

типа. Не вызывает сомнений, что минерально-сырьевой комплекс России имеет большой потенциал освоения и развития, способный не только удовлетворить потребности отечественной промышленности, но и выйти с разнообразной редкометалльной продукцией на мировой рынок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Быховский, Л.З. Задачи дальнейшего изучения Томторского рудного поля с целью повышения его инвестиционной привлекательности / Л.З. Быховский, Е.И. Котельников, Е.Г. Лихникевич., В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 9. — С. 20–25.
2. Быховский, Л.З. Минерально-сырьевая база редких металлов Северо-Запада России — основа создания центра редкометалльной промышленности стран / Л.З. Быховский, В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 1 — С. 3–7.
3. Быховский, Л.З. Техногенные месторождения и образования редких металлов России / Л.З. Быховский, Л.В. Спорыхина, С.И. Ануфриева // Рациональное освоение недр. — 2014. — № 3. — С. 16–24.
4. Быховский, Л.З. Об определении понятия «редкие элементы» («редкие металлы»): исторический и терминологический аспекты / Л.З. Быховский, Л.П. Тигунов, А.В. Темнов // Минеральные ресурсы России. — 2015. — № 3. — С. 32–38.
5. Кременецкий, А.А. Редкометалльные месторождения России основные направления повышения их инвестиционной привлекательности / А.А. Кременецкий, Е.А. Калиш // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 9. — С. 3–11.
6. Машковцев, Г.А. Перспективы рационального освоения комплексных тантал-ниобий-редкоземельных месторождений России / Г.А. Машковцев, Л.З. Быховский, А.А. Рогожин, А.В. Темнов // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 9–13.
7. СМЗ. Годовой отчет за 2015 г. // Интернет-ресурс: [http://смз.рф/index/godovye\\_otchet/](http://смз.рф/index/godovye_otchet/)
8. Темнов, А.В. Сценарии реализации минерально-сырьевого потенциала комплексных редкометалльных месторождений Зиминского рудного района / А.В. Темнов, В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 7. — С. 54–60.
9. David, Abraham. The elements of power: guns, gadgets and the struggle for a sustainable future in the rare metal age — Yale University Press / Abraham David. — 2016. — 288 p.

© Коллектив авторов, 2016

Быховский Лев Залманович // [pikalova@vims-geo.ru](mailto:pikalova@vims-geo.ru)  
Левченко Елена Николаевна // [levchenko@imgre.ru](mailto:levchenko@imgre.ru)  
Онтоева Татьяна Дмитриевна // [ontoeva@vims-geo.ru](mailto:ontoeva@vims-geo.ru)  
Пикалова Варвара Сергеевна // [pikalova@vims-geo.ru](mailto:pikalova@vims-geo.ru)  
Рогожин Александр Алексеевич // [rogojin@df.ru](mailto:rogojin@df.ru)

УДК 550.84

Спирidonov И.Г., Килипко В.А., Левченко Е.Н., Ключарев Д.С. (ФГУП «ИМГРЭ»)

#### ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОХИМИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ И ПОИСКИ НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ НЕТРАДИЦИОННОГО РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ

В статье приведены основные результаты работ ИМГРЭ в области региональных геохимических исследований, экологической геохимии, геохимических поисков нефтегазовых месторождений, геохимии Арктики. Дан обзор нетрадиционных источников редкометалльного сырья, показана их роль в формировании МСБ редких металлов России. Приведены основные характеристики нетрадиционных источников редких металлов, показаны результаты экспериментальных исследований по извлечению редких металлов, оценены перспективы и возможности освоения. **Ключевые слова:** прикладная геохимия, региональные геохимические исследования, редкие металлы, нетрадиционные источники редкометалльного сырья.

Spiridonov I.G., Kilipko V.A., Levchenko E.N., Klyucharev D.S. (IMGRE)

