

УДК 550.8.

Коротков В.В., Стародубов А.В., Овсянникова Т.М.
(ФГУП «ВИМС»), Семенова М.П., Цирель В.С.
(ФГУНПП «Геологоразведка»)

СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА МСБ УРАНА И СОПУТСТВУЮЩИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Рассмотрены результаты мониторинга инновационных зарубежных и отечественных технологий и технических средств в области геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы урана и сопутствующих твердых полезных ископаемых (аэро- и наземные геофизические методы, полевые и лабораторные радиогеохимические технологии и др.). Определившиеся перспективные технологии необходимо адаптировать и апробировать применительно к рудным и рудоперспективным районам РФ. В результате должны быть разработаны новые и усовершенствованы ранее созданные прогнозно-поисковые комплексы с подготовкой рекомендаций по их применению для планирования, проектирования и проведения геологоразведочных работ. **Ключевые слова:** геологическое изучение недр, уран, геохимические технологии, лабораторный анализ, аэрогеофизические методы, наземные геофизические технологии.*

Korotkov V.V., Starodubov A.V., Ovsyannikova T.M. (VIMS),
Semenova M.P., Tsirel V.S. (Geologorazvedka)

STATUS AND THE DEVELOPMENT OF DOMESTIC APPLIANCES AND TECHNOLOGICAL SUPPORT REPRODUCTION OF THE MINERAL RESOURCE BASE OF URANIUM AND ASSOCIATED MINERALS

*The article provides the results of the study of the innovative foreign and national technologies and equipment for the geological prospecting and future reproduction of the uranium resource base and related minerals (aerial and ground geophysical methods, field and laboratory radiogeochemical technology, etc.). The perspective technologies have to be adapted and tested in the ore and favorable regions of Russia. The new and improved prognostic-searching systems should be developed as well as the recommendations for their future using to plan, arrange and perform the geological prospecting. **Key words:** geological prospecting, uranium, geochemical technologies, laboratory analysis, airborne geophysical methods, ground geophysical technologies.*

Основные проблемы современной поисковой геологической практики, в частности на уран и другие твердые полезные ископаемые (ТПИ), во многом связаны со скрытым характером ожидаемого оруденения, относительно небольшими размерами выявляемых объектов, сложными природными условиями поисков, отсутствием современных глубинно-геологических основ перспективных участков недр, отсутствием системы обоснованных рациональных поисковых комплексов

применительно к типовым геологическим и ландшафтно-геоморфологическим обстановкам и к основным промышленным типам скрытых месторождений ТПИ. Как следствие, происходит падение эффективности и удорожание проводимых геолого-геофизических, геолого-съёмочных и геологоразведочных работ (ГРР) на ТПИ в связи с объективным сокращением числа приповерхностных легкооткрываемых месторождений, и необходимым увеличением глубинности геологических исследований и объемов поискового бурения.

В то же время в последние десятилетия отчетливо проявилось и продолжает нарастать отставание отечественных технологических разработок от высших мировых достижений в области геологического изучения недр и геологоразведочных работ как на углеводородное сырье, так и на ТПИ. Происходит активное внедрение на российский рынок зарубежных технических средств и технологий, а также вытеснение западными компаниями российских предприятий с рынка сервисных геологических услуг. Возникшие трудности в технико-технологическом обеспечении ГРР на ТПИ в последнее время усугубились в связи с введением рядом западных стран санкций против РФ — запрета импорта, в т. ч. современных технологий ГРР.

Для повышения эффективности поисков и оценки месторождений ТПИ на территории РФ, в т. ч. скрытых и слабопроявленных, необходима разработка новых и совершенствование ранее созданных прогнозно-поисковых комплексов ГРР. Эту задачу не решить без глубокого анализа сложившейся ситуации и без использования зарубежного опыта в области разработки технологий и технических средств прогноза и поисков месторождений.

В 2014 г. ФГУП «ВИМС», ФГУНПП «Геологоразведка» и ФГБУ «НТИМИ» завершили предварительные научно-исследовательские работы, имевшие своей целью разработку рекомендаций по созданию инновационных отечественных технологий и технических средств в области геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы урана и сопутствующих полезных ископаемых. Собраны и проанализированы перспективные технологии ГРР, включающие аэро- и наземные геофизические методы, полевые и лабораторные радиогеохимические технологии. Ниже рассмотрены основные результаты проведенных НИР.

Современные геофизические технологии, имеющие весьма важное значение при прогнозно-поисковых работах на уран и сопутствующие ТПИ, многие из которых имеют скрытый характер залегания [5], базируются главным образом на косвенных диагностических признаках наличия искомого объекта. Новый подход к геологическому изучению территорий при поисках урана и сопутствующих ТПИ потребовал новых технико-технологических решений. Основные направления современного развития геофизических технологий предусматривают создание высокочувствительных датчиков и

помехоустойчивых конструкций аэросистем, проведение многокомпонентных измерений, обработку и передачу информации в реальном масштабе времени. Широкое развитие получили комплексные аэрогеофизические и многоканальные наземные электроразведочные технологии, а также малогабаритная сейсмическая аппаратура.

Достижения в развитии геофизических технологий последнего десятилетия во всем мире обеспечили значительное увеличение эффективности геологоразведочных работ на уран в пределах новых перспективных площадей, возросший интерес к осваиваемым районам с целью более детального их изучения. Важное значение геофизические технологии приобретают в связи с актуальнейшей проблемой — необходимостью выявления скрытых месторождений, вследствие существенного истощения фонда приповерхностных, легкооткрываемых объектов. В табл. 1 приводятся особенности современных технологий, позволяющих решать основные геологические задачи.

