

УДК 550.8.012:553.495

Машковцев Г.А., Гребенкин Н.А., Овсянникова Т.М.,
Прохоров Д.А., Ржевская А.К., Стародубов А.В.,
Березнев М.В., Коротков В.В. (ФГБУ «ВИМС»)

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ СКРЫТЫХ УРАНОВЫХ МЕСТО- РОЖДЕНИЙ

*Проблема выявления и оценки скрытых рудных, в том числе урановых объектов является наиболее актуальной в мировом геологическом сообществе в связи со значительным истощением за предшествующее столетие фонда легко открываемых приповерхностных объектов. Наиболее эффективно она решается канадскими геологами, успешно выявляющими с применением новых поисковых технологий глубокозалегающие урановые месторождения типа «несогласия». Российская урановая геология делает первые шаги в этом направлении. В этой связи в предлагаемой статье рассматриваются методические подходы по прогнозу и поискам скрытых месторождений урана жильно-штоковеркового и палеоруслового типов. **Ключевые слова:** скрытые урановые месторождения, рифтогенные структуры, глубинные геолого-структурные модели рудных объектов, геофизические и геохимические методы, тектоно-магматическая активизация.*

Mashkovtsev G.A., Grebenkin N.A., Ovsyannikova T.M.,
Prokhorov D.A., Rzhetskaya A.K., Starodubov A.V., Bereznev
M.V., Korotkov V.V. (VIMS)

SOME METHODOLOGICAL APPROACHES OF THE IDENTIFYING OF HIDDEN URANIUM DEPOSITS

*The identifying and evaluating of hidden ore objects, including uranium deposits, is the most urgent in the world geological community due to the significant depletion of the easily discovered near-surface objects fund over the previous century. It is most effectively solved by Canadian geologists who successfully identify deep-lying uranium deposits of the «unconformity» type using new exploration technologies. Russian uranium geology is taking its first steps in this direction; in this regard, the article considers the methodological approaches to prediction and searching for hidden uranium deposits of the vein-stockwork and paleochannel types. **Keywords:** hidden uranium deposits, rift structures, deep geological and structural models of ore objects, geophysical and geochemical methods, tectonic-magmatic activation.*

За вторую половину XX в. и последние двадцать лет в России, да и в мире в целом, во многом исчерпан минерально-сырьевой потенциал урана, связанный с приповерхностными легко выявляемыми эндогенны-

ми жильно-штоковерковыми месторождениями, что было обусловлено колоссальным интересом СССР и других государств к ядерному оружию, а позднее — к новому атомному источнику производства электроэнергии. Активно опосредованы районы, перспективные на обнаружение экзогенных пластово-эпигенетических месторождений в песчаниках, а также районы с поверхностными накоплениями урана в регионах Австралии и Африки с сухим жарким климатом, где выявлены и осваиваются крупные объекты в калькре-тах, салькредтах и др.

Россия располагает крупной МСБ урана — более 720 тыс. т, которая включает месторождения нескольких промышленных и геолого-генетических типов: в долгоживущих разломах древнего фундамента — Эльконский район, в вулкано-тектонических структурах (ВТС) — Стрельцовское рудное поле (СРП) и ряд мелких объектов (Ласточка, Светлое и др.), в русловых песчаниках — Витимский и Зауральский районы и некоторые другие, которые из-за малых масштабов не имеют промышленного значения как, например, Березовое и Горное в высокорadioактивных гранитоидах.

Однако геолого-экономические параметры месторождений Эльконского района из-за низкого качества и глубокого залегания руд достаточно низкие и не востребованы рынком, на объектах СРП, разрабатываемых более 40 лет, остаточные запасы, исключая запасы подготавливаемых к освоению месторождений Жерловое и Аргунское, также связаны с бедным оруденением, а рудный потенциал русловых месторождений, пригодных для разработки скважинным подземным выщелачиванием (СПВ), пока невелик и ограничивается осваиваемыми Зауральским (15,2 тыс. т) и Витимским (37 тыс. т) районами.

Таким образом, в современном состоянии МСБ урана РФ располагает лишь незначительной — 10–12 % долей рентабельных для разработки запасов, основная часть которых будет отработана к 2035 г. Поэтому по настоящему государственной задачей является расширение МСБ за счет выявления и оценки рентабельных объектов. Перспективы выявления подобных месторождений имеются для песчаникового типа и для месторождений с богатыми рудами в скальных породах под горный способ отработки — в вулкано-тектонических структурах (ВТС) и в древних структурно-стратиграфических несогласиях (ССН). Технология выявления и оценки месторождений в песчаниках, связанных с региональными зонами пластового окисления, которые по происхождению являются скрытыми, давно апробирована практикой поисковых работ в Средней Азии и Казахстане и не нуждается в рассмотрении в данной статье. В тоже время выявление урановых объектов палеоруслового

типа, представляющих собой относительно локальные рудные скопления, вызывает определенные трудности. Однако основной проблемой является прогноз и поиски эндогенных месторождений богатых руд в вулкано-тектонических структурах (ВТС) и зонах древних структурно-стратиграфических несогласий (ССН).

Очевидным является тот факт, что за 40-летний послевоенный период опосредованное и оценка ураноносности современной поверхности крупных перспективных территорий были осуществлены с необходимой полнотой и достоверностью, что объясняется естественной радиоактивностью урановых руд и развитием всего комплекса специальных методов — аэрогаммаспектрометрии, авто- и пешеходного радиометрического прослушивания. Большую позитивную роль в выявлении объектов сыграли, так называемые «массовые поиски урана», проводившиеся с обязательным радиометрическим сопровождением геологоразведочных работ — геологосъемочных и поисковых на другие полезные ископаемые в пределах перспективных на уран регионов. Однако в своем большинстве эндогенные урановые объекты, сформировавшиеся на значительных глубинах, выявлены только потому, что в результате пострудного тектогенеза и эрозии продуктивных блоков они были выведены на современный приповерхностный уровень и стали доступными для радиометрического опосредования.

Значительный ресурсный потенциал урана в РФ связан с невоскрытыми объектами, для прогнозирования и поисков которых требуется существенная модернизация соответствующих технологий как для гидротермальных, так и для экзогенно-эпигенетических объектов руслового типа.

Гидротермальные жильные и жильно-штокверковые месторождения

Проблема ожидаемого дефицита уранового сырья в Североказахстанской (Кокчетавской) провинции наметилась уже в 1960-е годы в связи с активным истощением фонда разрабатываемых приповерхностных месторождений. Тогда был взят верный курс на прогноз и поиски палеозойских объектов того же жильно-штокверкового типа, перекрытых чехлом осадочных, глинисто-песчаных неоген-четвертичных отложений.

Большим коллективом специалистов ВИМСа и геологов Степного ПГО (Казахстан) под руководством А.Н. Еремеева (ВИМС) была разработана и внедрена в практику специальная технология выявления погребенных жильно-штокверковых урановых месторождений, реализация которой дала значительный прирост минерально-сырьевой базы региона [2, 3]. Изначально предусматривалось, что оруденение выведено на преднеогеновый эрозионный срез, в соответствии с чем в качестве представительного горизонта поисков должны были служить нижние части коры выветривания.

Технология включала большой комплекс геофизических исследований, нацеленных на выделение геолого-структурных обстановок локализации оруденения и околорудных ореолов гидротермально-метасоматических преобразований в продуктивном

фундаменте, а также значительный объем поискового бурения до представительного горизонта с выделением локальных геохимических ореолов урана и сопутствующих элементов в коре выветривания и в неоген-четвертичном комплексе отложений, и завершающее оценочное бурение на определившихся перспективных участках с локализацией промышленного уранового оруденения и определением его основных параметров. Однако решение проблемы поисков «слепых» или собственно «скрытых» месторождений, не выходящих ни на современную, ни на какую-либо древнюю эрозионную поверхность, имеет более сложный характер. В методическом отношении технология прогноза и поисков объектов данного типа должна, по нашему мнению, опираться на ранее разработанную в ВИМСе обобщенную историко-геологическую модель гидротермального уранового рудообразования, которая уже многие годы является основополагающей при прогнозе и поисках урана. Она включает три основных этапа развития рудоносных блоков земной коры: рудоподготовительный, рудный и пострудный [9, 10].

