

Это позволяет ориентировать геологоразведочные работы и при поиске рудных полезных ископаемых.

*Автор выражает признательность коллективам ОАО «Камчатгеология», ООО «Северо-Запад» и Центру «ГЕОН» ГФУП ВНИИГеофизика за предоставленные материалы и помощь в работе над статьей.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Апрелков, С.Е.* Тектоника Камчатки / С.Е. Апрелков, О.Н. Ольшанская, Г.И. Иванова // Тихоокеанская геология. — 1991. — № 3. — С. 62–74.
2. *Апрелков, С.Е.* Природа аномальной силы тяжести в Центрально-Камчатской депрессии / Глубинное моделирование геологических структур по гравиметрическим и магнитным данным / С.Е. Апрелков, Л.М. Смирнов, О.Н. Ольшанская. — Владивосток, 1985. — С. 8–71.
3. *Белявский, В.В.* Геоэлектрическая модель Камчатско-Корякского региона. 3D интерпретация магнитотеллурических полей и результаты. — LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany. — Saarbrücken. — 2011. — 163 с.
4. *Белявский, В.В.* Сейсмогеоэлектрическая модель Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Центрально-Корякской складчатой зоны по профилю Корф — Верхнее Пенжино / В.В. Белявский, Е.Е. Золотов, В.А. Ракилов // Геофизика. — 2008. — № 2. — С. 32–44.
5. *Друскин, В.Л.* Система программ расчета электромагнитного поля в трехмерно-неоднородной среде МАХЗМТ / В.Л. Друскин, Л.А. Книжнерман. — М.: ОМП, ЦГЭ, 1997. — 22 с.
6. *Мишин, В.В.* Палеосубокеанический тип земной коры на северо-востоке Камчатки / В.В. Мишин, А.Г. Нурмухамедов, С.П. Белоусов // Тихоокеанская геология. — 2003. — Т. 22. — № 5. — С. 58 — 72.
7. *Мелихов, В.Р.* Тектонические катастрофы и их место в эволюционном развитии Земли / В.Р. Мелихов, И.В. Лыгин // Геофизика. — 2008.
8. *Нурмухамедов, А.Г.* Глубинное строение Северо-Восточной части Корякско-Камчатской складчатой области по геофизическим данным: автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук. — Иркутск, 2010.
9. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): справ. геофизика / Под ред. Н.В. Дортмана. — М.: Недра, 1984. — 455 с.*
10. *Федотов, С.А.* Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов. — М.: Наука, 2006. — 455 с.
11. *Шарапова, Н.В.* Структура и геодинамика сейсмофокальной зоны Курило-Камчатского региона // Н.В. Шарапова, И.Г. Симбирева, П.М. Бондаренко. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1984. — 198 с.
12. *Counil, J.L.* Associate and conjugate directions concepts in magnetotellurics J.L. Counil et al. // Annales Geophysicae. — 1986. — 4B, 2. — P. 115 — 130.
13. *Galdwell, T.G.* The magnetotelluric phase tensor / T. Galdwell et al. // Geophys. J Int. — 2003. — 158. — P. 457 — 469.

© Белявский В.В., 2016

Белявский Виктор Владимирович // viktor.belyavsky@list.ru

УДК 550.835

**Татьков И.Г., Татьков Г.И., Бадерин А.М., Татьков П.Г., Астахов Н.Е. (ГИН СО РАН), Зуккау Г.Л. (ЗАО «Витим-геопром»)**

#### **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МОЛОДОГО НЕРАВНОВЕСНОГО УРАНА В ВИТИМО-КАРЕНГСКОМ РАЙОНЕ**

*По результатам опытно-методических работ на территории Витимо-Каренгского района были установлены критерии выделения нового типа близповерхностных месторождений неравновесных урановых руд в физических полях. Основной характеристикой рудной зоны является неравновесное состояние между ураном и продуктами его распада, что не позволяет эффективно применять классические методы радиометрии и гамма-спектрометрии,*

*основанной на измерении  $\gamma$ -излучения. Изучение геофизическими методами рудных зон основывается на картировании интенсивных площадных или сближенных точечных аномалий радиоактивности преимущественно урановой природы, коррелирующих с приповерхностными аномалиями повышенных значений проводимости и поляризуемости в зонах прибортовых тектонических нарушений, а также контрастных геохимических аномалий содержания урана в аллювиальных отложениях и радоновых аномалий. Сформирована статистическая поисковая физико-геологическая модель, позволяющая определить параметры элементов переноса и локализации перспективных геохимических барьеров в приповерхностном слое, характерном для территории Забайкалья. **Ключевые слова:** геофизика, радиометрия, гамма-спектрометрия, электро-разведка, инверсия, электротомография, близповерхностные месторождения, неравновесный уран, Забайкалье.*

Tatkov I.G., **Tatkov G.I.**, Baderin A.M., Tatkov P.G., Astakhov N.E. (GIN SO RAN), Zukkau G.L. (Vitimgeoprom)

#### **APPLICATION OF INTEGRATED GEOPHYSICAL WORK FOR THE STUDY OF URANIUM DEPOSITS YOUNG NONEQUILIBRIUM IN VITIM-KARENGSK AREA**