Современные аэрогеофизические технологии, применяемые при прогнозно-поисковых работах на уран и сопутствующие полезные ископаемые, подразделяются на две категории: первая — **аэрогамма-спектрометрия** имеет своей целью непосредственное обнаружение месторождений радиоактивных элементов, вторая — геолого-структурное картирование рудоносных обстановок. К ней относятся: **аэроэлектромагнитные, аэромагнитные и аэрогравиметрические технологии**.

Современная технико-технологическая база **аэрогамма-спектрометрии** характеризуется высоким спектральным разрешением, увеличенным отношением сигнал/шум, специализированным программным обеспечением сбора, обработки и интерпретации данных, а также калибровки и контроля аппаратуры. В 2013 г. на рынке геофизической продукции была представлена новая аэрогамма-спектрометрическая технология Medusa MS-4000 (компания Medusa Sensing BV, Нидерланды). В отличие от стандартных систем, использующих в качестве детектора кристалл NaI, в системе Medusa MS-4000 применяется кристалл CsI [11]. Это позволило уменьшить вес аппаратуры, что особенно важно для съемок с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [4, 7].

Наиважнейшее значение в комплексе опережающих исследований имеют **аэроэлектромагнитные методы**, основное назначение которых — выявление протяженных зон проводимости, связанных с графитизацией, гидротермальным изменением пород, структурными элементами. Широкое исполь-

зование при прогнозно-поисковых работах на урановых объектах и сопутствующих ТПИ (в основном за рубежом) получили новые аэроэлектромагнитные технологии MEGATEM, TEMPEST и GENESSIS (Fugro Airborne Surveys Ltd, Австралия); VTEM, AeroTEM и ZTEM (Geotech Ltd, Канада), а также EM-4H и ЭКВАТОР (ЗАО «Геотехнологии»), ИМПУЛЬС А5/А6 (СибГеотех).

Аэроэлектромагнитная система MEGATEM создавалась для проведения региональных работ на площадях, расположенных выше 2400 м над уровнем океана. В качестве летательного аппарата был выбран самолет Dash-7 с четырьмя двигателями. Положительные результаты опытных работ, проведенных компанией ВНР над горным массивом (Анды, Южная Америка), положили начало развитию технологии MEGATEM. Большие размеры самолета Dash-7 позволили увеличить размер генераторной петли почти в два раза, что привело к увеличению дипольного момента на 75 %. Дальнейшее усовершенствование технологии MEGATEM было направлено на увеличение дипольного момента за счет повышения мощности двигателей самолета. В настоящее время дипольный момент системы MEGATEM составляет 2,5 млн. А·м². Технология успешно используется в районах развития месторождений типа «несогласия» на глубинах более 800 м для выявления зон проводимости, связанных с графитизированными и гидротермально измененными породами, складчатостью и другими элементами геологического строения.

Современные широкополосные (25–3750 Гц) системы TEMPEST и GENESSIS разработаны для решения задач картирования по проводимости на площадях с мощным слоем покрывающих отложений, представляющих разнотипными реголитами, характеризующимися различной проводимостью. Информация о природе и распределении реголитового материала является важной для понимания общей геологии, минерализации

Таблица 1
Возможности современных геофизических технологий поисков урана и сопутствующих ТПИ

№ п/п	Технические средства	Достоинства	Геологические задачи
1	Радиометрические	Высокая разрешающая способность аппаратуры, автоматизированная калибровка на базе естественных радиоактивных элементов, малая масса, высокая чувствительность наземной полевой аппаратуры	Поиски и разведка месторождений урана и тория, геологическое картирование
2	Электромагнитные	Увеличение отношения сигнал/шум и глубины исследования, развитие многоканальных аппаратурно-технологических комплексов, 3-D моделирование	Литолого-структурное картирование, выявление зон измененных пород
3	Магнитные	Высокоточные и высокоскоростные измерения магнитного поля и его градиента, высокое разрешение градиентометрических измерений, 3D-моделирование	Выявление рудоконтролирующих структур, расчленение рудовмещающих комплексов, картирование зон гидротермально-метасоматических изменений
4	Гравиметрические	Высокоточные измерения гравитационного поля и его градиента	Литолого-структурное картирование
5	Сейсмические бескабельные системы	Мобильность, малая масса, возможность работы в различных горно-геологических условиях	Литолого-структурное картирование

района, а также особенностей распределения геохимических элементов. Обладая высокой разрешающей способностью, технологии TEMPEST и GENESISS используются для картирования отдельных проводников, выявления палеоканалов на глубине, установления региональной складчатости.

Вертолетные электромагнитные системы во временной области VTEM и AeroTEM получили наибольшее распространение на рудных объектах. Обе технологии имеют жесткую конструкцию генератор-приемник, обладают высоким дипольным моментом (VTEM — 1 200 000 А·м²; AeroTEM — 1 000 000 А·м²). Области применения этих технологий включают практически все объекты ТПИ. Отличие технологии VTEM от технологии AeroTEM заключается в ее способности разделять проводники высокой проводимости от проводников средней проводимости, что позволяет более четко выявлять рудные объекты.

Технология ZTEM была разработана специально для увеличения пространства исследования рудных объектов на глубине под перекрывающими породами. При этом измеряются передаточные функции от радиочастотных естественных электромагнитных источников. Основные достоинства технологии ZTEM заключаются в высокой разрешающей способности, большой глубине исследования — до 700 м, в наличии аэродинамического выдвижного сенсора. Для обеспечения высокой детальности исследований на небольших площадях весьма эффективной является система ЭКВАТОР. Технология EM-4Н обеспечивает возможность различать глубинные объекты на различных разрезах как высокой, так и низкой проводимости.