#### THE MAIN GOALS OF GEOCHEMICAL MAPPING AND A SEARCH OF NON-CONVENTIONAL SOURCES OF RARE METAL RAW MATERIALS

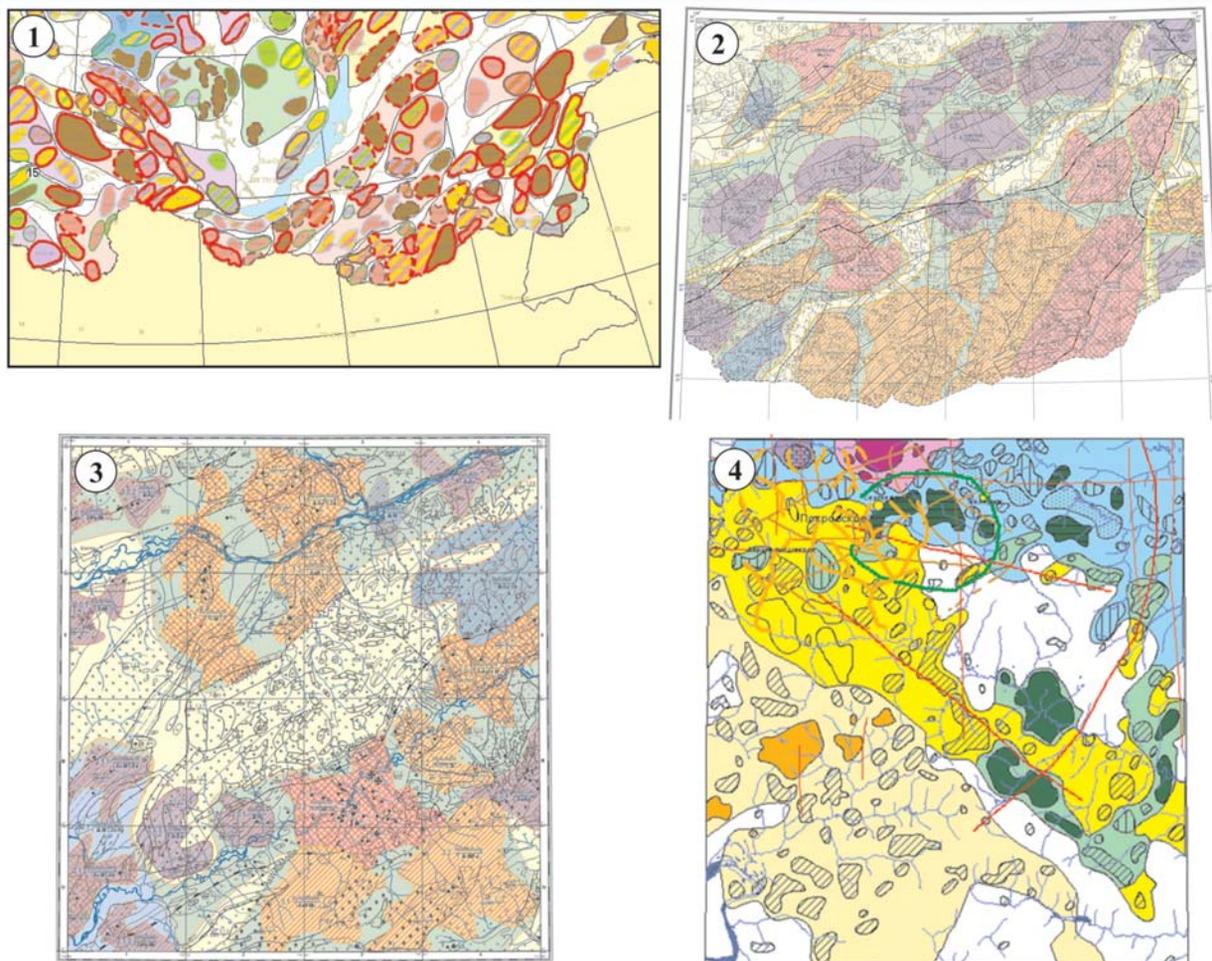
*The article presents main results of the work IMGRE in regional geochemical research, environmental geochemistry, geochemical prospecting of oil and gas deposits, geochemistry of the Arctic. An overview of non-conventional sources of rare-metal raw materials, their role in the formation of the mineral resource base of rare metals of Russia. The main characteristics of alternative sources of rare metals, the results of experimental studies on extraction of rare metals, estimated the prospects and possibilities of development* **Keywords:** applied geochemistry, regional geochemical survey, rare metals, non-conventional sources of rare metal raw materials.

Важнейшими направлениями деятельности Федерального государственного унитарного предприятия «Институт минералогии геохимии и кристаллохимии редких элементов» (ФГУП «ИМГРЭ») являются: развитие научных основ прикладной геохимии, проведение в составе региональных геолого-геохимических и геологосъемочных работ опережающих и специализированных видов исследований (экогеохимических, геолого-минералогических, космогеохимических и др.), а также мониторинг, комплексная опытно-методическая разработка, апробация, освоение и внедрение инновационных методов и технологий геологоразведочных работ, обогащения и переработки редкометалльного сырья, разработка и актуализация требований к качеству минерального сырья [8]. ФГУП «ИМГРЭ» является уникальным базовым научно-производственным предприятием геологической службы России, специализированным на проведении полного комплекса геологоразведочных работ — от региональных геолого-съемочных до поисковых.

В последние годы в сферу деятельности ФГУП «ИМГРЭ» вошли работы по геохимии Арктики и Арктического шельфа, а также методы геокосмического зондирования и исследования нетрадиционных источников редкометалльного сырья.

Результаты проводимых в России и за рубежом геологоразведочных работ показали особо важную роль регионального геохимического изучения территорий как метода, позволяющего выделять минералогические объекты различного ранга, перспективные на выявление месторождений полезных ископаемых [3]. Геохимические методы являются прямыми методами прогноза, позволяющими по следам того же вещества, образующего ископаемое месторождение полезных ископаемых, выйти на место его концентрации даже в случае отсутствия признаков оруденения на поверхности. Геохимические методы поисков — количественные методы, оперирующие численными показателями содержания химических элементов в горных породах, вмещающих месторождения полезных ископаемых. Немаловажным преимуществом геохимических методов поисков является возможность комплексной оценки территории (ресурсная, экологическая, минералогическая).

Целью региональных геохимических работ является создание геохимических основ для Госгеолкарты-1000/3 и -200/2 в полистном исполнении, в рамках топографических



**Рис. 1. Результаты разномасштабных геохимических работ на территории России:** 1 — фрагмент карты аномальных геохимических полей территории России м-ба 1:2 500 000; 2 — геохимическая основа листа М-49 м-ба 1:1 000 000; 3 — геохимическая основа листа М-50-III м-ба 1:200 000; 4 — геохимическая модель рудного объекта м-ба 1:50 000.

трапеций принятой разграфки м-бов 1:1 000 000 и 1:200 000 в соответствии с принятой концепцией регионального геологического изучения территории РФ. Возможна также постановка опережающих геохимических работ в рамках геолого-минерагенического картирования на минерагенических и рудных объектах.