*According to the results of research and methodological work in the territory of Vitim-Karengsk district criteria for selection of a new type of non-equilibrium subsurface deposits of uranium were installed in the physical fields. The main characteristic of the zone is a non-equilibrium state between uranium and its decay products, which does not effectively apply the classical methods of radiometric and gamma-spectrometry based on the measurement of gamma-radiation. The study of geophysical methods of ozones have based on the mapping of the intensive areal or point contiguous anomalies radioactivity mostly natural uranium, near-surface anomalies correlate with higher conductivity and polarizability values in zones of tectonic disturbances contrasting geochemical anomalies of uranium contents in alluvial deposits and radon anomalies. There is formed a statistical search of physical and geological model to determine the size and location of the transfer elements promising geochemical barriers in the surface layer characteristic of the Trans-Baikal Territory. **Keywords:** Geophysics, radiometry, gamma spectrometry, electromagnetics, inversion, electron tomography, near-surface deposits, uranium disequilibrium, Baikal.*

Развитие Хиагдинского ГОКа в Республике Бурятия позволило обратить внимание на относительно новый источник урановых руд, ранее считавшийся малоперспективным для территории Забайкалья — поверхностное оруденение неравновесного гидрогенного урана. Одним из возможных источников восполнения запасов является Каренгская потенциально ураноносная площадь с пятью известными рудопроявлениями приповерхностного урана в аллювиальных отложениях современных пойм и надпойменных террас, выделенная в 1984–1988 гг. в результате аэрогамма-спектрометрических (АГСМ) съемок масштаба 1:25000 ПГО «Читагеология» и включавшая более 50 локальных аномалий на территории Тунгокоченского района (Забайкальский край), пять из которых при последующей заверке геохимическими методами были переведены в разряд перспективных рудопроявлений урана.

Пласто- и лентообразные рудные тела малых по запасам (от 800 т до 3–5 тыс. т), но компактно расположенных близповерхностных месторождений с глубиной залегания 1–5 м могут представлять повышенный интерес в связи с высокой рентабельностью и технологичностью их отработки способом кучного выщелачивания. Особенностью данного типа экзогенного оруденения является малая радиоактивность продуктивных толщ при высоких содержаниях полезной компоненты, вызванная неравновесным состоянием между ураном и продуктами его распада, что затрудняет эффективное применение традиционных методов наземной радиометрии и требует специализированного комплексного подхода и совершенствования методики полевых работ.

На одном из таких рудопроявлений в бассейне р. Сиротинка (правый приток р. Витим) Геологическим институтом СО РАН в 2010 и 2012 г. был опробован с последующим внедрением для всей территории площади комплекс геофизических методов с последующей оперативной заверкой аномалий горно-буровыми работами, направленными на выявление признаков выделения потенциально ураноносных объектов. Результатам этих работ посвящена данная статья.

**Геологическая обстановка известных месторождений неравновесного урана Забайкалья.** Большинство известных экзогенных рудопроявлений и пунктов минерализации неравновесного урана Восточного Забайкалья связано с процессами сорбции урана органическим веществом (торф, гумус) в рыхлых отложениях речных долин горно-таежных областей с развитой речной сетью и сплошным развитием многолетней мерзлоты [9]. В рельефе района работ наблюдается чередование полого-склоновых увалистых возвышенностей и широких блюдцеобразных седловин, поверхность которых нередко заболочена. Около 80 % Тунгокоченской площади перекрыто чехлом рыхлых четвертичных отложений мощностью от 2 до 30 м.

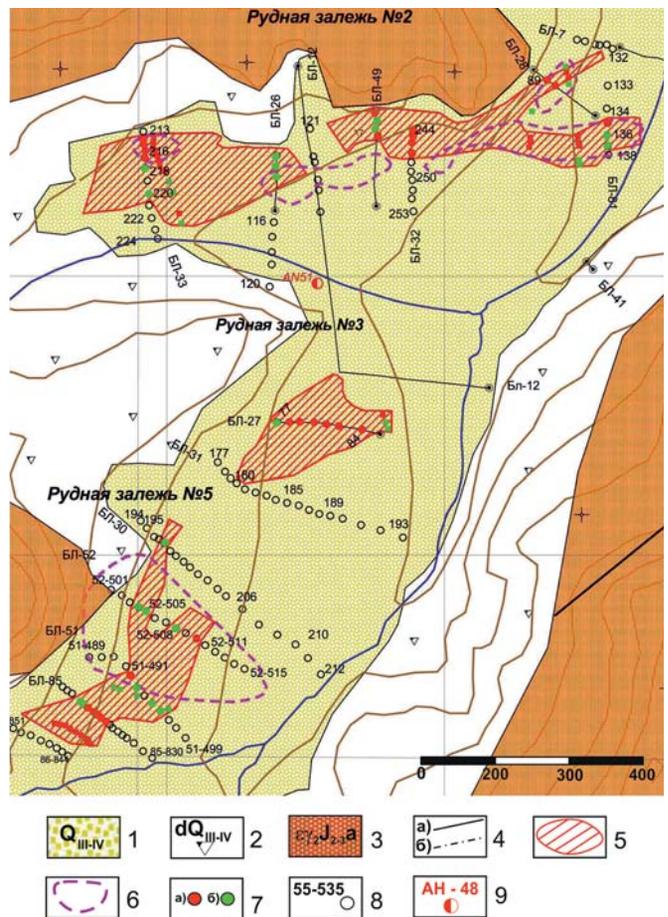
Рудопроявления Витим-Каренгского бассейна расположены в периферической гранитизированной части Амалатского выступа со стороны Олекма-Каренгского свода, сложенного преимущественно глубоко метаморфизованными биотит-амфиболовыми сланцами, гнейсами и мраморами нижнепротерозойского и архейского возраста, прорванными интрузивными образованиями среднего и верхнего протерозоя (рис. 1). Район характеризуется многообразием интрузивных и ультраметаморфических пород, отличающихся генезисом и химическим составом. Архейские интрузивные и ультраметаморфические образования пространственно ассоциируют только с одновозрастными полиметаморфическими толщами, имеют с ними инъекционно-метасоматические или интрузивные границы. Мезозойские интрузии трещинного типа определяют металлогению региона и поэтому имеют особое значение.