Аэромагнитные технологии — GT-MAG (ЗАО «Гео-технологии», Россия), GSMP-35A (GEM System Advanced Magnetometer, Канада), HELIGRAD (Geotech Ltd, Канада) успешно используются при картировании складчатых структур, зон гидротермально измененных пород, определения глубины залегания фундамента и др. Технический уровень современных зарубежных аэромагнитных технологий выше уровня отечественных аналогов, поскольку зарубежные аэромагнитные системы предусматривают измерение градиента магнитного поля, что значительно расширяет круг решаемых геологических задач.

Среди **аэрогравиметрических технологий** нового поколения следует отметить в качестве наиболее значимых GT-1A и GT-X (ОАО «Гравиметрические технологии», Россия), AirGrav (Sander Geophysics Ltd, Канада), FALCON (BHP Billiton, США), Air-FTGTM (Bell Geospace, США). Из числа отечественных разработок можно выделить комплекс GT-2A (ОАО «Гравиметрические технологии», Canadian Micro Gravity), Чекан-АМ (ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор»). Принципиально новым направлением, характеризующимся высокой геологической и экономической эффективностью, являются градиентометрические исследования. Аэрогравитационная градиентометрия эффективна для выявления брекчиевых пластообразных залежей, уточнения контакта песчаников с массивами гранитов, зон измененных пород, картирования кварцевых жил, вмещающих золото, картирования и прослеживания геохимических

и магнитных аномалий, связанных с сульфидной минерализацией в вулканогенных породах основного состава.

Отечественный гравиметр GT-1A является конкурентоспособным на мировом рынке. Усовершенствованная модель GT-X, используемая в России и за рубежом с 2011 г., отличается малым размером (50 см по высоте, 25 см — диаметр) и малой массой (40 кг), что делает ее пригодной для установки на любом небольшом как воздушном, так и водном аппарате. Второй отличительной особенностью нового гравиметра является лазерный гироскоп, который позволяет расширить географический диапазон гравиметра и тем самым проводить исследования на крайнем севере и юге. Зарубежные технологии предусматривают измерения градиента гравитационного поля, что позволяет более четко выявлять такие структурные особенности как складчатые зоны, дайки, разломы и рудоносные блоки.

Комплекс современных наземных геофизических технологий, обеспечивающих высокую эффективность проведения ГПП, включает:

радиометрические — МКСП-01 «РАДЭК» (НТЦ «РАДЭК», Россия), SC-133 (Delta Epsilon Instrument Inc, США), мобильную радиометрическую аппаратуру IRIS, PGIS-2 (Pico Envirotec Inc, Канада);

электромагнитные — InfiniTem (Abitibi geophysics Inc., Канада), PROTEM-67 (Geonisc Ltd, Канада), UTEM5 (Lamontagne Geophysics Ltd, Канада), ЦИКЛ-7 (Tsikl-Geo Ltd, Россия), АЭИ-2 (ООО НПК «Элгео», Россия), СКВИД JESSY DEEP (Supracon AG, Германия), многоканальные системы МЭРИ-24, АСТРА-100 (ООО «Северо-Запад», Россия), FAST-SNAP (ООО НПК «СибГеоСистемы», Россия), Титан-24 (Quantec geoscience Ltd, Канада);

магнитотеллурические — MTU (Phoenix Geophysics Ltd, Канада);

магниторазведочные МИНИМАГ (ФГУНПП «Геологоразведка»), GSMP-35 (GEM Systems, Канада);

гравиметрические — CG-5 AutoGrav (Scintrex Ltd, Канада);

сейсмические — ЛАККОЛИТ-Х-М3 (Группа компаний ЛОГИС-Геотех, Россия), ЭЛЛИС-3 (ООО «Геосигнал», Россия), SCOUT (ОАО «СКБ СП», Россия), РОСА (ФГУП «СНИИГГиМС», Россия), UNITE (Sercel, Франция), FireFly DR31 (INOVA Geophysical Equipment Ltd, США).

Отечественный гамма-спектрометр МКСП-01 обладает высокими техническими характеристиками, что подтверждено свидетельством об утверждении типа СИ: RU.C.38.001.A N42000. Управление спектрометром осуществляется от компьютера посредством программы ASW (разработка НТЦ «РАДЭК»), которая позволяет проводить измерение и обработку спектров, настройку параметров спектрометрических трактов, определение всех соответствующих метрологических характеристик. Зарубежные модели радиометрической аппаратуры характеризуются высокой мобильностью — быстро устанавливаются на все виды подвижных платформ. Аппаратура PGIS-2 может переноситься в рюкзаке.

Особенность современных зарубежных и отечественных наземных электромагнитных технологий во временной области заключается в их аппаратурной

Таблица 2

Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных комплексов наземных электромагнитных технологий во временной области

Наименование аппаратурных комплексов	Форма импульса	Сила тока, А	Максимальный размер петли, м	Габариты, мм
ЦИКЛ-7, Россия	Разнополярный прямоугольный	20	200×200	60×175×220
АЭИ-2, Россия	Разнополярный прямоугольный	10	400×400	280×80×250
PROTEM-67, Канада	Разнополярный прямоугольный	25	2000×2000	420×200×310

комплексности. Основными компонентами комплексов являются линейки измерителей и генераторов тока, различное комплексирование которых позволяет использовать их при решении широкого круга геолого-геофизических задач. Комплексы отличаются также по мощности генераторов тока, размерам петель, общим габаритным размерам, диапазонам времен измерения переходных процессов. В табл. 2 приводятся сравнительные характеристики отечественных и зарубежных генераторов тока комплексов наземных электромагнитных технологий во временной области.