Рудоподготовительный этап включает процессы формирования объемных источников урана в виде крупных гранитогнейсовых куполов с повышенными концентрациями радиоактивных элементов — урана и тория, с проявлением на заключительных стадиях гранитизации лейкогранитов и постгранитизационного кремнекалиевого метасоматоза, сопровождающихся перераспределением урана с возрастанием доли подвижных форм. Подобные структуры формировались длительное время (n-100 млн л) в условиях конструктивного плутоногенного геотектонического режима. Гранитогнейсовые купола с повышенной радиоактивностью контролируют положение крупных урановорудных районов: Нижне-Тимптонский архейский гранитогнейсовый массив на Алданском щите — Эльконский район; гранитогнейсовые купола Чешского срединного массива — Рудногорский район; архей-раннепротерозойские массивы Нанамбу и Нимбуванг — район Алигейтор Ривер в Северной Австралии; гранитизированный Уруллонгуевский блок в Юго-Восточном Забайкалье — Стрельцовский район и др. Как правило, в результате завершающей пневматолито-гидротермальной деятельности в апикальных и краевых частях куполов проявлены калишпатизация, микроклинизация, скарнирование и альбитизация, продукты которых несут повышенные концентрации урана, в т.ч. рассеянный уранинит.

В рудный этап проявлена вся совокупность процессов, необходимых для масштабного рудообразования: тектоно-магматическая активизация (ТМА) рифтогенного или тафрогенного типа с деструкцией земной коры и образованием зон тектонических нарушений растяжения и брекчирования пород, проявление магматизма основного состава мантийного или нижнекорового происхождения, свидетельствующего об активизации глубинных геосфер, и, наконец, активная деятельность по открытым тектоническим зонам гидротермальных процессов с растворами углекислого

и углекисло-хлоридного составов, которые благодаря высокой химической агрессивности способны активно выщелачивать и перераспределять уран и сопутствующие компоненты из высокорadioактивных пород и отлагать его в виде масштабного контрастного оруденения в благоприятных структурно-формационных обстановках на термо-барогеохимических барьерах.

Таким образом, процессы рудоподготовительного и рудного этапов являются общими для гидротермальных урановых месторождений приповерхностных, перекрытых поздними осадками, и собственно скрытых.

Именно третий, *пострудный этап* ответственен за положение объектов в современном разрезе земной коры. Все выявленные, оцененные и разрабатываемые месторождения выведены на приповерхностный, в т.ч. на эрозионный уровень благодаря поздним, в основном фанерозойским, преимущественно орогенным тектоническим процессам.

Так, например, крупные объекты богатых урановых руд провинции Атабаска, как известно, сформированы на значительных глубинах (до 1000 и более м) и в большинстве своем являются скрытыми, «слепыми». В то же время, один из первенцев провинции, месторождение Раббит Лейк, расположенное в самой ее восточной части, было вовлечено вместе с рудовмещающим комплексом пород в орогенез, сопровождавший частичным разрушением верхней части руд и образованием на современной поверхности шлейфов из их обломков и развитием окислительной рудной зональности [6, 12]. Именно благодаря этим процессам оно было выявлено аэропоисками, а впоследствии в результате его детального изучения был разработан комплекс критериев, успешно используемый при выявлении и оценке скрытого оруденения. В то же время, пока единственный в РФ крупный Стрельцовский урановорудный район, связанный с одноименной вулcano-тектонической структурой кальдерного типа, изначально являлся скрытым объектом, в пределах которого было известно небольшое по масштабам аномальное геохимическое поле урана, отделенное в разрезе от промышленного оруденения значительным по мощности безрудным интервалом с флюоритовой минерализацией. Его выявление и последующая разведка были связаны с профессиональной интуицией и организационным талантом выдающегося геолога-рудника, в ту пору главного геолога экспедиции № 324 Сосновского ПГО Л.П. Ишуковой [4].

Методические подходы для плановых прогноза и поисков месторождений богатых руд в ВТС и зонах ССН, перспективы которых определены в крупных регионах Сибири и Дальнего Востока, предусматривают два масштаба исследований — региональный, применительно к выделению потенциальных рудных районов, и детальный, применительно к рудным узлам и рудным полям месторождений.

Выделение в естественных геологических границах районов и крупных площадей, перспективных на выявление гидротермальных месторождений в ВТС и зоне ССН, как приповерхностных, так и скрытых,

должно базироваться на мелкомасштабном региональном анализе всего комплекса геолого-геофизических данных для определившихся потенциально ураноносных регионов. При этом должны быть осуществлены следующие исследования:

— историко-геологический анализ территорий с выделением эпох и структурно-формационных подразделений, соответствующих рудоподготовительному, рудному и пострудному этапам;

— подготовка по имеющимся материалам предшественников комплексной структурно-формационной, петрологической и минерагенической характеристик кристаллического основания с выделением крупных гранитизированных структур — возможных источников урана при гидротермальном рудообразовании;

— тщательный анализ структурно-формационного выражения ТМА с выделением и характеристикой плутоногенных и рифтогенных структур, особенно вулканических образований базитового состава, определяющих глубинность активизации; крупных тектонических зон и узлов их пересечения, способных играть роль дренирующих систем для восходящих газозо-жидких агентов; состава, последовательности и масштаба проявления гидротермальных изменений с выделением глинисто-гидрослюдистых и хлоритовых, часто сопровождающих урановое оруденение; определение генетического типа рудопроявлений, связанных с ТМА, и других особенностей;

— определение мощности, литологического состава перекрывающего покрова, глубины залегания рудоперспективных горизонтов земной коры.

Учитывая скрытый характер ожидаемого оруденения далеко не на все вопросы можно ответить, используя результаты изучения обнажений структурно-формационных комплексов кристаллического фундамента и ТМА. Необходимо проанализировать данные единичных скважин, материалы регионального геологического и минерагенического картирования, результаты глубинных геолого-геофизических исследований и многое другое. В результате по комплексу критериев и факторов рудоносности будут выделены перспективные районы для проведения *региональных геолого-съёмочных и прогнозно-минерагенических работ*, целью которых явится выделение поисковых площадей для выявления рудных узлов, полей и месторождений урана в ВТС и ССН скрытого характера.

Подобные мелкомасштабные прогнозные исследования частично проведены ФГБУ «ВИМС» по территории южного обрамления Восточно-Сибирской плиты. В результате, с учетом ранее полученных данных по ураноносности, определились перспективные районы на выявление месторождений типа «несогласия» на Енисейском кряже, в Восточном Присаянье и в Северном Забайкалье, на некоторых из которых уже ведутся поисковые работы. На Дальнем Востоке, в пределах Каменушинской ВТС Буреинского массива планируется проведение прогнозно-минерагенических исследований. Предшествующими исследованиями перспективные структуры на этот тип объектов

выделены и в Забайкалье. Кроме этих, в основном традиционных районах, на территории РФ, особенно в восточных регионах, имеется ряд перспективных территорий, требующих проведения прогнозных работ и локализации поисковых площадей.

В перспективных районах, где ожидается скрытое оруденение того или другого типа, вновь вводимые в структуру региональных работ *прогнозно-минерагенические исследования*, должны быть нацелены на установление и картирование ведущих критериев рудоносности и на выделение и обоснование локальных участков недр, сопоставимых с потенциальными рудными узлами, полями и месторождениями.

В составе критериев и признаков уранового оруденения в ВТС и ССН в числе основных выделяются:

— гранитизированные блоки фундамента с проявлением кремне-калиевого метасоматоза и повышенной ураноносности;

— наличие в формационном составе фундамента углеродсодержащих пород (применительно к объектам типа «несогласия»);

— наличие древних зон структурно-стратиграфических несогласий с глубиной залегания не более 1,0–1,5 тыс. м (применительно к объектам типа «несогласия»);

— площадные проявления вулканизма кальдерного или иных типов основного или бимодального состава;

— проявления систем открытых трещин, зон брекчирования и обрушения пород, благоприятных для фильтрации гидротермальных растворов;

— проявление рудообразующих систем с ореолами наложенных гидротермально-метасоматических изменений пород, площадными аномалиями урана и сопутствующих геохимических компонентов и ряд других критериев;

— определение геолого-промышленного типа, масштаба и глубины залегания ожидаемого объекта.

В состав прогнозно-минерагенических исследований должны входить:

— анализ геологической, геохимической, геофизической и поисковой изученности масштабов 1:200 000 — 1:50 000 и крупнее;

— рудно-формационный и структурно-формационный анализ на основе маршрутных исследований;

— обоснование по комплексу полученных результатов перспективных участков и локальных площадей, рекомендуемых для проведения поисковых работ;

— проведение комплекса опережающих и заверочных геохимических, геофизических, горных, буровых, минералогических, лабораторно-аналитических и других исследований на перспективных участках, локализация и оценка прогнозных ресурсов кат. P₂;

— подготовка рекомендаций по проведению поисковых работ и проекта поискового техзадания с перечнем основных задач и рациональным комплексом методов.