Региональное геохимическое изучение территорий решает следующий круг задач: оценка степени и достоверности геохимической изученности, качества исходной геохимической информации; районирование территорий по условиям проведения геохимических работ; получение геохимических характеристик геологических образований, оценка их геохимической и минерагенической специализаций для уточнения геологических карт и повышения прогностических свойств Государственной геологической карты м-бов 1:1 000 000 и 1:200 000 (новая серия); уточнение границ известных и прогнозирование рудных районов, узлов и полей с оценкой их прогнозных ресурсов кат.  $P_3$  и  $P_2$  по геохимическим данным; разработка рекомендаций по постановке поисковых работ на выделенных перспективных площадях; выявление и оконтуривание зон и участков техногенного загрязнения природной геологической среды токсичными химическими элементами и площадей с аномальными природными концентрациями токсичных химических элементов.

К настоящему времени по результатам выполненных региональных геохимических работ специалистами ФГУП «ИМГРЭ» подготовлены цифровые карты районирования территории по условиям ведения геохимических работ м-ба 1:2 500 000, отображающие разнообразие районов различных условий проведения геохимических работ и закономерности их размещения на территории страны. В пределах выявленных районов целесообразно проведение геохимических работ для решения различных прикладных задач: оценки геохимической специализации геологических образований; прогноза минерально-сырьевого потенциала; оценки эколого-геохимической обстановки. Выделенные единицы районирования характеризуются одинаковой доступностью для прямого опробования коренных пород; целесообразностью и эффективностью геохимических методов прогнозирования и поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния; однонаправленностью гипергенных геохимических процессов и их сочетанием (совместимостью) с техногенными потоками; природной предрасположенностью территории к формированию биогеохимических азональных и зональных провинций, т.е. природной экологической опасностью.

На территории России выделено 837 минерагенических зон различного уровня ресурсности и районы, потенциаль-

но перспективные на выявление месторождений углеводородов, благородных, редких, цветных и черных металлов. Карта минерагенического районирования территории России охватывает 180 высокоресурсных минерагенических зон, 427 — умеренноресурсных, 70 — потенциально высокоресурсных, 125 — потенциально умеренноресурсных и 35 зон неоцененной ресурсности. Выявлено более 100 потенциальных рудных районов, на территориях которых оценка суммарного потенциала основных полезных ископаемых составляет: Au — 6 630 т, Ag — 49 060 т, Pt — 300 т, Cu — 8 млн. т, Zn — 10 млн. т, Pb — 10 млн. т, Mo — 1 390 тыс. т, Sn — 2 100 тыс. т, W — 920 тыс. т, U — 710 тыс. т, Hg — 214,3 тыс. т, Be — 55 тыс. т, Bi — 27,2 тыс. т.

В рамках обеспечения Государственных информационных систем в ФГУП «ИМГРЭ» создана информационно-аналитическая система сбора, хранения, обработки и представления геохимической информации на основе полнотных банков данных геохимических основ, банка геохимической изученности России и банка данных геохимических аномалий в системе Arc GIS. Весь собранный объем картографической информации представляет собой комплект карт полного масштабного ряда — от обзорных до детальных (рис. 1). Таким образом, специалистами института созданы комплекты обзорных и мелкомасштабных карт для постановки прогнозно-поисковых работ м-бов 1:200 000–1:50 000 с перспективами выявления месторождений стратегических, дефицитных и высоколиквидных полезных ископаемых.

Работы в области эколого-геохимических исследований доказывают, что самые серьезные негативные эколого-геохимические последствия связаны с функционированием крупных промышленных узлов (Нижегородский, Иркутско-Черемховский, Хабаровский, Владивостокский и т.д.); разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых в районах активной горнодобывающей деятельности (Кировский, Мамско-Бодайбинский, Хапчангский, Дальнегорско-Кавалеровский, Норильский горнопромышленные районы и т.д.); дана оценка вклада и влияния источников загрязнения природной среды U, As, Pb, F, Hg, Sb и другими токсичными элементами на общее экологическое состояние территорий.

Сокращение площади арктического ледового покрова привело к активному освоению Арктического региона и сопредельных территорий как перспективных провинций на выявление крупных и, возможно, уникальных по запасам промышленных месторождений нефти и газа. Для повышения эффективности прогнозно-поисковых работ в институте была разработана и апробирована на нефтегазовых месторождениях Красноярского края и Иркутской области поисковая модель миграции углеводородов от залежи к поверхности, опирающаяся на дифференцированное поведение углеводородов различных групп. На основе практических резуль-

татов разработана и предложена к апробации методика, позволяющая проводить геохимические поиски месторождений углеводородного сырья.

Значимый вклад внесен учеными ФГУП «ИМГРЭ» в составление разномасштабных геолого-геохимических карт и моделей циркумполярной Арктики и российского полярного сектора Арктики с целью обоснования расширения внешней границы континентального шельфа РФ, а также прогнозирования площадей, перспективных на углеводороды и твердые полезные ископаемые [5]. Итогом проведенных исследований явились: карта структурно-вещественных комплексов (СВК), геолого-геохимическая модель эволюции циркумполярной Арктики, морфоструктурная карта и схема укрупненного морфоструктурного районирования циркумполярной Арктики, схема районирования потенциальных полей циркумполярной Арктики. Специалистами института были получены новые данные по изотопно-геохимическим характеристикам пород, установлен различный возраст (U-Pb датировки циркона) магматических пород глубоководного ложа Северного Ледовитого океана и Срединно-Атлантического хребта, на основании изотопных характеристик (Sm/Nd,  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ ) и распределения РЗЭ оценены различные источники основных магматических пород. Составленная геохимическая карта российского полярного сектора Арктики стала органичным дополнением геохимической карты территории России м-ба 1:2 500 000 (рис. 2). Проведенный в пределах российского сектора Арктики комплекс работ позволяет утверждать, что глубоководное ложе Амеразийского бассейна Северного Ледовитого океана и, в частности, подводный хребет Ломоносова и поднятие Менделеева являются естественным продолжением российской части материковой Евразии.