Преобладание магматических и глубоко метаморфизованных пород в пределах региона создает специфические особенности тектонического строения его изученной части. В региональном плане район расположен на западном фланге Становой области раннепротерозойской складчатости, обрамляющей с юга архейские сооружения Алданского щита, который,

начиная с раннего палеозоя, развивается в платформенном режиме, осложнявшемся периодами тектономагматической активизации.

В качестве главного источника залежей приповерхностного гидрогенного урана предполагаются породы ореокитанского комплекса (граниты, лейкограниты, гранит-порфиры) и гранитоиды третьей фазы амананского комплекса, представленные монцитит-гранитами и лейкогранитами с редкоземельной, ториевой и урановой минерализацией, что подтверждается относительно повышенными содержаниями урана в корках выветривания данных пород. Кроме того, здесь же располагаются аномалии и ореолы радиоактивности, выявленные по материалам АГСМ-съемок и наземных наблюдений (рис. 1) [1, 10].

Главным условием формирования ураноносных залежей в продуктивных осадочных комплексах, по-видимому, является наличие рудоподводящих и барьерных тектонических структур в материнских гранитоидах на



**Рис. 1. Схематическая геологическая карта рудопроявления Сиротинка:** 1 — озерно-болотные аллювиально-солюфлюкционные отложения (галечники с песком и гравием, супеси, торф, глина с органикой); 2 — коры выветривания гранитоидов (дресва с глиной и глыбами гранитоидов); 3 — ореокитанский комплекс (субщелочные порфиroidные лейкократовые граниты); 4 — разрывные нарушения: а — выходящие на поверхность, б — скрытые; 5 — рудные залежи с содержанием урана более 0,01 %; 6 — ореолы повышенных содержаний урана по данным наземной гамма-спектрометрической съемки; 7 — выработки, вскрывающие урановое оруденение: а —  $C(U) > 0,03\%$ , б —  $0,01\% < C(U) < 0,03\%$ ; 8 — скважина и ее номер; 9 — аномалия АГСМ и ее номер

участке Сиротинка, несущих редкоземельную (монацит и паризит), урановую (уранинит, торит, чералит) минерализацию. Основным условием выявления «слепых» залежей является наличие на их флангах крутопадающих неотектонических, зачастую катаклазированных, аргиллитизированных разломных зон, контролирующих или рассекающих малоамплитудные мульдообразные структуры в нижнемезозойском гранитном фундаменте и являющихся, наиболее вероятно, основными каналами выноса радиоактивных элементов (РАЭ) на поверхность.

**Гидрогеохимическая обстановка.** Все установленные проявления урана сформировались вблизи дневной поверхности или в нескольких метрах от нее в результате взаимодействия грунтовых или трещинных вод с горизонтами почв или с аллювиально-делювиальными отложениями. Подстилающими породами для осадочного разреза, вмещающего проявления урана, на 80 % являются высокорadioактивные граниты амананского или орекитканского комплексов. Среднее содержание урана в них, по данным гамма-спектрометрии, составляет от 5 до  $15 \times 10^{-4}$  %.

Поверхностное урановое оруденение характеризуется молодым возрастом. Формирование рудных залежей практически продолжается в настоящее время. Уран почти не сопровождается дочерними продуктами распада и в отдельных случаях даже не фиксируется аномальными радиоактивностями, или эта радиоактивность не отвечает истинному содержанию урана в рудах. Большой сдвиг равновесия в сторону урана в осадочных породах пойм и надпойменных террас требует своеобразной методики поисков и оценки этих аномалий. Примером является рудопроявление Сиротинка, ураноносность которого была открыта в результате аналитических лабораторных исследований на W, Mo, Ag, Au и т.д. материалов площадного опробования геолого-съёмочных работ [7].

Содержания урана в водах изменяются в широком диапазоне от  $5,8 \times 10^{-8}$  до  $5 \times 10^{-4}$  г/л. Самые высокие концентрации урана ( $1-2,6 \times 10^{-5}$  —  $3-5 \times 10^{-4}$  г/л) определены на рудопроявлениях в пробах из источников, вероятно, надмерзлотных вод рассеянного нисходящего типа. За пределами выявленных проявлений в сравнительной близости наблюдаются высокие значения и в поверхностных водах — концентрация урана достигает  $5 \times 10^{-4}$  г/л и снижается до фоновых значений ( $0,7 \times 10^{-5}$  г/л) по мере удаления от границ рудопроявления.