Проведение *поисковых работ* на скрытое жильное и жильно-штокверковое оруденение следует прово-

дить в три этапа: на первом — разработка достоверной объемной геолого-поисковой модели, на втором — глубинное картирование путем проведения буровых работ, на третьем — проведение всего комплекса лабораторно-аналитических исследований, оценка обогатимости руд путем лабораторно-технологических или минералого-технологических работ и укрупненная геолого-экономическая оценка выявленного объекта с локализованными прогнозными ресурсами урана кат. P₁ и P₂.

Поисковая глубинная геологическая модель ожидаемого скрытого уранового объекта является ключевым фактором успешности геологоразведочных работ. Для ее разработки потребуются глубинно-геологические построения на основе комплексного анализа и обработки имеющихся площадных геофизических съемок м-ба 1:200 000 — 1:50 000 (магнито- и гравиразведочных), результатов профильных и других геолого-геофизических работ предшественников, а также аэрогеофизического картирования. Полученные предварительные данные должны быть существенно уточнены проведением геолого-геофизических и геохимических исследований. В комплекс наземных геофизических исследований должны войти традиционные магнито- и электроразведочные методы, гамма-спектрометрия, а также, учитывая скрытый, глубинный характер ожидаемого оруденения, высокоточная гравиразведка и сейсморазведка.

При этом скважины структурно-картировочного бурения должны играть роль параметрической заверки результатов геофизических работ. Вся совокупность данных, полученных в итоге проведения априорных камеральных и полевых геофизических исследований, должна быть использована для разработки с применением современных компьютерных программных технологий *объемной геолого-структурной основы поисковой модели*, которая должна включать:

— основные элементы структурно-формационного строения кристаллического фундамента — гранитизированные структуры с радиогеохимической специализацией пород, углеродсодержащие и другие породные комплексы, глубину залегания поверхности основания и ее морфологические особенности, мощность погребенных площадных и линейных кор выветривания, основные тектонические нарушения и др.;

— структурно-формационные элементы продуктивного этапа ТМА — проявления основного, щелочного и кислого магматизма в виде вулканических, субвулканических и интрузивных образований;

— основные тектонические нарушения крутопадающие и пологие, зоны брекчирования и интенсивной трещиноватости;

— блоковую структуру объекта, включая литолого-структурное строение и мощность перекрывающего осадочно-вулканогенного и рудовмещающего комплексов, гипсометрический уровень и рельеф нижней границы потенциально продуктивных пород;

— зоны гидротермально-метасоматических изменений пород, намечаемые по данным геологических и геофизических исследований.

При формировании модели необходимо учитывать геолого-структурные условия локализации и морфогенетические особенности руд эталонных объектов.

Составленная таким образом объемная модель геолого-поисковых работ является базовой основой для проведения *буровых глубинных поисков*, включающих: литолого-структурное, минералого-петрографическое, геохимическое и радиометрическое картирование, выявление уранового оруденения и локализация прогнозных ресурсов кат. P_1 и P_2 , технологическое определение обогатимости руд и укрупненную геолого-экономическую оценку объекта.

За последние годы при проведении поисковых работ существенно возросла роль геофизических технологий. Так, во впадине Атабаска поисковые работы на тип «несогласие» всегда предваряются аэроэлектроразведкой. При этом, если какой-то электроразведочный метод не приносит результата, разрабатывается его модификация, которая успешно выявляет потенциально рудоносные графитсодержащие метapelиты (проводники). Как правило, электроразведка осуществляется в комплексе с другими геофизическими методами — аэрогамма-съемкой и гравиметрией, нацеленными на выявление прямых поисковых признаков — радиоактивных аномалий и зон околорудных гидротермально-метасоматических изменений.

Современные поисковые методы применительно к скрытым урановым объектам — геофизические и геохимические, в основном имеют зарубежное и отчасти отечественное происхождение. В области *геофизических технологий* первостепенное значение и опережающую роль в поисковой практике играет аэрогеофизика, включая активно развивающиеся беспилотные технологии. Традиционные аэропоиски в настоящее время имеют весьма высокий уровень развития за счет оснащения бортового комплекса высокоразрешающей аппаратурой. В отечественной практике при проведении гамма-спектрометрических съемок используют современные цифровые 1024-х каналные спектрометры RSX-4 (RSX-5) с полициновыми детекторами NaJ (Ti), общей емкостью до 48 л. Аэромагнитные съемки проводятся с использованием высокоточных аэромагнитометров серии AEROMASTER с датчиками CS-VL, CS-3 (Scintrex, Канада) (АО «ГНПП Аэрогеофизика»), а также GT-MAG (GEO Technologies). Среди электроразведочных комплексов выделяются системы HELITEM MULTIPULSE TM, «Экватор» (GEO Technologies). Комплекс аэрогеофизических исследований также включает гравиметрию, которая пока применяется в основном при региональных геологических исследованиях с использованием аэрогравиметров GT-2A (разработка НТП «Гравиметрические технологии») и др. Недалек тот день, когда бортовые гравиметры будут обеспечивать достоверной информацией при поисковых работах. Аэрогеофизический комплекс способен решать широкий круг задач при поисках скрытых эндогенных урановых объектов. Первоочередное значение имеет уточнение геологического строения потенциального рудного района

или узла с выделением элементов, имеющих критериальное значение. В их числе могут быть: узлы тектонических зон, локальные депрессионные структуры, структуры обрушения, разрывные нарушения растяжения и другие обстановки, благоприятные для локализации жильного и штокверкового оруденения, скрытые plutонические структуры лейкократовых гранитоидов, являющиеся возможными объемными источниками урана при гидротермальном рудообразовании, проявления мелких базитовых тел — штоков, даек и других, маркирующих глубинную деструкцию недр, благоприятную обстановку для масштабного проявления восходящих газовой-жидких, в т.ч. рудообразующих растворопотоков, сульфидсодержащих зон гидротермально-метасоматических преобразований вмещающих пород, нередко сопровождающих урановое оруденение, площадные аномалии повышенной радиоактивности, которые могут являться внешними ореолами скрытого на глубине промышленного уранового оруденения и другие элементы. На современном этапе развития беспилотных геофизических технологий целесообразно их применение на локальных, наиболее перспективных участках изучаемых площадей с целью детализации выявленных традиционной геофизической съемкой аномалий, обусловленных структурными осложнениями, и радиоактивности.

Среди наземных геофизических исследований при поисках скрытых урановых объектов широкое применение получили: зондирование методом переходных процессов (ЗМПП), высокоточная гравиразведка и малоглубинная сейсморазведка.

Использование *метода переходных процессов*, основанное на изучении неустановившегося электромагнитного поля, возникающего в горных породах в момент выключения тока в питающей цепи, позволяет получить представление о дифференциации разреза по электрическим свойствам без гальванических заземлений, что особенно важно в условиях полной обнаженности скальных пород (Инструкция по электроразведке. Л.: Недра, 1984 г.).

Особое значение при выборе методики съемки имеет необходимая глубинность исследований, которая в случае использования ЗМПП определяется оптимальным количеством и размером установок. Размер петли, как правило, выбирается меньше требуемой глубины, что позволяет повысить детальность исследований как по горизонтали, так и в вертикальном направлении. При увеличении размера контура установки увеличивается и начальная глубина исследований, с которой возможно определение строения геоэлектрического разреза. Для повышения разрешающей способности распространена практика работ с совмещенными установками, когда на одной точке зондирования используют петли разного размера. В зависимости от решаемой задачи и условия проведения работ используют различные программно-аппаратурные комплексы, такие как ТЕМ-FAST, ЦИКЛ и др.

Методика проведения *гравиразведки* регламентируется инструкцией по гравиметрической разведке

(Москва, Недра, 1975 г.). В первую очередь определение сети исследований и ее ориентировки напрямую связаны с размерами рудно-метасоматических зон и их направлением. Как правило, мощность и протяженность одной такой зоны варьирует от десятков до сотен метров. Исходя из этого, съемку необходимо проводить вкрест простирания предполагаемых потенциально рудоносных структур с шагом 25–50 м и детальнее. Расстояние между профилями должно составлять 200–100 м. Однако если поиски нацелены на выявление линейных зон, то расстояние между профилями можно увеличить до 400–200 м.