Важной составляющей производства геологоразведочных работ является их научно-методическое обеспечение и сопровождение. Только за последнее десятилетие специалисты ФГУП «ИМГРЭ» вели работы на десятках объектов, финансируемых за счет федерального бюджета (рис. 3) на редкие металлы (редкие земли, цирконий, литий, германий, стронций, рений), а также сурьму.

В ходе работ выполнялась подготовка методической документации по поискам и оценке редкометалльных

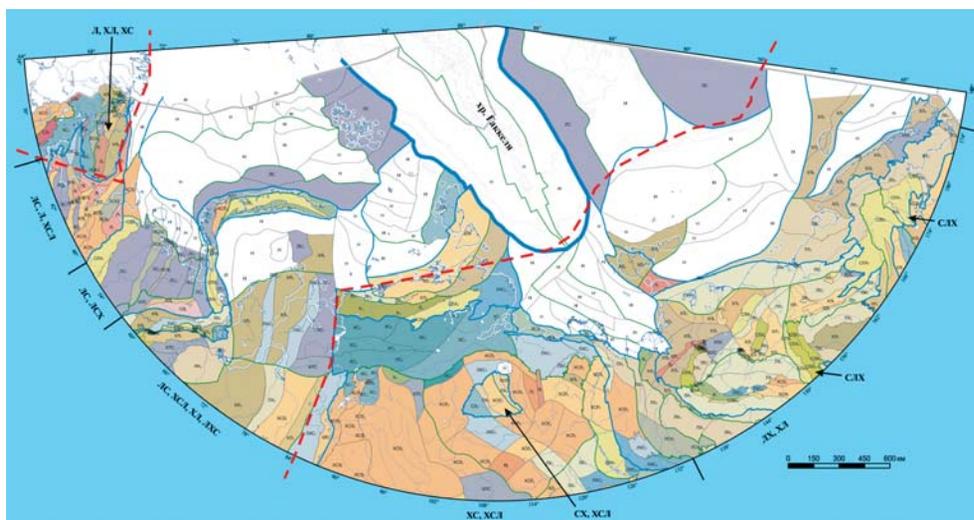


Рис. 2. Геохимическая карта российского полярного сектора Арктики, м-б 1:2 500 000



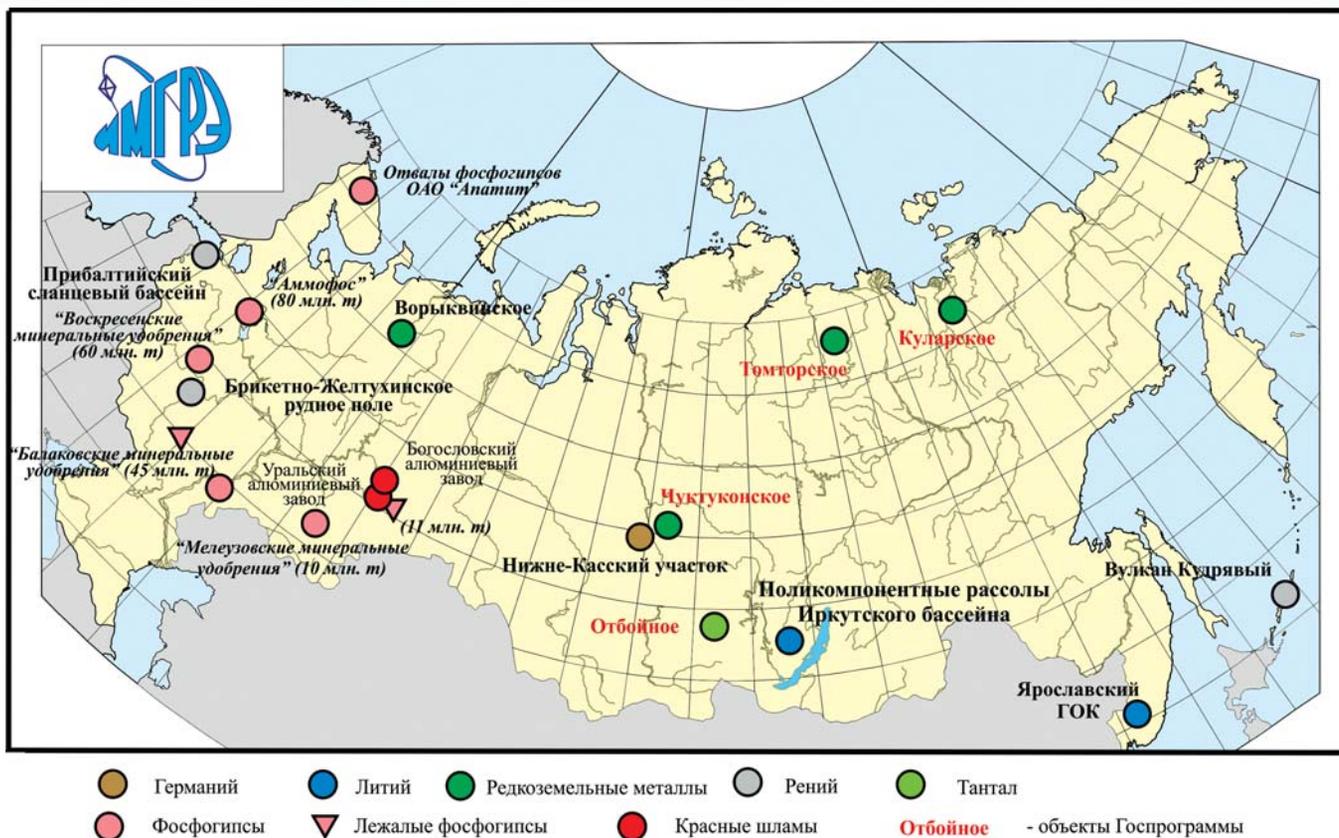


Рис. 4. Нетрадиционные источники редкометалльного сырья

шламы; углеродсодержащие сланцы (в т.ч. диктионемовые), содержащие редкие элементы, в том числе редкоземельные металлы, рений, ванадий; руды урановых пластово-инфильтрационных месторождений, часто значительно обогащенные рением; металлоносные сублиматы современных вулканов; германиеносные перотложенные лигниты; глубокозалегающие поликомпонентные рассолы; стратиформные эпигенетические месторождения стронция в карбонатных и сульфатных породах [10] (рис. 4).

