineralnyy vid: struktura, raznoobraziye, konstitutsiya mineralov, kristallogenezis i mineraloobrazovaniye, biomineralnyye vzaimodeystviya, evolyutsiya mineraloobrazuyushchikh protsessov* (Natural alabandin as an indicator of the anomalous situation of mineral and ore formation. Mineral species: structure, diversity, mineral constitution, crystallogenes and mineral formation, biomineral interactions, evolution of mineral-forming processes). Syktyvkar: Geoprint, 2012, pp. 77—102.

27. Silaev V. I., Kokin A. V., Piskunova N. N., Filippov V. N. *Rudnoye mestorozhdeniye, otkrytoye pod mikroskopom* (Ore deposit discovered under a microscope). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2010, No. 9 (1), pp. 14—16.

28. Silaev V. I., Lyutov V. P., Brik A. B., Dudchenko N. A., Lysyuk A. Yu. *Dzhespilit Ingulekskogo mestorozhdeniya i produkty ikh gipergennogo izmeneniya v svyazi s problemoy usovershenstvovaniya tekhnologii pererabotki trudnoobogatimnykh zheleznykh rud* (Jespilites of the Ingulek deposit and the products of their hypergenic change in connection with the problem of improving the technology of processing iron ores). Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya, 2014, 1, pp. 60—77.

29. Silaev V. I., Khazov A. F., Piskunova N. N. *Otsenka mineralnykh mestorozhdeniy: khimiya, geokhimiya ili mineralogiya. Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh i problemy raskrytiya mineralov* (Eval-

uation of mineral deposits: chemistry, geochemistry or mineralogy. Mineralogical and technological assessment of mineral deposits and problems of mineral disclosure). Petrozavodsk: Karelian SC UB RAS, 2011, pp. 35–47.

30. Tarbaev M. B., Kuznetsov S. K. *Zolotonosnosty Timano-Severouralskogo regiona* (The gold-bearing capacity of the Timan-North Ural region). Gorny gurnal, 2007, No. 3, pp. 57–61.

31. Tkachev Yu. A. *Plata za nedra* (Payment for mineral reserves). St. Petersburg: Nauka, 1998, 168 pp.

32. Tumanov V. I. *Vse poteryat i vnov nachat s mechty* (To lose everything and begin again with a dream). Moscow: Novosti, 2004, 110 .

33. Shumilov I. Kh. *Issledovaniye protsessov rudopodgotovki i obogashcheniya zolotosoderzhashchikh porod proyavleniya Chudnogo (Pripolyarnyy Ural). Perspektivnyye geotekhnologii* (Investigation of the processes of ore preparation and enrichment of gold bearing rocks of the manifestation of the Wonderful (Subpolar Ural). Promising geotechnologies). St. Petersburg: Nauka, 2010, pp. 254–284.

34. Yurk Yu. Yu., Shnyukov Ye. F., Lebedev Yu. S., Kirichenko O. N. *Mineralogiya zhelezorudnoy formatsii Kerchenskogo basseyna* (Mineralogy of the Kerch Ore Iron Ore Formation). Simferopol: Krymizdat, 1960, 450 pp.

35. Effect of magnetite particle size on adsorption and desorption of arsenite and arsenate. S. Yean, L. Cong, C. T. Yavuz, J. T. Mayo, W. W. Yu, A. T. Kan, V. L. Colvin, M. B. Tomson. Journal of Materials Research, 2005, V. 20, No. 12, pp. 3255–3264.

36. Prospects of electron accelerators used for realizing effective low-cost technologies of mineral processing. G. R. Bochkarev, V. A. Chanturiya, V. E. Vigdergauz, V. D. Lunin et al. Proceedings of the the XX International Mineral Processing Congress, September 21–26, 1997, Aachen, Germany. Clausthal-Zellerfeld, GDMB, 1997, V. 1, pp. 231–243.

37. Radiation-thermal treatment in ore dressing. M. V. Korobeinikov, A. A. Bryazgin, V. V. Bezuglov e. a. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015, V. 81, pp. 1–6.

38. Silaev V. I., Kokin A. V., Kiseleva D. V., Piskunova N. N., Lutoev V. P. New Potentially Industrial Tipe of Indium Sulfide-Manganese Ore. INDIUM: Properties, Technological Applications and Health Issues. Nova Science Publishers, Inc. 400 Oser Avenue, Suite 1600 Hauppauge, NY 11788-3619. 2013, pp. 261–284.

39. Wang H., Lu S. Modifying effect of electron beam irradiation on magnetic property of ironbearing minerals, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2014, V. 50, Iss. 1, pp. 79–86.