Предпосылками для успешного применения *малоглубинной сейсморазведки*, которая выполняется в рамках инструкции по сейсморазведке (ГФУП ВНИИГеофизика, Москва, 2003 г.) при проведении поисковых работ как на жильно-штоковковый тип в ВТС, так и на тип «несогласие» является различие в скоростных характеристиках пород, располагающихся на границе кристаллического фундамента и осадочно-вулканогенного чехла. Именно в таких зонах, смещенных сбросо-взбросовыми структурами, располагаются рудные тела. Схема сейсмических наблюдений выбирается в соответствии с методикой последующей обработки данных. От выбора геометрии установки, типа возбуждения и регистрации сигналов зависит глубинность исследований.

Одно из последних крупных открытий во впадине Атабаска — месторождение урана Эрроу, располагающееся в ее юго-западной части (зона Патерсон Лейк), было открыто благодаря комплексированию методов сопротивления на постоянном токе в аэро-

варианте и наземной гравиметрической съемкой по сети 200 × 50 м. В процессе ГРП были выявлены перспективные зоны проводимости в фундаменте, отвечающие потенциально рудовмещающим графитовым проводникам. По результатам наземной гравиметрической съемки выделены многочисленные отрицательные локальные аномалии силы тяжести, которые интерпретировались как области развития интенсивных окolorудных метасоматических изменений глинистого типа. Эти аномалии, трассируемые зонами повышенной электропроводимости, явились объектами дальнейшего поискового бурения, которое и привело к открытию очередного рудного гиганта в бассейне Атабаска (рис. 1).

Отечественный опыт применения ЗМПП, высокоточной гравиметрии и малоглубинной сейсморазведки при проведении ГРП на тип «несогласия» отмечен при проведении поисков на уран в Чарском районе (Северное Прибайкалье), где были выделены аномальные зоны электропроводимости, связанные с ксенолитами рудоперспективных углерод- и сульфидсодержащих нижнепротерозойских сланцев, и откартирована предрифейская рудоконтролирующая зона ССН. Выделенные структурные неоднородности были надежно заверены бурением. На флангах уранового месторождения Столбовое (Восточное Присяянье) с помощью высокоточной гравиметрической съемки были успешно выделены рудоконтролирующие зоны тектоно-метасоматической проработки вмещающих пород, отвечающие локальным минимумам силы тяжести (рис. 2).

С целью выбора оптимального поискового комплекса геофизических исследований построения геолого-геофизической модели, а также

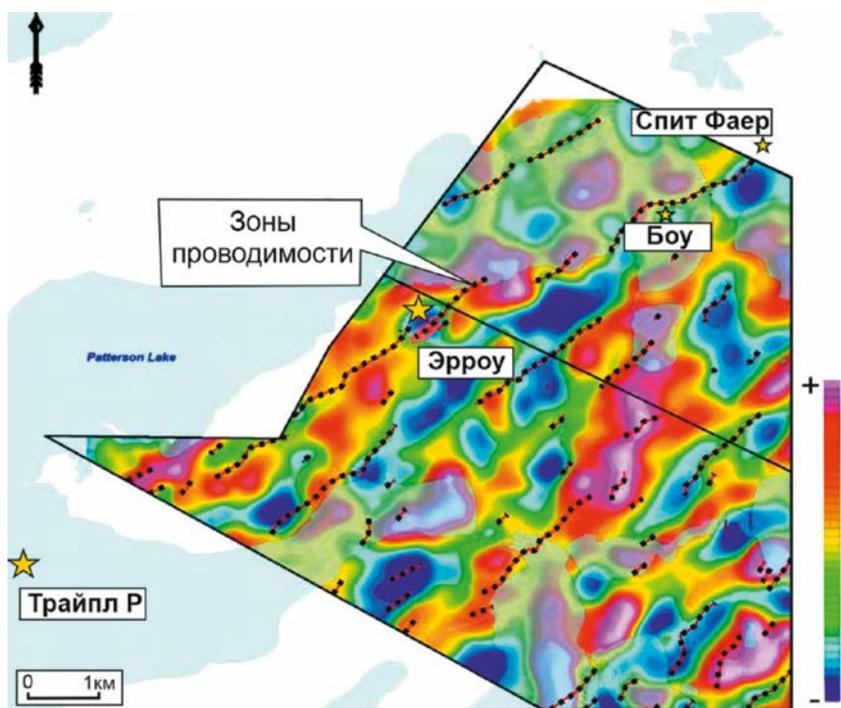


Рис. 1. По данным компании NexGen Energy Ltd месторождение Эрроу на карте гравитационного поля располагается внутри локальной отрицательной гравиметрической аномалии, трассируемой зоной проводимости

геологической интерпретации геофизических данных, поисковые и прогнозно-минерагенические работы должны предваряться *петрофизическими исследованиями каменного материала*. Проведение таких исследований на каменном материале с месторождения Столбовое позволило смоделировать результаты планируемых геофизических работ и соответственно определить оптимальный комплекс геофизических методов в схожей геологической ситуации в целом для Восточно-Присяянского района.

По данным документации керна скважин и отстроенных разрезов существенно уточняется структурно-формационное и литолого-петрографическое строение объекта с выделением локальных обстановок — зон интенсивной трещиноватости, структурных ловушек и т.п., благоприятных для проявления рудообразующих процессов и локализации оруденения. Наиважнейшей задачей исследований является установление гидротермаль-

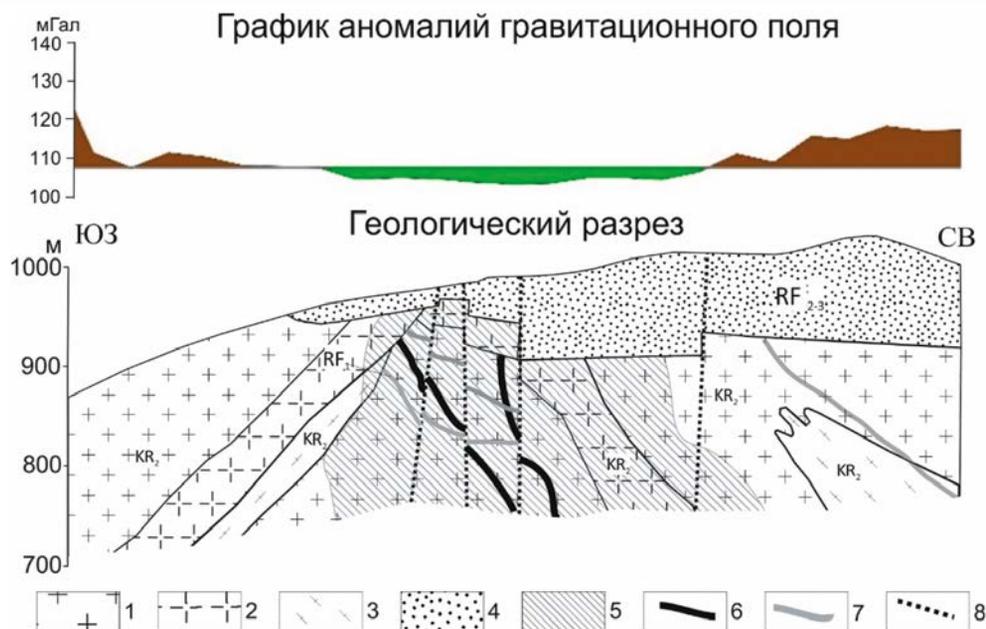


Рис. 2. Перекрытая рудно-метасоматическая зона месторождения Столбовое пространственно совпадает с локальным минимумом силы тяжести: 1 — гранитоиды (KR_2); 2 — пегматиты (KR_2); 3 — кристаллические сланцы (KR_2); 4 — метапесчаники (RF_{2-3}); 5 — околорудные метасоматиты; 6 — рудные тела; 7 — дайки габбро-долеритов (RF_1); 8 — разломы

ной околорудной зональности на основе детального картирования по керну скважин типовых кислотно-щелочных изменений вмещающих пород. Для оперативного полевого решения этой задачи целесообразно использовать портативные малогабаритные спектрометры, работающие в UV-Vis-NIR диапазоне и хорошо зарекомендовавшие себя при картировании гидротермалитов по керну скважин и в обнажениях. Так, специалистами ВИМСа на опытно-методическом полигоне в пределах рудного поля месторождения Столбовое был успешно апробирован метод UV-Vis-NIR-спектроскопии прибором TerraSpec 4 HR при выделении по образцам и керну скважин основных видов минеральных новообразований березитового типа, которые были подтверждены по результатам анализа стационарным дифрактометром X'Pert PRO, а также традиционными оптическими наблюдениями (рис. 3). По совокупности данных полевых и лабораторных исследований необходимо