Осаждение урана из грунтовых вод происходит на окислительно-восстановительных геохимических барьерах — в толщах с повышенными содержаниями органического вещества, железа, сульфидов и т.д. [6]. Радиогенные торфяники обычно содержат повышенные содержания W (0.002–0.006 %), Mo (0.002 %), Cu (0.015 %), Be (0.005 %), Sb (0.02 %). Геохимический спектр образований типа кор выветривания по гранитоидам гораздо беднее и отличается лишь повышенными содержаниями вольфрама (до 0.003 %). При электронно-микроскопическом изучении гранитов определено, что уран локализован в уранините, а также отмечен в составе главных примесей (до 20 %) в торите (силикат тория) и чералите (фосфат тория). Встречаются минералы сложного уран-торий-редкоземельного состава, относящиеся, вероятно, к фторкарбонатам.

В качестве примесей (до нескольких процентов) уран и торий присутствуют в цирконе и монаците.

В результате интерпретации полученных данных по содержанию урана в воде высокими значениями подтверждаются ранее выявленные перспективные участки по данным гидрохимического экспресс-опробования, проведенного на площади работ во время полевых исследований ВИМСа. Свободный уран в осадочном материале связан с процессами сорбции и ионного обмена и потому легко повторно мобилизуется [8].

**Методика полевых геолого-геофизических исследований.** На рудопроявлении Сиротинка в пределах Каренгской потенциально-ураноносной площади Геологическим институтом СО РАН в 2010–2012 гг. проведены комплексные геофизические структурно-картировочные и специализированные поисковые исследования масштаба 1:25000 с сопровождением детальными работами масштаба 1:5000 на территории наиболее перспективных комплексных аномалий [2, 3].

Площадные геофизические наблюдения выполнялись с помощью шпуровых радиометров СРП-68-03 и высокопроизводительных цифровых полевых гамма-спектрометров GS-512, современных магнитометров МИНИМАГ, электроразведочных измерителей типа ЭИН-209М, генераторов ГЭР-50W и ГЭР-1000V по сети 100 на 20 м с применением установок срединного градиента и дипольного электропрофилирования. Работы проводились с целью выявления признаков уранового оруденения поверхностного гидрогенного типа для выработки поисковых критериев и детального оконтуривания потенциальных ураноносных участков и сопровождалась геологическим картированием и отбором петрофизических образцов.

Детальные работы выполнялись методом электромографии с установкой *dipole-dipole* с шагом 1 и 3 м с использованием многоканальной станции Омега-48, сопровождавшимся измерениями радона, накопленного за 12 ч угольными модулями в закопушках, в специально организованной полевой гамма-спектрометрической лаборатории (методика разработана в лаборатории методов сейсмопрогноза ГИН СО РАН). Основной целью данных работ являлось установление геоэлектрических параметров выделяемых объектов и изучение разреза на глубину в зонах, потенциально перспективных на урановое оруденение [4, 5].

Опережающие геофизические работы сопровождались поисково-оценочным бурением, гидрогеохимическими и геохимическими работами, которые выполнялись ЗАО «Витимгеопром» с поддержкой специалистов ВИМСа с целью геолого-экономической и технологической оценки уранового оруденения в рыхлых отложениях речных долин [10].

**Основные критерии выделения оруденения геолого-геофизическими исследованиями,** сформированные по результатам площадных и опытно-методических работ на территории известных рудных объектов. Главным признаком богатых поверхностных урановых залежей в долинных и мерзлых отложениях являются интенсивные площадные или сближенные точечные аномалии радиоактивности, а также контрастные геохимические аномалии содержания урана в аллювиальных отложе-