Являясь сырьем на алюминий и галлий, до последнего времени бокситы не рассматривались в качестве потенциального источника редкоземельных металлов. Тем не менее, для ряда бокситовых месторождений характерны повышенные содержания редких металлов. Потенциальным источником редких металлов могут стать бокситы Тимана, где содержания РЗМ варьируют от 33 до 1007 г/т, скандия — до 72,65 г/т (Сосьвинское). При потенциально промышленном содержании суммы  $РЗЭ+У \geq 500$  г/т по бокситам, вмещающим и подстилающим породам [9], средние содержания РЗМ в бокситах Ворыквинской площади достигают 1300 г/т, достигая 3800–7900 г/т.

При получении глинозема из тиманских бокситов до 90 % ниобия и РЗМ вместе со скандием независимо от минерального состава бокситов и формы нахождения в них названных металлов концентрируется в красных шламах. В последние годы красные шламы стали рассматриваться как возможное сырье для получения комплекса металлов, в том числе и редкоземельных. Известны возможные технологические решения для практически безотходной утилизации «красного шлама» [7].

Еще одним потенциальным источником редких металлов могут стать углеродсодержащие сланцы [4]. Редкометалльное оруденение в граптолитовых аргиллитах Прибалтийского бассейна (диктионемовых сланцах) характеризуется низкой контрастностью, в целом сохраняясь на одном уровне по всему пласту. Рений в диктионемовых сланцах концентрируется в сульфидных минералах (пирите, марказите, халькопирите, галените в виде примеси (0,4–2,1 г/т)), часть рения присутствует в породе в рассеянном состоянии, не образуя собственных минеральных форм и на органической составляющей сланцев [2]. Применительно к диктионемовым сланцам Прибалтийского бассейна разработано множество технологических решений, позволяющих извлекать комплекс содержащихся в сланцах металлов.

Повышенные концентрации рения, скандия, редкоземельных металлов отмечены в пластово-инфильтрационных месторождениях урана [11]. Редкие металлы в объектах этого типа концентрируются в органическом веществе, глинистых минералах и сульфидах вмещающих пород, а также находятся в растворенной форме в металлоносных растворах. Содержания рения в рудах Брикетно-Желтухинского месторождения — 0,005–3,3 г/т. Рений образует тела в подошвенной части сероцветной толщи палеодолин. Размах оруденения, оконтуренного по среднему содержанию  $Re > 0,5$  г/т, достигает 30 м. Максимальные содержания рения связаны с сульфидами (табл. 1) и, в меньшей степени, с углистым веществом. В органическом веществе рений находится в составе элементоорганических соединений.

Специфика руд позволяет извлекать рений при подземном выщелачивании, как это осуществляется на урановых

**Таблица 1**  
**Содержание основных полезных компонентов в рудах Брикетно-Желтухинского месторождения**

Порода	Re, г/т	Mo, г/т	U, г/т	Интервал, м
Песок черный углистый мелкозернистый	3,22	70,32	54,63	71,6–71,6
Глина черная	5,12	33,87	33,29	61,9–62,15
Уголь черный с сульфидной конкрецией	637,27	н/д	н/д	58,9–58,95
Песок черный углистый	20,81	н/д	н/д	58,1–58,7
Песок светло-серый	16,01	н/д	н/д	58,7–58,9
Песок черный углистый	12,05	н/д	н/д	88,5–89,0

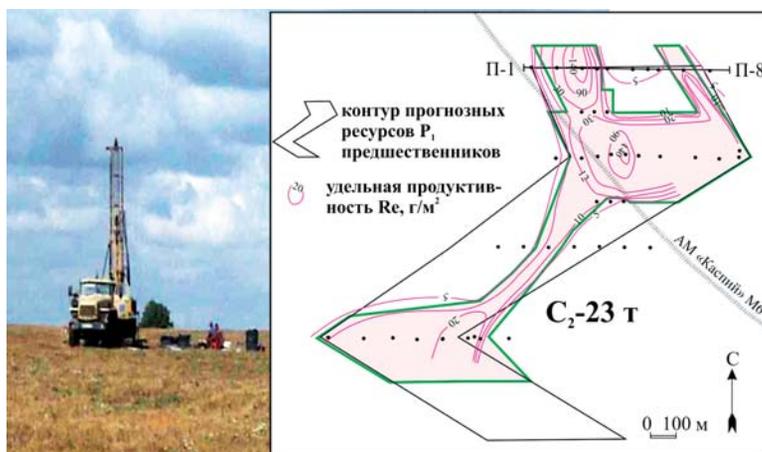
рудах в Узбекистане. По результатам поисково-оценочных работ, проведенных ИМГРЭ в 2013–2015 гг., утверждены запасы рения на Брикетно-Желтухинском месторождении (протокол ГКЗ № 4591 от 16.06.2016) (рис. 5).