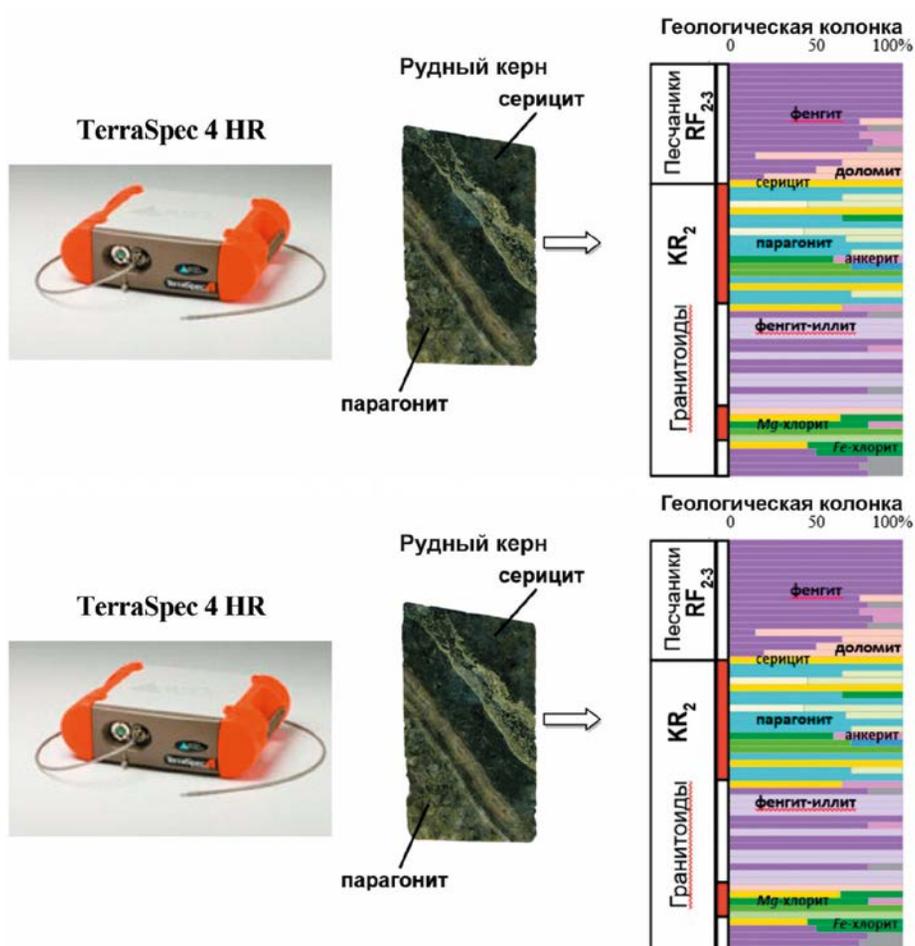


Рис. 3. Метод UV-Vis-NIR-спектроскопии прибором TerraSpec 4 HR позволяет картировать околорудную глинисто-гидрослюдистую минерализацию. Красные столбцы на геологической колонке — интервалы с повышенными содержаниями урана

определять зональность гидротермальных изменений, в ядре которой ожидается урановое оруденение.

Особый интерес при глубинных поисках бурением представляют *геохимические исследования*, направленные на установление первичных геохимических ореолов скрытых рудных объектов. Эту задачу также необходимо решать в полевой период, используя данные каротажа скважин и результаты изучения керна скважин с использованием полевых портативных рентгено-флюоресцентных приборов. Тестирование прибора Olympus Vanta M на том же полигоне показало высокую сходимость результатов по ряду

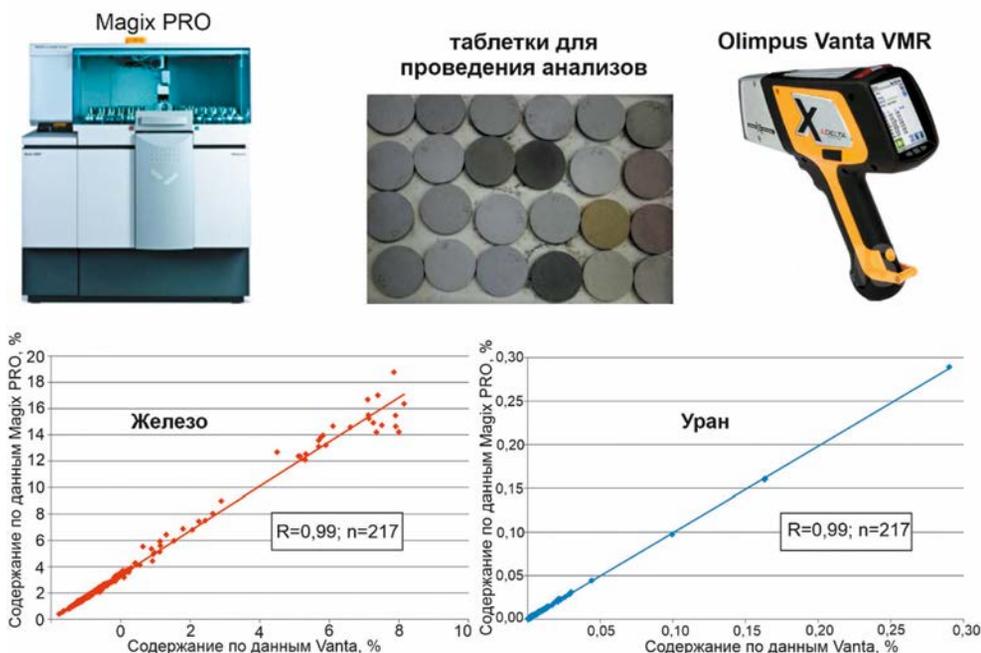


Рис. 4. Высокая степень корреляции между результатами анализов химического состава рентгеноспектральным методом стационарным (Magix PRO) и портативным (Vanta M) приборами

элементов со стационарной аппаратурой Mag'xPRO (рис. 4). Полевое применение такого прибора позволяет скорректировать первоначально намеченный план буровых работ и систему опробования ядра скважин. Совокупный анализ первичных полевых и, главное, лабораторно-аналитических данных необходимо использовать для определения геолого-генетического типа, уровня эрозийного среза и масштаба ожидаемого уранового оруденения.

Существенное место в геохимической модели урановорудного объекта занимает поверхностное (в почвах) низкоинтенсивное вторичное концентрирование урана и сопутствующих элементов, связанное со скрытым оруденением на глубине. Так как фонд легко открываемых месторождений на малых глубинах практически исчерпан, то методике выявления и оценки подобных аномалий, а также изучению механизмов их формирования в настоящее время придается большое значение. Одними из первопроходцев этого направления в геохимии были сотрудники ВИМСа — В.И. Малышев, З.А. Соколова, А.Е. Бахур, в начале 1980-х годов разработавшие поисковый изотопно-почвенный метод (ИПМ) [1, 8], который затем применялся на многих урановых объектах СССР. В основе метода лежит фракционирование дочерних продуктов распада (ДПР) урана ^{210}Po и ^{210}Pb в процессах постоянного квазивертикального массопереноса в геологической среде, выражающееся в формировании аномальных почвенных изотопных ореолов $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ над погребенными рудными телами. Метод реализуется в профильном или площадном вариантах по стандартной поисковой сети (расстояние между профилями 100–250 м, между точками опробования 25–50 м); отбор

почвенных проб ведется из обогащенного глинистым материалом иллювиально-го горизонта «В»; в лаборатории после сушки и выделения тонкой фракции материала проб из нее производят экстракцию радионуклидов слабым раствором HCl , концентрируют их и выделяют группу изотопов Po и Pb , затем активность ^{210}Po и ^{210}Pb измеряют альфа-бета-радиометрическим методом с использованием низкофоновых радиометров «УМФ-2000» (НПП «Доза»). Позднее для повышения достоверности и информативности получаемых геохимических данных ИПМ был дополнен соответствующими процедурами с определением комплекса изотопных показателей, в т.ч. изотопных отношений $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в карбонатных вытяжках из тех же почвенных проб (активности изотопов U , извлеченных из проб раствором соды и селективно выделенных на стальные подложки с помощью радиохимических приемов, измеряют альфа-спектрометрическим методом на спектрометрах с PIPS-детекторами, например, «OrtecOctete/Ocsp1-U0600-PPS230»).