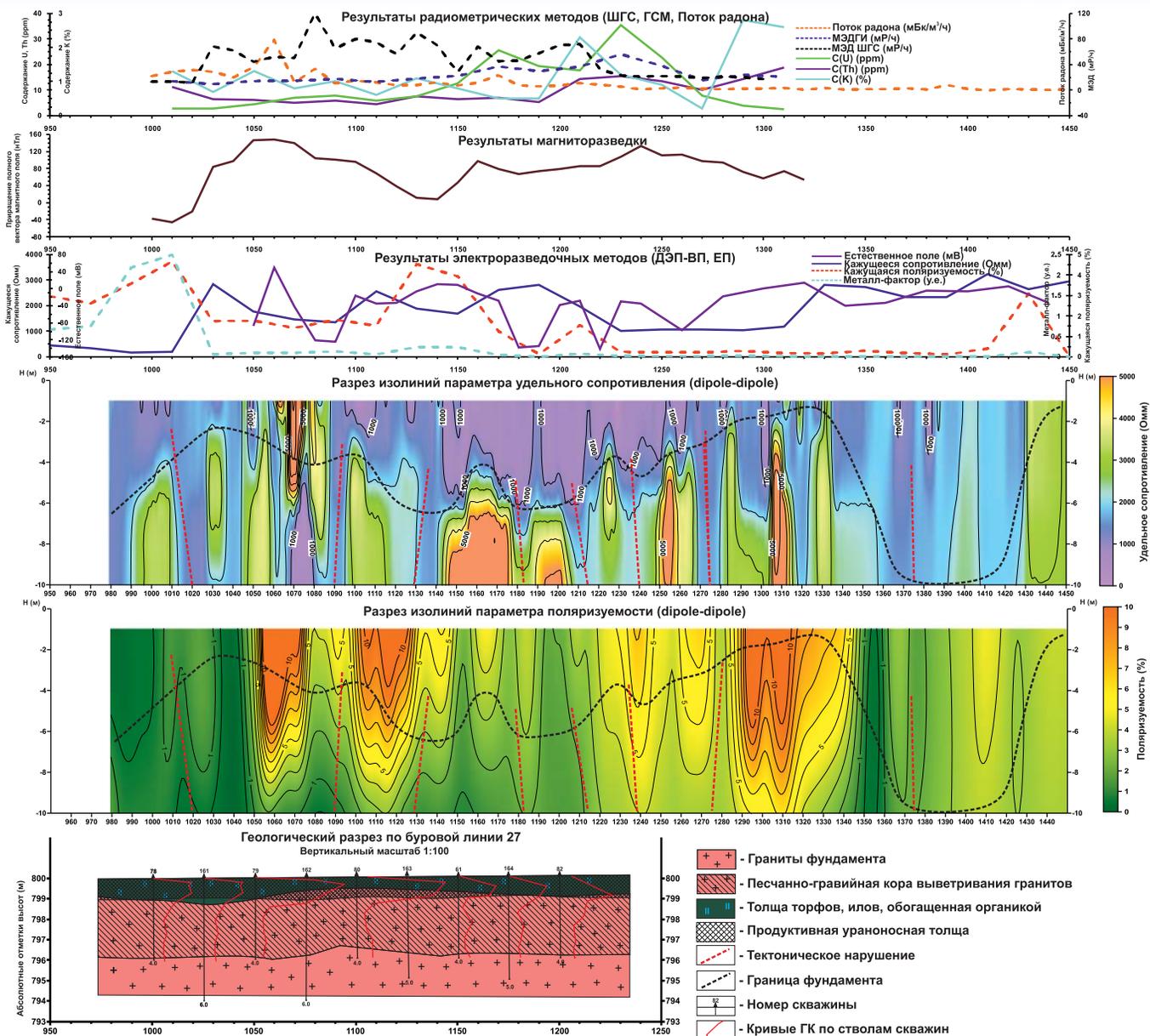


Рис. 2. Результаты профильных геофизических работ на территории рудопроявления Сиротинка

ниях и радоновые аномалии [9]. В данной статье рассматриваются выделяемые критерии на примере материалов детальных исследований по буровой линии 27 аэрогаммааномалии № 51, соответствующей рудопроявлению Сиротинка-2.

Причиной низкой эффективности геофизических методов в классическом комплексе являются мало-контрастные аномалии шпуровой гамма-радиометрии и гамма-спектрометрии, соответствующие выделяемым рудным объектам. Второй искажающий фактор — присутствие на площади работ рудопроявлений урана, связанных с корами выветривания и минерализованными зонами дробления, а также обилие ложных солевых ореолов, пространственно совпадающих с аномалиями магнитного поля. Все это не позволяет применять радиометрические методы в качестве прямых методов поисков без полноценной геолого-геохимической съемки и изучения структурного строения геофизическими методами.

Методами электротомографии с установкой «диполь-диполь» ниже субгоризонтальных залежей новообразованного гидрогенного урана в подстилающем фундаменте практически всегда фиксируются контрастные высокоомные крутопадающие объекты (рис. 2) — предположительно субвулканические дайки или кварцевые жилы. Проводящие объекты в разрезе делятся на две группы: 1 — вертикальные и субвертикальные тела фундамента, связанные с минерализованными зонами дробления, 2 — горизонтальные и субгоризонтальные тела мощностью 3—5 м, интерпретирующиеся как слой перекрытых замороженных четвертичных отложений и коры выветривания. Приповерхностные аномалии поляризуемости и параметра металл-фактор в зоне образования геохимических барьеров во фланговой части залежи, возможно, связаны со вторичной минерализацией верхней части коры выветривания. При последующем поисковом бурении на

перспективных участках установлена пространственная и парагенетическая связь проявлений урана с рассеянной сульфидной (пиритовой, молибденитовой) или гематитовой минерализацией в краевой части массивов монц-диоритов. Сульфидизация предопределяет появление небольшого аномального эффекта вызванной поляризации ВП, что расширяет поисковые возможности электроразведки и магниторазведки при картировании близповерхностных залежей за счет выделения зон гидротермальной проработки в разрезе. Рассматриваемая рудная зона, вероятнее всего, представляет собой локальную в плане кору выветривания, развивающуюся по группе сблизженных, субвертикальных тектонических нарушений, являющихся подводным каналом для осаждения урана.

Низкая эффективность наземных методов геофизики, включающих в себя магниторазведку, электроразведку с дипольной установкой и метод естественного поля относительно детальной профильной съемки, объясняется недостаточно детальным шагом для изучения поверхностного уранового оруденения мощностью до 1 м. Основными структурами, картировавшимися в данном случае, были объекты на глубинах 60–70 м и глубже, приуроченные к локальным неоднородностям фундамента, связанным с зонами дробления. При повышении детальности исследований за счет применения шага равного 5 м и непрерывной регистрации результатов площадных исследований удалось установить параметры залегания характерных для площади структурных элементов и проследить основные условия размещения рудных тел. Условия работ показали необходимость повышения детальности исследований за счет применения шага, равного 5 м, или непрерывной регистрации геоэлектрических и магнитных параметров. Тем не менее, повышение детальности исследований значительно снизит производительность, создаст ряд проблем с плановой привязкой измерений на местности, связанных с несовершенством регистрации с помощью Glonass/GPS, при относительно незначительном повышении качества проведенных работ.