Широкое распространение в России получила многофункциональная электроразведочная технология, включающая измеритель МЭРИ-24 и генератор АСТРА-100. Назначение технологии — проведение работ методами вызванной поляризации, естественного поля, частотного зондирования, электротомографии и др. Измеритель МЭРИ-24 позволяет получать результаты обработки сигнала в режиме реального времени, настраивать параметры обработки. Небольшой вес (3 кг), внутреннее питание позволяют использовать МЭРИ-24 для проведения работ методами профилирования и другими методами, подразумевающими частые перемещения оператора. В измерителе реализована возможность усиления сигнала до 8 раз, что позволяет проводить измерения полезного сигнала с амплитудой порядка 10 мкВ. Максимальный уровень сигнала на входе составляет 2,5 В. Достоинства генератора АСТРА-100 — портативность, оперативное получение данных, многофункциональность, простота в использовании, получение информации о геоэлектрическом строении верхней части разреза, полезной при интер-

претации глубинных региональных и поисково-разведочных исследований.

Телеметрическая система FAST-SNAP (Россия) предназначена для работы радиоманнитотеллурическим методом, а также методами частотного зондирования, вызванной поляризации, постоянного тока и др. Зарубежная многоканальная система Titan-24 предназна-

на для определения заложения буровых скважин при поисках и разведке месторождений ТПИ на основе изучения электрического сопротивления, вызванной поляризации и магнитотеллурических параметров.

Отечественные сейсмические технологии в последнее десятилетие успешно заменяют зарубежные аналоги. Среди них следует выделить бескабельные станции SCOUT и РОСА-А. Станция SCOUT успешно используется для изучения структуры рудных месторождений. Основные достоинства станции заключаются в полной автономности, в возможности реализации многоканальных сейсмических съемок, проведения широкоазимутальных наблюдений с большими выносами, полного квантования всего волнового поля с использованием одиночных датчиков. Сейсмостанция РОСА-А обеспечивает длительные, программируемые высокоточные измерения и применяется на этапе региональных и поисковых работ.

На сегодняшний день новые геофизические технологии (без учета сейсмических систем), как показывает анализ деятельности 45 производственных организаций, составляют 54 % от числа используемых технологий при ГРП на твердые полезные ископаемые. Из них на долю зарубежных технологий приходится около 20 % от инновационной продукции в области наземной гравиметрической и магнитотеллурической аппаратуры, электроразведочных приемников в методах переходных процессов и вызванной поляризации, отдельных комплектов аэрогеофизических систем.

Современные отечественные разработки геофизических технологий по объему и номенклатуре выпускаемой продукции уступают только Канаде (рис. 1, 2). Структурная реорганизация отечественного производ-

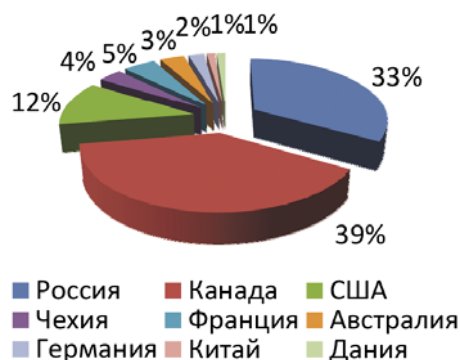


Рис. 1. Диаграмма распределения разработки и выпуска геофизических технологий по странам за период 2000–2014 гг.

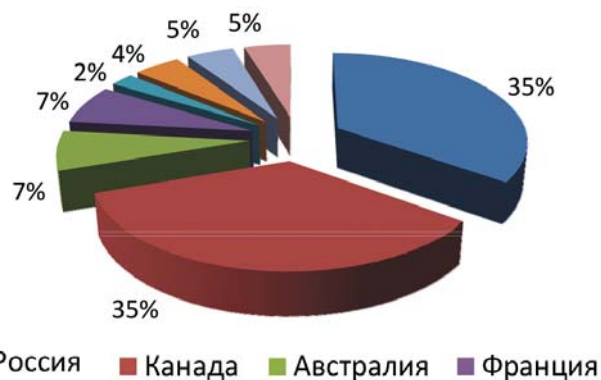


Рис. 2. Диаграмма распределения новых наземных электроразведочных технологий по странам за период 2000–2014 гг.

ства геофизической продукции в конце 1990-х гг. и в начале XXI в. привела к созданию ряда малых частных предприятий на базе ведущих научно-исследовательских институтов и производственных организаций. Обладая высоким интеллектуальным потенциалом и опытом производственных работ, вновь созданные компании смогли в достаточно короткий срок разработать и выпустить на внутренний и внешний рынок высококачественную продукцию. В настоящее время в стране успешно функционируют более 20 таких предприятий, специализирующихся на определенных видах геофизических технологий.