В благоприятной обстановке метод позволяет локализовать положение скрытого уранового оруденения на глубинах до 600 м [1]. При использовании ИПМ на рудопроявлении типа «несогласия» Бухаровское (Сев. Прибайкалье) скрытая под чехлом рифейских песчаников мощностью ~100 м серия урановорудных зон зафиксирована по контрастным аномалиям мультипликативных изотопных показателей МП $^{210}\text{Po} \times ^{210}\text{Pb}$ и МП(У) $^{234}\text{U} \times ^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (рис. 5). Детальное описание ИПМ содержится в «Инструкции по применению изотопно-геохимических методов с частичной экстракцией при поисках скрытых и слабопроявленных месторождений урана» (2018 г.).

Неплохие перспективы по выявлению глубокопогребенных урановых месторождений как гидротермального жильно-штокверкового, так и экзогенно-эпигенетического палеодолинного типов, имеют «глубинные» био- и атмогеохимические методы, в частности низкофоновая альфа-бета-радиометрия, мультиэлементный и изотопный анализ озоленных проб растительности, микробиологическое опробование (МЕТ) с отбором почвенных проб, выделением бактериального материала и определением аномальных значений его количественных характеристик по введенной кислородной метке, установление аномальных ореолов изотопных отношений $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

в газах, десорбируемых из глинистой фракции почв и др. Эти виды геохимических исследований обычно сочетаются с «традиционным» почвенным опробованием и проводятся по той же сети или по нескольким отдельным профилям на наиболее перспективных участках (расстояние между профилями 100–250 м, между точками опробования 25–50 м). Заранее, на этапе опытно-методических работ, уточняется методика пробоотбора, устанавливаются наиболее эффективные объекты-индикаторы оруденения (в т.ч. растения-концентраторы и др.). Лабораторный этап работы с пробами предполагает «мягкое» (обычно с

помощью слабых растворов кислот) извлечение и/или концентрирование определяемых компонентов и последующий количественный анализ с помощью хромато-масс-спектрометрических методов, а также относительно простыми альфа-бета-радиометрическим или индикаторным методами. По результатам таких комплексных исследований, включавших также классическое геохимическое опробование почвогрунтов, над скрытым месторождением типа «несогласия» Сентенниел (Бассейн Атабаски, Канада), расположенным на глубине ~800 м в зоне ССН, были установлены многочисленные комплексные аномалии.

Комплексный анализ данных геофизических, геохимических, минералого-аналитических и других исследований, проведенных на перспективной площади, позволяет локализовать детальные участки для последующего поискового бурения. При получении положительного результата необходимо установить геолого-промышленный тип объекта, определить качество руд и дать количественную оценку их параметров — прогнозных ресурсов кат. Р₁ и Р₂. В завершении проведенных ГРП необходимо провести технологические исследования по обогатимости руд и геолого-экономическую оценку выявленного объекта, определяющую целесообразность его освоения разведочными и горно-добычными работами.

Очевидно, что изложенные методические подходы существенно зависят от ожидаемого геолого-промышленного типа объекта, геолого-структурной и ландшафтно-геоморфологической обстановки района работ и должны корректироваться в процессе ГРП.

Палеорусловые гидрогенные месторождения урана

Перспективы выявления урановых месторождений этого типа имеются на территории РФ в Южной части Западной Сибири, в Забайкалье, Приморье и на Дальнем Востоке. В связи с этим, а главное, с экономической целесообразностью получения металла из гидрогенных месторождений, прогноз, поиски и освоение этих объектов является одной из первоочередных задач уранового направления. Выявление месторождений палеоруслового типа,

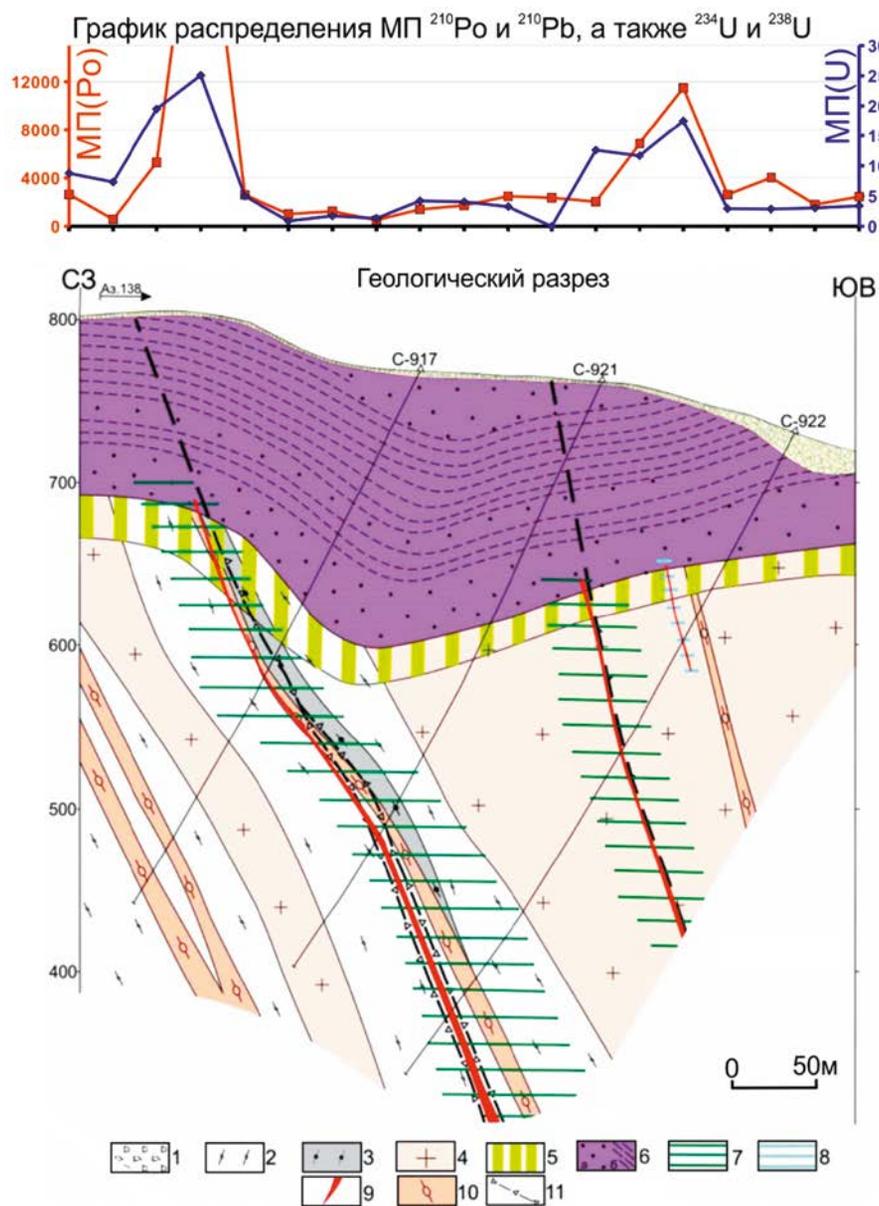


Рис. 5. Почвенные аномалии мультипликативных показателей ^{210}Po , ^{210}Pb и МП(У) ^{234}U , ^{238}U над скрытыми урановородными зонами (показаны красным цветом) рудопоявления Бухаровское: 1 — элювиально-делювиальные отложения (Q); 2–3 — кристаллические сланцы (2), в т.ч. углеродсодержащие (3) (KR₂); 4 — гранитоиды (KR₂); 5 — кора выветривания (RF₁); 6 — отложения рифейского чехла (RF₁); 6а — метапесчанники и метаконгломераты; 6б — металевролиты и хлорит-серицитовые сланцы; 7–8 — метасоматиты с U-сульфидной (7) и U-P минерализацией (8) (RF₁₋₃); 9 — урановородные тела; 10 — зоны бластомилонитов; 11 — зоны брекчирования

обычно представленных локальными скоплениями, требует реализации комплекса последовательных прогнозных исследований, состав которых, как и в случае с классом эндогенных объектов, определяется историко-геологической моделью рудообразования, в которой также выделяются три этапа — прерудный, рудный и пострудный. Исходной фактической основой разработанных моделей явились материалы многолетнего изучения месторождений Зауралья и Забайкалья [5, 7, 11, 13].