Наземная площадная съемка с современными высокопроизводительными цифровыми гамма-спектрометрами GS-512 позволяет картировать границы рудных покровов, оценивать содержания рудных компонентов и корректировать места заложения поисковых скважин. Анализ данных площадных работ показал прямую корреляционную связь между значениями МЭДГИ по шпуровой радиометрии и по данным ГСМ при более высокой чувствительности и производительности последней. Признаком рентабельных приповерхностных ураноносных залежей в долинных отложениях являются интенсивные (первые сотни мкР/ч; 50–100 ед.экв. U) площадные или сблизженные точечные аномалии МЭД (ШРМ и ГСМ) существенно урановой природы, а также интенсивные до 200 ед.экв. U (5–10 фонов) аномалии содержания урана при полном отсутствии ториевой компоненты. Основываясь на данных факторах, можно с помощью гамма-спектрометров GS-512 установить урановую или ториевую природу радиоактивности. Применение результатов электроразведочных и магниторазведочных методов для изучения ура-

новых ГСМ-аномалий над «слепыми» рудными залежами позволило установить параметры структурного контроля оруденения зонами тектонических нарушений, выделяющихся относительно небольшими значениями —  $10\text{--}15 \times 10^{-4} \%$ , но вполне достаточными для их уверенного картирования при уровне фона  $3\text{--}5 \times 10^{-4} \%$ .

По итогам работ подтверждается пространственная связь уранового оруденения с аномалиями радона как фактора проявления «молодых» рудообразования и тектоники, а также с аномалиями вызванной поляризации как признака развития сопутствующей сульфидизации, подчеркнута важность структурного контроля размещения уранового оруденения разломными зонами северо-восточного и северо-западного простирания. Максимумам потока радона соответствует установленное бурением положение рудного тела; существование радоновой аномалии подтверждает наличие молодой разломной структуры и, возможно, молодого уранового оруденения.

По результатам опытно-методических геофизических работ на буровых разрезах участка Сиротинка Каренского потенциально-ураноносного района были выработаны типовые поисковые критерии и признаки гидрогенного оруденения:

минерализованные зоны дробления в многолетнемерзлом осадочном чехле выделяются геомагнитными и геоэлектрическими контактами, картируемыми магниторазведкой и электропрофилированием;

рудоподводящие каналы, связанные с современными разломными зонами, выражаются аномалиями повышенных значений радиометрии, зонами смены знака естественного поля, локальными зонами повышенной электропроводности на разрезах электромагнитного зондирования (ЗМПП, МДЗ);

при оконтуривании рудоперспективных на гидрогенный тип оруденения площадей развития торфяноболотных отложений, кроме наличия аномалий МЭД и РАЭ, большее внимание следует уделять взаимоотношению аномалий трансформант U/K и Th/U. При повышенных ( $> 10$ ) значениях отношений содержаний U/K и одновременно пониженных (0.5–3.0) значениях отношения Th/U площади этих аномалий аналогично рудопроявлению Сиротинка могут считаться перспективными для постановки поисково-оценочных работ;

на большинстве изученных рудопроявлений аномалии урана, выделенные при наземной гамма-спектрометрии, планово разобщены на 100–200 м относительно рудных тел, выделенных при площадных работах, что, вероятно, связано с переносом продуктов распада поверхностными водами, что планово подтверждается аномалиями ЕП, связанными с инфильтрационными потенциалами;

зоны гематитизации и современной гидроактивизации, формирующие геохимические барьеры, выделяются минимумами естественного поля, локальными понижениями кажущегося сопротивления на фоне высокоомного замороженного разреза и значениями поля вызванной поляризуемости до 1.5–2 % с локальными краевыми максимумами до 5 %;

основным структурным элементом рудопроявлений является их приуроченность к зонам сочленения текто-

нических нарушений разного возраста. Геофизическими методами выделяются зоны дробления, сложенные хорошо проницаемыми отложениями, что, возможно, приводит к повышению содержания полезных компонентов в руде.

Данные признаки также были выделены по результатам комплексных геолого-геофизических работ при выделении урановых рудопоявлений на участках Орогочи, Логочачи, Каменный и др. в пределах Каренгской площади, физико-геологические условия которых практически полностью совпадают, что позволяет говорить о приуроченности данных объектов к одному типу структур. По итогам интерпретации было сделано предположение об основных структурных предпосылках применения комплекса геофизических методов на основе изучения физических полей, отражающих основные особенности структурного строения месторождений данного типа на основе выделения таких второстепенных признаков, как сульфидно-кварцевые

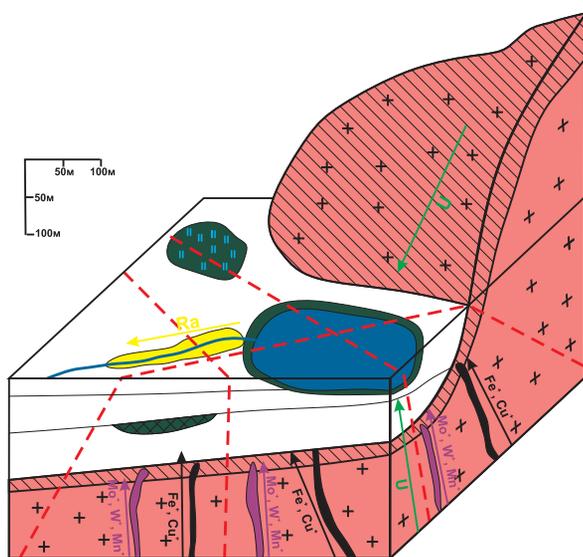


Рис. 3. Схематическая геологическая модель уранового рудопоявления Сиротинка: усл. обозначения см. на рис. 4