Возможным источником рения могут стать породы областей развития современного вулканизма, фумарольные газы вулканов, ренийсодержащие воды термальных источников. На территории Курильских островов выявлено около 20 проявлений рениевой минерализации самых различных типов, охватывающих возрастную диапозон от позднего миоцена до голоцена включительно. В металлоносных сублиматах активных вулканов (вулкан Кудрявый) среднее содержание рения составляет 0,9–44 г/т; кроме рения в сублиматах присутствует германий и другие металлы. Важной особенностью локализации рениевого оруденения на фумарольных полях вулкана Кудрявый является наличие довольно широкого диапазона температур, с которыми связаны повышенные концентрации рения. Молибденит, являясь одной из преобладающих рудных фаз, содержит до 7 % (в среднем около 3–4,5 %) рения и присутствует как в свободном виде, так и в виде включений разного размера в основной массе пород. Собственный минерал рения — рениит образует в сублиматах мелкие пластинчатые включения, агрегаты с другими минералами. Несмотря на высокие содержания рения (более 60 %), рениит является скорее минералогической редкостью, практически не играя значимой роли в рудоносности. В 2012–2013 гг. на вулкане Кудрявый были проведены работы, ориентированные на изучение рениевой минерализации в вулканогенных образованиях. Лабораторные исследования материала отобранных проб показали, что содержание рения варьирует в широких пределах — от 15 до 287 г/т, в среднем составляя 108 г/т. Особенности руд позволяют отнести их к труднообогатимым, что объясняется значительной примесью железа в вулканическом стекле андезитового состава и микрострастаниями ренийсодержащего молибденита с пузырьчатым стеклом, что затрудняет получение концентрата традиционным методом — флотацией. Дальнейшие экспериментальные исследования показали возможность извлечение рения прямым выщелачиванием [6]. Опытным путем было установлено, что при кислотном выщелачивании извлечение рения из пород достигает 60 %, при щелочном — существенно ниже (40–45 %), но равновесие рений-молибден смещается к рению, обеспечивая больший его выход. Среднее содержание рения в

металлоносных сублиматах достигает 30 г/т, а общие ресурсы в приповерхностном слое могут достигать 2,7 т.

Перспективным нетрадиционным типом месторождений германия могут стать лигниты, обнаруженные в бассейнах рек Кас и Сым (Красноярский край). Мощность рудоносной толщи составляет 40–140 м. Тела германиевых руд представляют собой пласты разнозернистых, слабо литифицированных песчаников, наспигованных обломками углифицированных древесных остатков — лигнитов. Рудные тела характеризуются неравномерным распределением по разрезу и формируют серии сближенных тел — лигнитоносные горизонты. В пределах рудоносной толщи выделено 5 горизонтов. Содержание лигнитов в пластах изменяется как по разрезу, так и по простиранию от 1 до 44 % (в среднем 8 %). Мощность рудоносных горизонтов колеблется от 0,8 до 7,3 м, количество рудных тел — от 1 до 6. Мощность рудных тел изменяется от 0,3 до 2,6 м (в среднем 0,8 м). Лигнитоносные тела разделены прослоями и линзами песчаников, гравелитов и аргиллитов. Содержание германия в лигнитах варьирует от 3 до 640 г/т. По своему составу лигниты близки к германиеносным бурым углям, что позволяет для получения германиевого концентрата использовать технологии, аналогичные буругольным. Кроме того, можно непосредственно выщелачивать германий из лигнитов. Выход металла в раствор составляет около 85 %. При научно-методическом сопровождении ФГУП «ИМГРЭ» в лигнитах Касской впадины апробированы и поставлены на учет прогнозные ресурсы германия, что послужило основанием к продолжению работ и утверждению запасов германия в ГКЗ.

Поликомпонентные рассолы — один из основных видов гидроминерального сырья, включающий попутные подземные минерализованные воды, получаемые при отработке нефтегазоносных месторождений (а также шахтные и прочие минерализованные воды). Поликомпонентные рассолы содержат ряд остродефицитных элементов, включая Li, I, Br, Mg и др. Для мировой практики характерно использование поверхностной и близповерхностной рапы соляров и соляных озер (CO<sub>3</sub>)-Cl-(K)-(Mg)-Na гидрохимического типа и рапы соляных озер (SO<sub>4</sub>)-Cl-(Mg)-Na типа. Между тем на территории России есть потенциально перспективные источники гидроминерального литиевого сырья — глубокозалегающие подземные хлоридные рассолы. Минерализованные воды, связанные



**Рис. 5. Схематический план подсчета запасов Re на Брикетно-Желтухинском месторождении по принятым кондициям**

с соленосными отложениями Ангаро-Ленского бассейна (Иркутская область), частью которого является Знаменское месторождение, представляют собой практически единое по масштабам месторождение каменной соли. Минерализованные воды, сопровождающие соленосные месторождения, содержат промышленные концентрации (табл. 2) полезных компонентов, таких как литий, бром, стронций, калий, магний и др.

В настоящее время запасы гидроминерального сырья учтены на Знаменском месторождении (протокол МПР РФ ТКЗ Иркутской области № 670 от 11.02.2005 г.). Среднее содержание лития в рассолах составляет 0,42 г/л. Рассолы Знаменского месторождения содержат **до 400 мг/л лития**, а также другие полезные компоненты. Скважина на месторождении является самоизливающейся с давлением на устье 180 атм. На базе утвержденных запасов промышленных вод уже более 13 лет действует опытное производство, продукцией которого является кальций-магниевая основа для производства антигололедного реагента. Комплекс ревизионно-поисковых работ, выполненных в 2012–2014 гг., позволил разработать поисковые критерии на гидроминеральное сырье, выделить перспективные на гидроминеральное сырье участки, локализовать прогнозные ресурсы лития. Так, прогнозные ресурсы лития Балаганкинского участка превышают 20 тыс. т, распределяясь в пропорции 2:3 между породами подсолевого карбонатного комплекса и терригенными породами. Разработанные российскими учеными методы извлечения полезных компонентов из рассолов позволяют рассматривать глубокозалегающие минерализованные рассолы как перспективное сырье на литий и комплекс сопутствующих элементов.