В первый этап в условиях коллизионного тектонического режима формируется кристаллическое основание района, в формационном строении которого присутствуют специализированные на уран магматические и метаморфические комплексы — граниты, кислые вулканиты, кристаллические сланцы, которые могут служить объемным источником металла при гидрогенном рудообразовании. Рудному этапу отвечает умеренное, слабо дифференцированное воздымание территории с развитием эрозионно-аккумулятивных процессов и формированием узких, приразломных русловых структур, выполненных первично сероцветными песчано-глинистыми водопроницаемыми отложениями. На заключительных стадиях этапа, часто в условиях аридизации климата, за счет деятельности инфильтрационных кислородных урансодержащих вод происходило образование промышленных скоплений урана. Важнейшее значение для консервации, сохранности гидрогенных русловых месторождений имеет третий, пострудный этап. В Западно-Сибирском регионе бронирование объектов Зауральского урановорудного района связано с мощной (более 500 м) толщей глинисто-алевролитовых мел-палеогеновых отложений трансгрессивного депрессионного развития региона. В Витимском районе эту роль выполня-

ют неогеновые платобазальты, сформировавшиеся в результате проявления ТМА.

Выделение рудоперспективных *на гидрогенное урановое оруденение* районов не представляется проблемой. Все основные особенности их геологического строения, отвечающих начальному этапу рудообразования и имеющих критериальное значение, определяются в результате анализа мелкомасштабных геологических, геофизических, геохимических карт и других материалов. В то же время поиски и оценка столь локальных объектов ранга рудного поля и месторождения потребуют реализации комплекса специальных методов в ходе проведения прогнозно-минерагенических и поисковых работ, близких по составу рассмотренным в разделе «гидротермальные урановые объекты».

Прогнозно-поисковый комплекс, направленный на выявление объектов *витимского типа*, включает опережающие аэро- и наземные геофизические и специальные геохимические технологии.

В частности, в Витимском урановорудном районе аэроэлектроразведкой надежно картируются осевые зоны перекрытых платобазальтами русловых структур, выраженные пониженными значениями ρ_k (рис. 6), а в Ергенинском — остаточными аэромагнитными аномалиями.

В Витимском районе геофизические и геохимические методы показали себя эффективными для картирования рудовмещающих структур. Так, при поисках здесь палеодолиньных месторождений, перекрытых толщей базальтов, мощность которых может достигать более 100 м, методом переменного естественного электрического поля (ПЭЭП) удается картировать палеорусловые структуры, отвечающие областям пониженной напряженности электрического поля.

Хорошие возможности изотопно-почвенного метода (ИПМ) для картирования погребенного платобазальтами Хиагдинского месторождения, были установлены в 1980-е годы. В последнее время опытными работами на Тетрахском объекте получил положительную апробацию комплекс почвенных технологий. Хороший результат получен при применении изотопии урана в карбонатных вытяжках (модифицированный вариант ИПМ): более легкий и геохимически подвижный изотоп ^{234}U в мультипликативном показателе продемонстрировал прямую связь с погребенным оруденением. Проведенные впервые в мире на таком типе объектов передовые био- и атмогеохимические исследования позволили установить аномалию альфа-активности в озоленных пробах коры лиственницы (рис. 7),

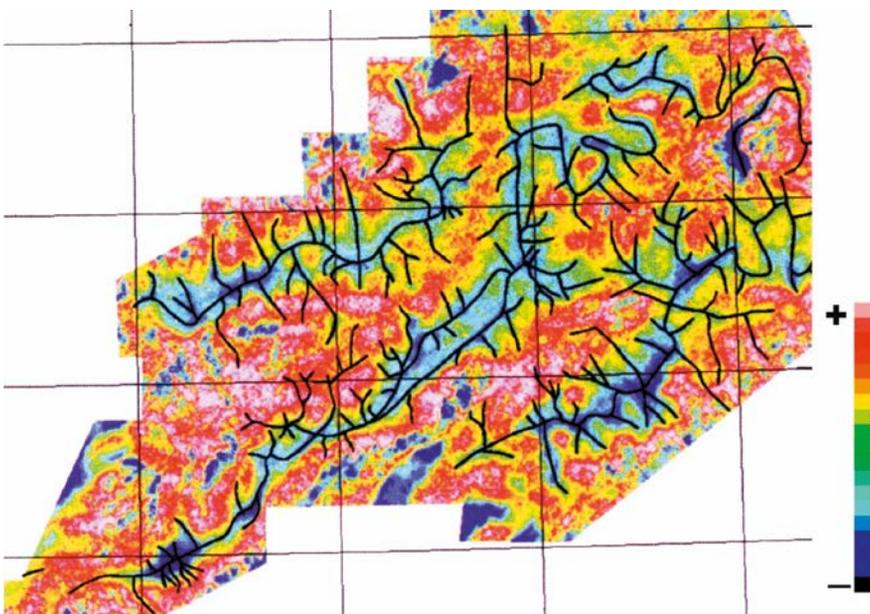


Рис. 6. Палеодолины (линии черного цвета), погребенные под базальтовым покровом, характеризуются пониженным эффективным сопротивлением по результатам аэроэлектроразведки в Витимском урановорудном районе

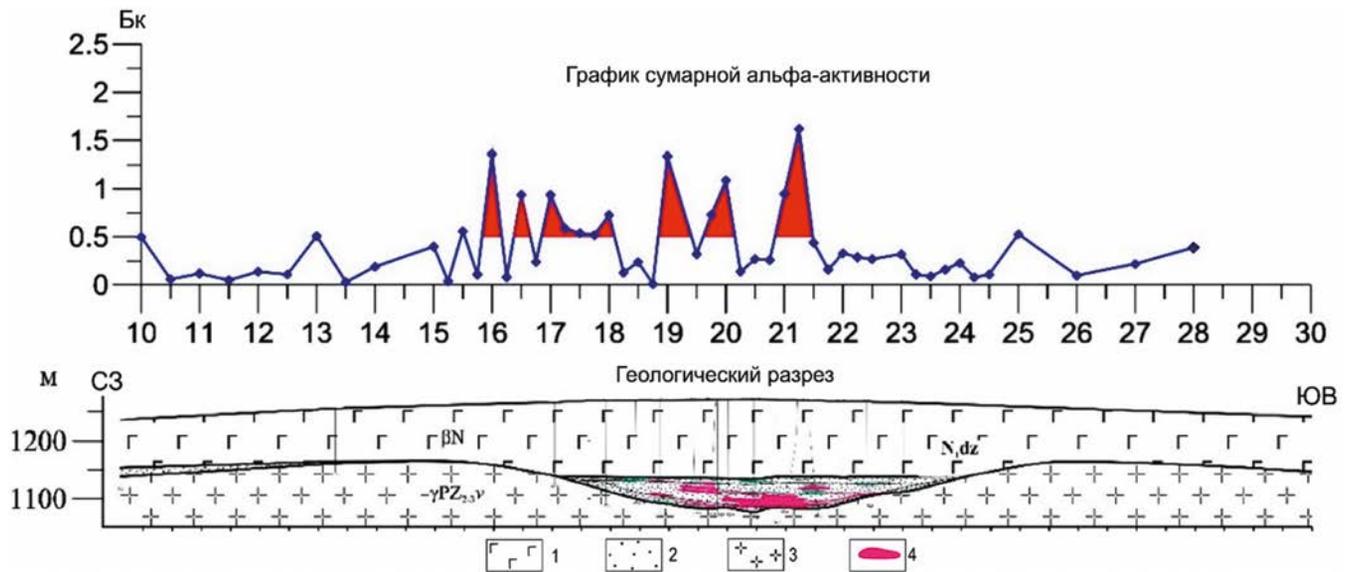


Рис. 7. Многочисленные аномалии суммарной альфа-активности в озоленных пробах коры лиственницы (Бк) над рудной палеодолиной Тетрахского месторождения урана: 1 — вулканогенные породы; 2 — русловые осадочные образования; 3 — гранитоиды витимканского интрузивного комплекса; 4 — урановорудные залежи

а также мультипликативную аномалию нанофракций металлов в почвенном газе (последний способ предполагает пассивную сорбцию компонентов газа на угольные коллекторы, устанавливаемые в неглубокие закопашки в местах отбора почвенных проб, последующее извлечение сорбированных фракций в азотнокислый раствор и мультиэлементный анализ ICP-MS).

Таким образом, совместное применение и анализ геофизических и геохимических методов может с успехом использоваться при поисках погребенных рудоносных палеорусел.

При прогнозе и поисках урановых палеорусловых объектов *зауральского типа*, перекрытых мощной (более 500 м) глинисто-алевролитовой осадочной толщей, геофизический комплекс имеет свои особенности, которые связаны не только со значительной глубиной их залегания, но и с существенно большими масштабами самих структур — протяженность достигает 100 км и более, ширина составляет первые километры, а глубина вреза в кристаллическое основание — 100 и более метров.