№ п/п	Усл. обозн.	Структурно-вещественный комплекс	dT <sub>a</sub> (нТл)	ΔU (мВ)	ρ (Ом·м)	η (%)	J (мкР/ч)	C(U)*10 <sup>-4</sup>	C(Th)	C(K)*10 <sup>-4</sup>
1		Отложения межгорных впадин (пески, глины и др.)	-	-	3000 ±500		15±5	2±2	15±5	2±1
2		Ураноносные торфяники		±50			5±5	15±5	10±5	2±1
3		Ураноносные береговые илы малых озер		±50		2±0,5	20±5	17±5	10±5	2±1
4	■	Погребенные равновесные ураноносные озерные отложения		-	700 ±100		500±50	250±50	250±50	2±1
5	■	Ложный ореол выноса продуктов полураспада		±300			50±5	25±5	25±5	2±1
6	■	Граниты, гранодиориты	100 ±50		2000 ±500	7±0,5	25±5	5±2	20±5	8±2
7	■	Кора выветривания гранитоидов	100 ±50	-	2000 ±500	3±0,5	25±5 (500±50)	5±2 (250±50)	10±2 (50±10)	10±2 (50±10)
8	■	Дайки диоритов, монц-диоритов	300 ±50		4000 ±500	8±0,5	15±5	7±2	10±2	8±2
9	■	Кварцевые жилы	100 ±20	±100	8000 ±1000	10±2	15±5	3±1	10±2	8±2
10	■	Тектонические нарушения	500 ±100	±100	3000 ±500	1±0,5	20±5	7±2	20±2	5±2

Рис. 4. Статистическая физико-геологическая модель уранового рудопоявления Сиротинка

жильно-прожилковые зоны, дайки монц-диоритов, кор выветривания и тектонических нарушений. Учитывая общие особенности миграции комплексных соединений урана в водных растворах и способность осаждения его под воздействием восстановителей (сульфиды, любая органика, торфяники), сорбентов или повышающих концентрации при вымораживании поступающих рассолов, можно предположить рудоконтролирующую или даже рудовмещающую роль выявленных зон тектонических нарушений повышенной проницаемости.

Учет выделенных факторов позволил создать статистическую поисковую физико-геологическую модель рудопоявлений неравновесного урана Витим-Каренгской площади с выделением ряда основных факторов, влияющих на возможность их изучения геофизическими методами (рис. 3):

1. Горизонтальная приповерхностная миграция урана в надмерзлотных водах из коры выветривания гранитоидов. Данный фактор объясняет низкие содержания урана в коре выветривания, а также увеличение равновесного состояния с глубиной и повышенное ториевое загрязнение коры выветривания, что позволяет применять методы естественного поля и детальной электроразведки;

2. Вертикальная миграция урана трещинно-жильными водами по минерализованным зонам дробления (окварцевания), позволяющая объяснять наличие зон протайки многолетнемерзлых пород, относительно повышенные содержания урана в зонах окварцевания и приуроченность основных рудных тел к зонам развития гидротермальных окolorудных изменений вдоль даек дацитов, связанных с узлами пересечения крупных тектонических нарушений, выделяющаяся планомерно совмещенными локальными зонами проводимости с локальными интенсивными аномалиями эксхалций радона и магнитного поля;

3. Осаждение урана в почвенно-растительном слое, торфяниках и илах позволяет объяснить приуроченность рудопоявлений к геохимическим барьерам в зонах локальных бассейнов типа малых водоемов (озер, стариц, болот), связанных, вероятно, с процессами современного осаждения минералов урана на органическом

веществе и ограниченными в краевых частях зонами выпадения вторичных сульфидов в приповерхностном слое. На большинстве изучаемых объектов наблюдается локальное повышение вызванной поляризуемости до 2–3 % в почвенно-растительном слое относительно вмещающей толщи;

4. Непрерывный вынос продуктов полураспада подземными и поверхностными водами подтверждает смещение аномалий концентраций урана ниже по течению водотоков, вытекающих из данных бассейнов с образованием солевых ореолов, и

плановое разобшение выделяемых аномалий ГСМ и рудных тел, выделенных за счет лабораторных работ.

Применение данных особенностей выделения приповерхностных рудных тел совместно с данными петрофизических и лабораторных работ позволило сформировать типовую статистическую физико-геологическую модель, характерную для территории Витим-Каренгской площади (рис.3, 4). На этапе проведения оценочных работ была подтверждена важность выявления и картирования геофизическими методами зондирования приповерхностных, малоамплитудных (5–10 м) мультимасштабных структур, благоприятных для формирования ураноносных залежей в условиях замороженной верхней части разреза. Сформированная модель типовой рудной зоны, вероятнее всего, это локальная в плане высокоомная кора выветривания, развивающаяся поверх группы низкоомных сближенных, субвертикальных тектонических нарушений, являющихся подводящим каналом для осаждения урана.