Основным промышленным сырьем в мире на стронций являются целестин ( $\text{SrSO}_4$ ) и стронцианит ( $\text{SrCO}_3$ ), которые встречаются в значительных концентрациях и могут иметь самостоятельное промышленное значение. В России более 95 % балансовых запасов стронция связано с

**Таблица 2**  
Средние содержания полезных компонентов рассолов по перспективным участкам галогенно-карбонатной формации юга Сибирской платформы

Участок	Среднее содержание компонентов*, мг/л					
	Li	Mg	Sr	Br	B	I
Знаменский	366	28000	2770	10620	92,4	—
Космический	—	12000	—	5130	—	—
Омолойский	460	42190	1016	12600	8	4
<b>Балаганкинский</b>	<b>250</b>	15200	4100	9450	110	6
Тутурский	700	71136	—	11066	58	6,8
Ковыктинский	78	41951	909	4100	—	6,2
Верхоленский	280	9728	2700	6500	234	16

\* по материалам исследований глубоких скважин

**Таблица 3**  
Усредненный химический состав технологической пробы

$\text{SiO}_2$	4,47	$\text{MgO}$	14,86	$\text{H}_2\text{O}$	0,33
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,59	$\text{Na}_2\text{O}$	0,07	п.п.п.	37,86
$\text{TiO}_2$	0,05	$\text{K}_2\text{O}$	0,24	$\text{S}_{\text{общ}}$	0,79
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,45	$\text{P}_2\text{O}_5$	0,02	$\text{SrO}$	6,49
$\text{CaO}$	29,60	$\text{MnO}$	0,01	Сумма	95,83

апатит-нефелиновыми рудами Хибин, обеспеченность по уровню потребности РФ за счет которых превышает 100 лет. Однако, как известно, стронций из этого вида сырья в настоящее время не извлекается, хотя промышленная технология разработана. Важной задачей развития МСБ России до 2020 г. является вовлечение в эксплуатацию месторождений стронция нетрадиционных геолого-промышленных типов — целестинсодержащих известняков, которые могут использоваться в металлургической промышленности. Химический состав целестиновых известняков колеблется в широких пределах и характеризуется наличием сульфата и оксида стронция, оксидов кальция и магния, повышенным содержанием кремнезема (табл. 3).

Повышенное содержание серы и кремнезема не отвечает требованиям металлургического производства. В то же время, наличие оксидов стронция и магния может внести дополнительные преимущества при использовании целестинового известняка в качестве флюса. Разработана схема комплексной переработки руд и исследована в опытно-промышленных условиях возможность их использования в черной металлургии для прямого легирования стали и одновременно в качестве флюса ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ). В укрупненных лабораторных условиях получены агломераты и окатыши с вводом в шихту целестинового известняка. Результаты исследований показали, что замена в аглошихте части обычного известняка целестинсодержащим в количестве 20–100 кг на 1 т агломерата повышает прочность агломерата. Новое направление использования целестинсодержащих известняков позволяет повысить инвестиционную привлекательность объекта и привлекательность стронцийсодержащего минерального сырья. По результатам поисково-оценочных работ, проведенных ФГУП «ИМГРЭ» в 2012–2014 гг., утверждены запасы целестинсодержащих известняков Верхнеустьевского месторождения (протокол ГКЗ № 4185 от 21.05.2015 г.).

Неохваченными остались техногенные месторождения редкометалльного сырья, ряд из которых также может быть перспективными за счет отсутствия затрат на создание транспортной и энергетической инфраструктуры, необходимости извлечения руд из недр и их пробоподготовки. К перспективным источникам редких металлов можно отнести отвалы производства фосфорных удобрений (фосфогипсы), «красные» и «белые» шламы глиноземного производства, отвалы месторождений, разрабатываемых на другие компоненты [1].

В современных мировых условиях разрабатываемые существующие месторождения редких металлов не всегда могут удовлетворить растущие запросы промышленности по соотношению «затраты — результат». Освоение новых месторождений, как правило, связано со значительными финансовыми затратами на разведку, создание сопутствующей инфраструктуры, разработку технологических схем, организацию логистики. Все это отодвигает сроки получения продукции на длительную перспективу, а в случае нестабильных цен — часто навсегда.

Выполнение всего комплекса исследований — от геохимического изучения и поисков в последовательных масштабах до заверки выявленных аномалий и поисковых работ — позволяет локализовать новые территории и объекты, характеризующиеся лучшими перспективами, расположенные в более благоприятных инфраструктурных условиях, чем уже известные. Освоение нетрадиционных