В Зауралье в 1980-е годы специалистами Зеленогорского ПГО Первого Главка МИНГЕО СССР первоначально анализировались карты гравитационного поля м-ба 1:200 000, на которых после специальной обработки предварительно намечались палеорусловые структуры по серии вытянутых друг за другом локальных отрицательных аномалий силы тяжести. Затем на определившихся участках проводилась сейсморазведка, которая с высокой достоверностью определяла положение и пространственные параметры выявленных палеорусел.

Изотопно-почвенные технологии для глубоко залегающих палеорусловых структур пока не разработаны и являются задачей дальнейших исследований. К сожалению, по объективным причинам многие перспек-

тивные работы в этой области не были доведены до конечного методического продукта и не использованы в поисковой практике. В 1970-х годах А.Н. Серых и другими (ВИРГ) были получены первые в мире положительные результаты по определению микроконцентраций урана и сопутствующих компонентов в почвах над зауральскими объектами. Перспективы развития подобных технологий подкрепляются положительным опытом поискового применения ИПМ на гидрогенных урановых месторождениях со значительной мощностью вышележащих глинисто-алевролитовых отложений Центрального Казахстана (Талас, Гранитное) и на уникальных по масштабам объектах Чу-Сарысуйской провинции (Инкай и др.) в Республике Казахстан. В 1980-е годы в Кызылкумской урановорудной провинции на нескольких эталонных месторождениях Г.В. Перевозчиковым (Краснохолмское ПГО, г. Ташкент) были получены положительные результаты атмогеохимического опробования, основанного на анализе состава и концентраций газов в восходящих потоках, формирующихся на границе рудоносных зон выклинивания пластового окисления и неизмененных пород, и частично окклюдирующихся в почвенном слое.

Не оставляет сомнений необходимость развития геофизических и геохимических технологий прогноза и поисков погребенных урановых палеорусловых месторождений с разработкой конкретных методических рекомендаций по их применению.

Заключение

Одной из актуальных задач геологической отрасли является обнаружение скрытых урановых месторождений. Прогнозирование потенциальных рудных районов должно базироваться на мелкомасштабном региональном анализе всего комплекса геолого-геофизических данных для определившихся потенциально ураноносных регионов с созданием историко-геологи-

ческой модели, включающей 3 основных этапа развития рудоносных блоков земной коры: рудоподготовительный, рудный и пострудный. Целью региональных геолого-съёмочных и прогнозно-минерагенических работ является выделение поисковых площадей ранга урановорудных узлов и полей в пределах перспективных рудных районов.

Проведение поисковых работ на скрытое жильное, жильно-штоковерковое и палеоруслевое оруденение следует проводить в три этапа: на первом — разработка достоверной объемной геолого-поисковой модели, на втором — глубинное картирование путем проведения буровых работ, на третьем — проведение всего комплекса лабораторно-аналитических исследований, оценка обогатимости руд путем лабораторно-технологических или минералого-технологических работ и укрупненная геолого-экономическая оценка выявленного объекта с локализованными прогнозными ресурсами урана кат. P_1 и P_2 .

Полевые ГРР должны включать широкий комплекс геофизических, геохимических, минералогических, петрофизических и других поисковых технологий:

— аэросъемка (аэрогамма-спектрометрическая, аэромагнитная, аэрогравиметрическая, аэроэлектро-разведка в различных модификациях);

— наземные геофизические исследования (электроразведка методами ЗМПП, ВЭЗ/ЭТ, АМТЗ и др.; сейсморазведка методом МОВ-ОГТ, высокоточная гравиразведка, а также традиционные геолого-радиометрические маршруты, заверочная гаммаспектрометрия и др.);

— геохимические методы (изотопно-, био-, атмо-геохимические, микробиологические и др.);

— петрофизические исследования, которые должны предварять полевые геофизические работы;

— минералого-аналитические исследования с применением портативных приборов (РФА-анализаторов и малогабаритных спектрометров, работающих в UV-Vis-NIR диапазоне и др.).

Представленная информация по последовательной стадийности ГРР, методическим подходам и технологиям может быть использована при прогнозировании и поисках скрытых и слабо проявленных месторождений урана жильно-штоковеркового типа в ВТС и зонах ССН, а также палеодолинного песчаникового типа. Однако рассмотренные разработки являются предварительными и требуют значительного совершенствования с учетом ожидаемых геолого-промышленных типов объектов, типовых геолого-структурных и ландшафтных обстановок и современных мировых достижений в области технологий и технических средств выявления скрытых урановых месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

- Бахур, А.Е. Изотопно-почвенный метод и его современные модификации при поисках слепого уранового оруденения / А.Е. Бахур, А.Д. Коноплев, Д.М. Зуев и др. // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 1.
- Еремеев, А.Н. Глубинные поиски погребенных месторождений урана // Методы поисков урановых месторождений / А.Н. Еремеев, А.Н. Красников, А.Н. Фокин. — М.: Недра, 1969. — С. 345–381.

- Еремеев, А.Н. Методика глубинных поисков погребенных эндогенных месторождений / А.Н. Еремеев. — М.: ВИМС, 1969.
- Ищуква, Л.П. Урановые рудообразующие системы областей континентального вулканизма / Л.П. Ищуква, И.С. Модников, И.В. Сычев // Геология рудных месторождений. — 1991. — № 3.
- Коноплев, А.Д. Геологические факторы образования инфильтрационных урановых месторождений в палеорусле («базальный» тип) / А.Д. Коноплев. — М.: ВИМС, 1994.
- Лаверов, Н.П. Зарубежные месторождения урана / Н.П. Лаверов, А.О. Смиркстын, М.В. Шумилин. — М.: Недра, 1983.
- Лучинин, И.Л. Месторождения урана в палеодолинах Зауралья и Забайкалья / И.Л. Лучинин, П.А. Пешков и др. // Разведка и охрана недр. — 1992. — № 5.
- Малышев, В.И. Способ поисков месторождений / Авторское Свидетельство СССР № 215783, заявка класс G01V5/00 № 3087677/24-25, приоритет от 23.04.84 г. / В.И. Малышев, З.А. Соколова, А.Е. Бахур и др. — 1984.
- Машковцев, Г.А. Уран российских недр / Г.А. Машковцев, А.К. Константинов, А.К. Мигута, М.В. Шумилин, В.Н. Щеточкин. — М.: ВИМС, 2010.
- Мигута, А.К. Методические рекомендации по выделению и оценке районов, перспективных на выявление высокопродуктивного эндогенного уранового оруденения / А.К. Мигута, И.С. Модников. — М.: 1999. — 78 с.
- Митрофанов, Е.А. Условия локализации и морфология рудных залежей Хиагдинского месторождения. Матер. по геологии м-ний урана. Вып. 147 / Е.А. Митрофанов, С.И. Макаров. — М.: ВИМС, 2005.
- Пакульнис, Г.В. Месторождения урана типа «несогласия» района Атабаска (Канада) // Минеральное сырье / Г.В. Пакульнис, М.В. Шумилин. — М.: ВИМС, 2005. — № 17.
- Тарханова, Г.А. Генетические особенности формирования уранового оруденения «витимского» типа / Г.А. Тарханова, Д.А. Прохоров // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 11.

© Коллектив авторов, 2021

Машковцев Григорий Анатольевич // gregor1944@mail.ru
Гребенкин Николай Анатольевич // grebenkin@vims-geo.ru
Овсянникова Татьяна Михайловна // matgem@yandex.ru
Прохоров Данила Артемович // prokhorov@vims-geo.ru
Ржевская Анна Кирилловна // rzhevskaya@vims-geo.ru
Стародубов Алексей Валерьевич // sav@u238.ru
Березнев Михаил Владимирович // bereznev_m@vims-geo.ru
Коротков Владимир Викторович // vvk46@list.ru

УДК 550.84

Марченко А.Г. (ООО «Теллур Северо-Восток»),
Ильченко В.О., Никулина А.А., Легких О.А.
(ООО «Норильскгеология»)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОИСКОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ОСНОВАННЫХ НА ВЫЯВЛЕНИИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

На участке с сочетанием благоприятных и неблагоприятных условий проведения геохимических поисков по вторичным ореолам и наличием золото-молибден-медно-порфирирового оруденения проведены опытно-методические геохимические работы с использованием пяти методов: ММИ (метод поисков по мобильным ионам), ИСМ (ионно-сорбционный метод), МДИ (метод диффузионного извлечения), МЕФФА (метод поисков по тонкой