Несмотря на имеющиеся успехи в развитии отечественных геофизических технологий прогнозно-поисковых работ на уран и сопутствующие ТПИ, достижение современного технологического уровня требует решения ряда задач. Основным вектором развития отечественной технико-технологической базы геофизического обеспечения геологических работ являются аэрогеофизические, наземные электромагнитные и сейсмические технологии. Выбор отечественных систем аэроэлектро-разведки для поисков рудных тел и картирования целесообразно ориентировать на аналоги вариантов AeroTEM компании Aeroquest Surveys и VTEM компании Geotech Ltd., опираясь на положительные результаты в этой области компании ЗАО «Геотехнологии». При решении задач картирования уранового и полиметаллического оруденения в сложных геолого-структурных условиях успешно применяется электроразведка методом становления поля [2]. В области аэромагнитных технологий следует ориентироваться на разработку и производство градиентометрических систем. Разработка технологии аэромагнитоградиентометрических исследований в рамках программы импортозамещения может быть осуществлена в России в ФГУНПП «Геологоразведка».

Повышение эффективности гравиметрических исследований следует ориентировать на зарубежные градиентометрические технологии Air Grav FTG компании Sander Geophysics. В настоящее время организациями, способными начать в России НИОКР по созданию отечественных аналогов гравитационных градиентометров, является ОАО «Гравиметрические технологии», ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», а также компания ЗАО «ГНПП Аэрогеофизика», которая проводила глубокую модернизацию гравиметров, разработанных ранее во ГФУП «ВНИИГеофизика», и имеет большой опыт эксплуатации зарубежной техники.

В области **полевых и лабораторных радиогеохимических технологий** развиваются радиоспектрометрические методы определения изотопов урана, тория, радия, ^{210}Po , ^{210}Pb , позволяющие повысить достоверность локального прогноза уранового оруденения. Для радиохимического опробования, кроме образцов горных пород, рекомендуется использовать почвы, растительность, водные пробы; в качестве методов — экстракцию подвижных форм элементов из почвенных проб, например, технологию подвижных ионов металлов (ММИ), разработанную в Национальном университете Австралии [10], и изотопно-почвенный метод (ИПМ), изобретенный в ГФУП «ВИМС» [1]. Перспективным

является комплексирование как самих радиоизотопных методов (например, модификаций ИПМ с получением отношений $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в почвенных вытяжках), так и радиоизотопии с элементами-индикаторов с геофизическими технологиями.

Необходимым условием для успешного применения многих геофизических и радиоизотопных геохимических методов является наличие портативных механизированных средств для опробования верхних частей геологических разрезов. Наиболее универсальными, надежными и удобными являются разработки компании «AMS Inc.» (США) [8]. Для решения геологических задач наиболее подходящими можно считать пробоотборные зонды «Soil Probe». Для плотных или мерзлых грунтов разработан зонд «Compacted Soil Sampler Complete». Наилучшее предложение по механизированным средствам отбора проб на российском рынке обеспечивается компанией «Iron mole» [9]; основные производственные мощности компании расположены в Московской области, где выпускаются мотобуры и гидравлические станции, часть продукции выпускается в Китае. «Iron mole» производит буровые инструменты, однако они не специализированы для проведения опробования грунтов с геологическими целями, поэтому в ассортимент не входят такие необходимые позиции, как пробоотборники и др. На предприятии «Iron mole» возможно производство полной линейки инструментов для литогеохимического опробования, однако для этого следует решить проблему замены гидравлики и двигателей — пока они зарубежного производства. То же можно сказать о пробоотборных устройствах, контейнерах для проб и других расходных материалах. Пока эти разработки не сделаны и не внедрены существует необходимость покупок этих видов оборудования за рубежом.

Измерение концентраций и потока радона в горных породах при поисках слепого уранового оруденения является классическим методом, реализованным в настоящее время в новых технологиях и аппаратуре. Наиболее перспективными среди разработок являются универсальные комплексные приборы, позволяющие выполнять измерения радона и торона в различных средах (почва, вода), с возможностью работы в режиме мониторинга и дистанционным управлением, имеющие низкий фон, защиту от колебаний метеорологических параметров, внешнего излучения и загрязнения относительно долгоживущими радиоактивными продуктами распада радона. Этим требованиям отвечает аппаратура «RAD7» («DURRIDGE Company Inc.», США), адаптированная к интенсивной работе с пробами почвенного газа с высокой активностью в поисковом режиме, и комплексы «EQF3200» («SARAD GmbH», Германия), среди преимуществ которых наличие газовых датчиков (CO , CO_2 и др.).

Развиваются экспрессные технологии на основе сцинтилляционных камер Лукаса, отличающихся наиболее высокой чувствительностью. Эти детекторы просты в обращении, могут использоваться при массовых съемках, когда необходимо получить результаты по большим площадям в относительно короткие сроки. По этой технологии работают приборы «Radon Scout

PMT» («SARAD GmbH») и «PYLON AB6» («Pylon Electronics Inc.», Канада). Активные и пассивные камеры позволяют проводить измерения невысоких активностей радона, могут использоваться для непрерывных измерений, не регистрируют бета- и гамма-излучение, просты в использовании и обращении, не подвержены влиянию колебаний температуры и влажности.

Для проведения интегральных измерений с длительной экспозицией можно рекомендовать твердотельные трековые детекторы на основе пластика, адаптированные к различным природным условиям измерений. Эти детекторы просты в обращении и работе, отличаются низкой стоимостью и не чувствительны к бета- и гамма-излучению; их применение позволяет учитывать эффекты вариаций поля радона под воздействием физических, метеорологических и других факторов. Оптический пластик «CR-39» производится компаниями «Radosys Ltd.» (Венгрия) и «Landauer Inc.» (США) [13, 15]; первая выпускает не только детекторы, полностью готовые к использованию, но также устройства для травления треков и аппаратуру для их подсчета.