(разрабатываемые нефтяные, угольные, сланцевые и бокситовые месторождения) и техногенных (золы и шлаки угольной промышленности, красные шламы, отходы нефтепереработки, хвостохранилища обогатительных фабрик) источников редких металлов позволяет значительно сократить временной интервал до начала производства товарной продукции и минимизировать общее экологическое воздействие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Быховский, Л.З.* Техногенные месторождения и образования редких металлов России / Л.З. Быховский, Л.В. Спорыхина, С.И. Ануфриева // Рациональное освоение недр. — 2014. — № 3. — С. 14–22.
2. *Вялов, В.И.* Редкоземельные металлы в дикионемовых сланцах и оболовых песчаниках Прибалтийского бассейна / В.И. Вялов, Е.Г. Панова, Е.В. Семенов // Руды и металлы. — 2014. — № 1. — С. 30–35.
3. *Гусев, Г.С.* Минерагенический потенциал недр России. Уральская покровно-складчатая область / Г.С. Гусев, А.А. Головин, В.А. Килипко и др. Вып. 2, в 3 т. — М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2013. — 484 с. — 1 с. цв. вкл. (РОСНЕДРА, ГЕОКАРТ, ИМГРЭ).
4. *Карпузов, А.Ф.* Минерально-сырьевой потенциал черносланцевых формаций платформенных комплексов России / А.Ф. Карпузов, А.М. Карлунин, Н.Н. Соколов, И.Н. Мозолева // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2008. — № 2. — С. 9–12.
5. *Кременецкий, А.А.* Геохимическое картирование циркумполярной Арктики: научная парадигма, технология, предварительные результаты / А.А. Кременецкий, А.Ф. Морозов, А.Г. Пилицын и др. // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 6. — С. 8–21.
6. *Левченко, Е.Н.* Технологическая оценка возможности переработки нетрадиционного редкометалльного сырья / Е.Н. Левченко, Д.С. Ключарев // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 9. — С. 41–45.
7. *Лихачев, В.В.* Редкометальность бокситоносной коры выветривания Среднего Тимана / В.В. Лихачев. — Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1993. — 224 с.
8. *Спиридонов, И.Г.* Роль и место прикладной геохимии в реализации задач общегеологического назначения государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» / И.Г. Спиридонов // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 5. — С. 20–27.
9. *Bao Zhiwei.* Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China. / Bao Zhiwei, Zhao Zhenhua / Ore Geology Reviews 33. — 2008. — P 519–535.
10. *Klyucharev, D.S.* The problems associated with using non-conventional rare-earth minerals / D.S. Klyucharev, N.M. Volkova, M.F. Komyn // Journal of Geochemical Exploration 133. — 2013. — P. 138–148.
11. *Schnell, H.* Uranium from unconventional sources / H. Schnell / Technical Meeting On Uranium from Unconventional Resources, IAEA Headquarters. — 2009. - Vienna, Austria.

© Коллектив авторов, 2016

*Спиридонов Игорь Геннадьевич // imgre@imgre.ru  
Килипко Виктор Алексеевич // kilipko@rambler.ru  
Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru  
Ключарев Дмитрий Сергеевич // sacsaul@gmail.com*

УДК 553.6+338.45(470)

**Аксенов Е.М., Васильев Н.Г., Лыгина Т.З.,  
Сенаторов П.П. (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»)**

#### **НЕРУДНЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ**

*На основе анализа стратегий развития различных отраслей промышленности России на период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г. определены основные направления и задачи развития минерально-сырьевой базы неметаллических по-*

*лезных ископаемых. **Ключевые слова:** минерально-сырьевая база, неметаллы, стратегия, развитие, промышленность, Россия.*

Aksenov E.M., Vasiliev N.G., Lygina T.Z., Senatorov P.P. (TSNIIGeolnerud)

#### **NONMETALLIC MINERALS AND THE STRATEGY OF INDUSTRIAL DEVELOPMENT IN RUSSIA**

*Basing on the analysis of strategies of numerous industrial developments in Russia up to 2020 and until 2030 in perspective, some basic trends and challenges for the development of raw nonmetallic mineral base are established. **Keywords:** mineral resources, nonmetals, strategy, development, industry, Russia.*

Нерудные полезные ископаемые обеспечивают устойчивое функционирование практически всех базовых экономических комплексов страны — химического, в т.ч. агрохимического (апатиты, фосфориты, калийно-магниевые соли, каолин, тальк, волластонит, барит, известняки, поваренная соль, графит, плавиковый шпат, бор и др.), металлургического и машиностроительного (магнезит, брусит, графит, шунгит, бентонит, плавиковый шпат, высокоглиноземные минералы и др.), топливно-энергетического (барит, бентонит, каолин и др.), минерально-строительного (известняки, доломиты, мел, глины, асбест, тальк, пески стекольные, ОПИ и др.), экологическую безопасность (природные сорбенты — цеолиты, опоки, трепел, диатомит, бентонит, глауконит и др.), создание высокотехнологичных материалов и композитов, продукции двойного назначения в области радиоэлектроники, атомной энергетики (особо чистое кварцевое сырье, слюды, пьезооптическое сырье, графит, шунгит, спесасбест и др.).

Из 226 видов твердых полезных ископаемых, учитываемых 88 выпусками Государственного баланса запасов, 175 видов в 45 выпусках ГБЗ представлены нерудными полезными ископаемыми.

В целях реализации разделов «Неметаллы» «Долгосрочной государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России...» и Подпрограммы 1 «Воспроизводство минерально-сырьевой базы, геологическое изучение недр» Государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов», утвержденной постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 322, за счет федерального бюджета в 2005–2015 гг. были выполнены геологоразведочные работы более чем на 340 объектах, по более чем 30 видам неметаллов.

Наиболее значимые результаты за этот период были получены по приросту запасов и прогнозных ресурсов калийно-магниевых солей, каолина, бентонитов, графита кристаллического, цеолитов, особо чистого кварца, стекольных песков, цементного сырья и др. [3]. Основу современной МСБ неметаллов России по-прежнему составляют главным образом запасы, подготовленные в дореформенный период, а большая их часть, как и горнорудные предприятия, остались за ее пределами. В результате потребности экономики России удовлетворяются за счет импорта нерудного сырья и продукции на его основе (графит, барит, каолин, флюорит, высокоглиноземное сырье и др.).

Для обеспечения базовых экономических комплексов необходимо как обеспечение старых горнопромышленных районов, так и создание альтернативных МСБ для