Российские производители аппаратуры в области измерения радона в настоящее время преимуществами не обладают, линейка отечественной аппаратуры менее широкая, некоторые виды приборов не выпускаются. Эффективным методом измерения радона с длительной экспозицией является способ активного налета (САН), однако аппаратура для его реализации не отвечает современным требованиям.

Также остро в отрасли ощущается нехватка приборов и оборудования для гамма-опробования шурфов и неглубоких скважин, пешеходной гамма-съемки — в России представлен весьма ограниченный спектр моделей приборов как отечественных, так и зарубежных. Импортные приборы обладают всеми необходимыми характеристиками для выполнения высокоточных гамма-спектрометрических измерений, однако большинство из них не специализированы для решения геологических задач. Для перевооружения геологоразведочных предприятий необходимо создание отечественной аппаратуры с высокими эксплуатационными свойствами для полевых исследований (пешеходной гамма-съемки, опробования в шурфах, канавах, неглубоких скважинах), сопоставимой с мировыми разработками по техническим характеристикам (в том числе приборов с детекторами на основе особо чистого германия, бромида лантана и теллурида кадмия). Опыт работ в этой области имеет ряд российских предприятий: НПП «Доза», ООО «НТЦ «РАДЭК», ЗАО НПЦ «АСПЕКТ», ГП «Грин Стар»; в качестве партнеров могут выступать компании «Terraplast Inc.», «RadComm Systems» (Канада), «eV-Products Inc.» (США).

В производственных лабораториях отрасли востребованы методики прямого одновременного определения урана и радия по их собственному излучению (по гамма-излучению ^{234m}Pa , ^{226}Ra и его дочерних продуктов). Эффективная методика разработана коллективом ЛИМА ФГУП «ВИМС» [6]. Осуществление этих технологий для решения максимально широкого круга задач требует применения высокоразрешающих гамма-спектрометров без охлаждения или с механической систе-

мой охлаждения, которые могут эксплуатироваться в полевых условиях, а также специализированного программного обеспечения.

Совершенствование лабораторной базы геологоразведочной отрасли непосредственно связано с ее оснащением высокочувствительными низкофоновыми радиоспектрометрическими аппаратными комплексами на основе твердотельных детекторов из особо чистых материалов, газопроточных и жидкостных сцинтилляционных счетчиков, а также с привлечением современных радиохимических методов выделения ультрамалых количеств радионуклидов.

При высокоразрешающих альфа-спектрометрических измерениях в настоящее время очевидно преимущество PIPS-детекторов. Аппаратуру на их основе выпускают многие компании, среди которых доминируют «ORTEC» («AMETEK Inc.») и «Canberra Industries Inc.», производство которых находится главным образом в США. Среди российских производителей положительно зарекомендовали себя ООО НПП «Доза», НТЦ «Амплитуда» и др. Преимущество зарубежных разработок, кроме технических параметров (низкий фон, высокое разрешение), заключается в комплектации приборов более совершенными программными средствами, вспомогательными устройствами, возможностью соединения спектрометрических модулей в систему с единым управлением.

Простотой и минимальным временем на подготовку проб и измерений активностей радионуклидов отличается методика с использованием экстракционной технологии выделения элементов и жидкостной сцинтилляции с альфа-бета-дискриминацией на аппаратуре «Wallac Quantulus 1220» («PerkinElmer Inc.», США). Разновидностью метода является технология и аппаратура «PERALS» (с исключением бета- и гамма-излучения), предложенная компанией «Ordela Inc» (США) [12]. В РФ жидкостные сцинтилляционные спектрометры выпускает только ГП «Грин Стар» (г. Москва). По своим характеристикам отечественная аппаратура далеко отстает от зарубежной.

В практике радиоизотопных исследований широко распространен радиометрический анализ. В основном измерения проводятся после предварительной подготовки проб — концентрирования и селективного выделения радионуклидов, также применяют альфа-бета-радиометрию при определении суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов. Радиометрическая аппаратура группируется по типам детекторов (полупроводниковых, пропорциональных проточных счетчиков, сцинтилляционных счетчиков и др.), существенно отличающихся по своим характеристикам.

Газопроточные альфа-бета-радиометры зарубежного производства имеют сходные технические параметры, однако по возможности увеличения производительности, удобству в использовании предпочтительнее отдать приборам, выпускаемым «Protean Instrument Corporation» (США), например, многодетекторным системам с ручной подачей образцов («MDS-4» и др.). Кроме низкого фона эту серию приборов отличают независимая загрузка и управление

образцами, расчет минимальной детектируемой активности в режиме реального времени, система «GasPRO» для контроля подачи газа, экранирование между детекторами, практически исключаящее влияние более активных проб на соседние. Кроме «MDS» «Protean Instrument Corporation» принадлежит широчайшая линейка автоматизированных низкофоновых альфа-бета-счетчиков — газопоточных пропорциональных (в том числе без входного окна) и сцинтилляционных.

Из отечественных приборов наибольшую популярность приобрели два альфа-бета-радиометра: «УМФ-200» (ООО «НПП «Доза») и «Мультирад-АР»/«Прогресс-АР» (ООО «НТЦ Амплитуда») главным образом ввиду низкой стоимости и достаточного качества измерений. Как направление развития этой аппаратуры можно предложить разработку многоканальных моделей (измерение нескольких проб одновременно) и полную автоматизацию измерений.

Анализаторы (процессоры) изготавливают ЗАО НТЦ «Аспект», ООО «НТЦ Амплитуда», ГП «Грин Стар», ООО «Парсек» и др. Однако безусловную проблему составляет тот факт, что полупроводниковые детекторы в отечественных приборах имеют зарубежное происхождение. Анализ ситуации показывает необходимость развития собственных технологий получения высокочистых материалов для производства детекторов, а также разработки автоматизированных аппаратных комплексов, не уступающих зарубежным, для чего необходима общая для страны модернизация различных производств (микроэлектроники, приборостроения, разработки программного обеспечения) [3].

Подготовка проб к радиоспектрометрическому анализу в большинстве случаев выполняется с помощью радиохимических технологий. Анализ материалов российских и зарубежных источников показывает, что для перевооружения отрасли в области выделения ультрамалых количеств радионуклидов необходимы разработка и производство новых селективных сорбирующих материалов и вспомогательного оборудования (колонок, миниатюрной лабораторной посуды и др.) для выделения радионуклидов из растворов проб, адаптация к ним существующих радиохимических методик. Необходимо развитие методов и доработка существующих систем микроволнового разложения проб (например, «МС-6», ООО «Вольта») до уровня передовых зарубежных вариантов («MARS-6», США и др.).

На данный момент использование таких экстракционно-хроматографических сорбентов, как «TEVA», «U/TEVA», «TRU», «Sr», «Ln», «Actinide» и др. («Eichrom Technologies», США) обеспечивает несомненные преимущества по диапазону селективности и, следовательно, по числу эффективно решаемых радиохимических задач. Альтернативой методов экстракционной хроматографии и жидкостной экстракции с измерениями на масс-спектрометрах и жидкостных сцинтилляционных спектрометрах являются селективные сорбирующие диски «NucFilm» («Nucfilm GmbH», Германия) и селективные фильтры «Resolve» («Eichrom Technologies»). Для измерений на жидкостных спектрометрах повсеместно используются импортные жидкие сцинтилляторы, например, «Optiphase HiSafe 3» («PerkinElmer»,

США), «POLEX», «URAEX» («ETRAC», США). Очевидна потребность в производстве подобных материалов на территории России.

Важным направлением в радиоизотопном анализе является определение возраста оруденения и решение других задач, связанных с датировкой. Расширение возможностей этих методов, например, термоизохронного кинетического метода определения абсолютного возраста урансодержащих руд и минералов предполагает наличие в лабораториях высокочувствительных масс-спектрометров изотопов тяжелых элементов. В настоящее время одной из наиболее совершенных является коммерческая модель «TRITON Plus» («Thermo Fisher Scientific Inc.», США), построенная на базе мультиколлекторной изотопной платформы. Другим примером может служить технология и уникальная аппаратура «SHRIMP-IV» [14]. Технология «SHRIMP», разработанная У. Компстоном, активно используется за рубежом для датировки геологических формаций по соотношению U-Th-Pb. Отечественной аппаратуры подобного качества нет, но в качестве варианта может быть рекомендована совместная с пользователями доработка прибора «МТИ-350Т».

Как видно из представленных материалов, геологическая отрасль России в части воспроизводства минерально-сырьевой базы урана и сопутствующих ТПИ обеспечивается как отечественными, так и зарубежными технико-технологическими средствами.

Однако если в некоторых секторах (например, аэро-электромагнитные и наземные электроразведочные технологии) существенных различий по качеству используемых технологий и технических средств нет, то в других ощущаются определенные недостатки российских разработок. В первую очередь это касается производства высокотехнологичной аналитической аппаратуры (масс-спектрометров, жидкостных сцинтилляционных спектрометров, портативных высокоразрешающих спектрометров на основе высокочистых материалов и др.), получения новых селективных сорбентов, программного обеспечения, обеспечивающего автоматизацию анализа и др.

Для дальнейшего развития и совершенствования технико-технологического обеспечения ГРП на уран и сопутствующие ТПИ необходимо продолжить мониторинг мировых и отечественных технологий ГРП в области прогноза, поисков и оценки ТПИ, в т. ч. скрытых и слабопроявленных объектов, по следующим направлениям:

1) аэрогеофизические технологии: корреляционный метод импульсной электроразведки (КМИЭА), аэрогаммаспектрометрия с использованием малогабаритных детекторов применительно к БПЛА, аэромагнитная и аэрогравитационная градиентометрия и др.;

2) наземные геофизические технологии: электроразведочные, магнитометрические, магнитотеллурические и гравиметрические технологии повышенной точности с использованием градиентометрии, малоглубинная сейсморазведка с бескабельной регистрацией данных и др.;

3) радиогеохимические и атмогеохимические технологии: модернизированные ИПМ, САН и др., в т. ч. технологии прямого одновременного определения урана,

радия и других радиоактивных элементов, гелиевая съемка, УВ-газаметрия, ионно-газовые методы и др.;

4) геоэлектрохимические технологии: частичного извлечения металлов (ЧИМ), диффузионного извлечения элементов (МДИ), поисков по формам нахождения элементов (МПФ), терромагнитный геохимический метод (ТМГМ) и их модификации;

5) лито-, гидро- и биогеохимические технологии;

6) компьютерные технологии обработки геофизических и геохимических данных: первичных геохимических ореолов (оценка типа, масштаба и эрозийного среза оруденения), электротомография для получения структурных 2D разрезов, обработка высокоточных данных магниторазведки методом анизотропной томографии, АГСМ данных методом аэрорадиохимического картирования (АРК) и др.

Определившись в результате мониторинга и предварительного анализа перспективные технологии ГРП необходимо адаптировать применительно к рудным и рудоперспективным районам территории РФ и ожидаемым промышленным типам месторождений ТПИ, в т. ч. скрытым и слабопроявленным с их полевой апробацией на эталонных месторождениях и поисковых объектах.

В результате проведенных исследований должны быть разработаны новые и усовершенствованы ранее созданные прогнозно-поисковые комплексы ГРП с подготовкой рекомендаций по их применению для планирования, проектирования и проведения геологоразведочных работ.

Можно рассчитывать, что сочетание интеллектуального потенциала и опыта российских компаний-разработчиков технико-технологических средств и специалистов геологоразведочной отрасли (геологов, геофизиков, аналитиков и др.) при государственной поддержке может быть основой обеспечения инноваций в изучении недр и развития минерально-сырьевой базы России.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бахур А.Е., Стародубов А.В., Зуев Д.М. и др. Изотопно-почвенный метод и его модификации при поисках уранового оруденения / Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. III междунар. конф. — Томск, 2009. — С. 82 — 85.
2. Долгушин А.П., Трегубович Г.М. Рациональный комплекс геолого-геофизических исследований при поисках полиметаллического и уранового оруденения / Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири: Матер. 1-й науч.-практ. конф. — Т.1. — Новосибирск: СНИИГ-ГМС, 2014. — С. 29 — 33.
3. Дорин А.Б., Ельцин В.Ф., Чураков А.К. Аналитический обзор российских гамма-спектрометров / http://www.greenstar.ru/articles/obzor_gama_spektorv.pdf.
4. Коротков В.В., Глинский Н.А., Кирсанов В.Н. и др. Съемки с использованием беспилотных летательных аппаратов — новый этап развития отечественной аэрогеофизики // Российский геофизический журнал. — 2014. — Вып. 53 — 54. — С. 122 — 126.
5. Мац Н.А. Современный комплекс геофизических методов при проведении поисковых работ на уран / Уран: геология, ресурсы, производство: Сб. трудов III междунар. симпозиума. — М.: ФГУП «ВИМС», 2013. — С. 122 — 128.
6. Методика измерений удельной активности урана-238 (²³⁸U) и радия-226 (²²⁶Ra) в пробах урановых руд и горных пород гамма-спектрометрическим методом с использованием «ORTEC-65195-P/DSPec Plus» / Номер в реестре РОССТАНДАРТА: ФР.1.40.2013.15399 / Номер свидетельства об аттестации: 40181.3Г190/01.00294-2010.
7. Семенова М.П. Применение беспилотных летательных аппаратов при геофизических исследованиях (зарубежный опыт) // Российский геофизический журнал. — 2014. — Вып. 53—54. — С. 126 — 135.

8. AMS samplers Company [Electronic resource]. — Mode of access <http://www.ams-samplers.com/> — Title from screen.
9. Iron mole Company [Electronic resource]. — Mode of access <http://ironmole.com/> — Title from screen.
10. Mobile-Metal-Ions-MMI [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.sgs.com/> — Title from screen.
11. MS-4000 AGRS [Electronic resource]. — Mode of access: [www.medusa-systems.com.](http://www.medusa-systems.com/) — Title from screen.
12. PERALS® System [Electronic resource]. — Mode of access <http://www.ordela.com/index.php/pearls> — Title from screen.
13. Radosys Company [Electronic resource]. — Mode of access http://www.radosys.com/ — Title from screen.
14. SHRIMP IV System [Electronic resource]. — Mode of access <http://www.asi-pl.com.au/> — Title from screen.
15. Radtrak Long Term Alpha Track Radon Gas Detector [Electronic resource]. — Mode of access www.landauer.com — Title from screen.

© Коллектив авторов, 2015

Коротков Владимир Викторович // vims-uran2013@mail.ru
Стародубов Алексей Валерьевич // starodubov@vims-geo.ru
Овсянникова Татьяна Михайловна // lab@u238.ru
Семенова Маргарита Павловна
Цирель Вадим Соломонович // info@geolraz.com

УДК 622.7.017:622.349.35'36

Лихникевич Е.Г. (ФГУП «ВИМС»)

ДЕЗАКТИВАЦИЯ ПИРОХЛОРОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

*Разработан вариант гидрометаллургической технологии дезактивации пирохлоровых концентратов, полученных из редкометалльно-редкоземельного сырья и содержащих радиоактивные элементы. **Ключевые слова:** пирохлоровый концентрат, выщелачивание, серно- и азотнокислотное разложение, радиоактивность.*

Likhnikovich E.G. (VIMS)

DEACTIVATION OF PYROCHLORE CONCENTRATES

*Develop options for hydrometallurgical technologies decontamination pyrochlore concentrates produced from rare-metal-rare earth raw materials and containing radioactive elements. **Key words:** pyrochlore concentrate, acid-leach process, sulfuric acid and nitric acid decomposition, radioactivity.*

Редкометалльно-редкоземельное сырье характеризуется высокой степенью радиоактивности, связанной с повышенным содержанием природных радионуклидов вследствие их геохимического сходства с редкими металлами. При среднем значении эффективной удельной активности редкометалльных руд 1000 Бк/кг наиболее часто встречающиеся значения этого параметра — 640 Бк/кг, а максимальные значения достигают 2035 Бк/кг, что в 3—5 раз больше предельно допустимых значений для I класса материалов с повышенным содержанием природных радионуклидов [2]. Основной вклад в эффективную удельную активность вносят уран-238 (радий-226) и торий-232 (63 %).

Процессы обогащения редкометалльно-редкоземельных руд чаще всего приводят к концентрированию природных радионуклидов и накоплению их в концентратах.

Одной из главных проблем реализации гидрометаллургических схем переработки концентратов является