Использование геофизических методов на оценочном этапе с применением данной модели позволило наравне с геохимической и гидрогеохимической съемкой оперативно выделять перспективные объекты и рекомендовать их для заверки комплексом детальных работ. Тем не менее, результаты работ, по-прежнему, оставляют ряд вопросов, связанных с отражением известных рудных тел в электрическом и магнитном полях, направленных на более точное понимание природы аномалий, решать которые можно только при более детальных опытно-методических работах или при натурных экспериментах в лабораторных условиях.

**Обсуждение результатов исследований.** В целом для исследуемого района характерна пространственная связь уранового оруденения с аномалиями эксхалций радона как сопутствующего фактора «молодых» процессов рудообразования и тектоники, а также с аномалиями вызванной поляризации как признака восстановительных обстановок (органического вещества, сульфидизации), благоприятных для осаждения урана из водных растворов.

Проведенные опытно-методические работы доказывают необходимость применения гамма-спектрометрии и структурных методов геофизики при поисках близповерхностных месторождений гипергенного урана на территории Тунгокоченского района (Забайкальский край). Подтверждена возможность выявления и картирования методами электротомографии, электромагнитного сканирования МПП приповерхностных, малоамплитудных (5–10 м) мультимасштабных структур, благоприятных для формирования ураноносных залежей в условиях замороженного почвенно-растительного слоя (ПРС).

При проектировании последующих комплексных геофизических работ необходимо внести следующие коррективы: 1) исключить из комплекса метод естественного поля, показавший низкую эффективность применения в условиях повышенной обводненности и многолетнемерзлых пород, в значительной мере уступающий по информативности электроразведке на постоянном токе; 2) дополнить комплекс 2D- и 3D-электротомографией на постоянном токе с использованием малоразносных установок, что позволит детализиро-

вать пространственное положение возмущающих тел, возможно, связанных с тектоническими нарушениями и потенциально ураноносными дайками; 3) включить в комплекс полевой рентген-флуоресцентный анализ отобранных геохимических проб и образцов керна. Для уменьшения неоднозначности интерпретации геофизики все выполняющиеся работы необходимо сопровождать детальным изучением петрофизических свойств горных пород и руд, в том числе их удельных сопротивлений и поляризуемости в замороженном состоянии, и по результатам измерений составить детальный кадастр петрофизических свойств.

По данным анализа фондовых материалов на территории Бурятии отмечены аномалии АГСМ, аналогичные известным объектам поверхностных урановорудных проявлений Витимо-Каренгского типа. В частности, существует ряд объектов на территории Еравнинского и Баунтовского районов: известные солевые ореолы, заболоченные поверхности малых озер и стариц, в которых могут быть выявлены геохимические барьеры, перспективные на накопление урана, по аналогии с рудопроявлением Сиротинка. Данный тип объектов в большинстве случаев закрыт полным комплексом крупномасштабных геологических и геофизических работ, но вследствие отсутствия в коренных породах повышенных содержаний урановых руд был признан малоперспективным. Все эти объекты требуют в дальнейшем изучения детальной наземной геофизической и геохимической съемкой по выбранным целевым интервалам, результаты которых возможно позволят сформировать группы малых месторождений, аналогичных Витимо-Каренгской площади.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белевцев, Я.Н. Геология и генезис месторождений урана в осадочных и метаморфических толщах / Я.Н. Белевцев, А.М. Жукова, Ф.И. Жуков — М.: Недра, 1980. — 270 с.
2. Вахромеев, Г.С. Основы методологии геофизических исследований при поисках рудных месторождений. — М.: Недра, 1979. — 120 с.
3. Вахромеев, Г.С. Комплексирование геофизических методов и физико-геологические модели: учеб. пособие / Г.С. Вахромеев, А.Ю. Давыденко. — Иркутск: Изд-во ИПИ, 1989. — 88 с.
4. Колесников, В.П. Основы интерпретации электрических зондирований / В.П. Колесников. — М.: Научный мир, 2007. — 247 с.
5. Комаров, В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации / В.А. Комаров. — Л.: Недра, 1980. — 344 с.
6. Машковцев, Г.А. Уран Российских недр / Г.А. Машковцев, А.К. Константинов, А.К. Мигута и др. — М.: ВИМС, 2010. — 850 с.
7. Михайлов, Б.М. Рудоносные коры выветривания / Б.М. Михайлов — Л.: Недра, 1986. — 238 с.
8. Перевалов, А.В. Измерение радона при радиозоологических исследованиях / А.В. Перевалов, Н.Е. Астахов, А.Б. Цыденов / Город: прошлое, настоящее, будущее: матер. междунар. конф. — Иркутск, 1998. — С. 43–45.
9. Справочник геолога по поискам и разведке месторождений урана / Н.П. Лаверов и др. — М.: Недра, 1989. — 270 с.
10. Татьков, Г.И. Структурные геофизические исследования при поисках неравновесного уранового оруденения на территории Тунгокоченского района Забайкальского края / Г.И. Татьков, И.Г. Татьков, А.М. Бадерин и др. / Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России: матер. всерос. науч.-практ. конф. (Якутск, 2–4 апр. 2013). — Якутск, 2013. — Т. 2. — С. 63–66.

© Коллектив авторов, 2016

Татьков Иван Геннадьевич / tigr325@gmail.com

Татьков Геннадий Иванович

Бадерин Александр Михайлович

Татьков Петр Геннадьевич / tatkovpg@gmail.com

Астахов Николай Егорович / astahov@gin.bscnet.ru

Зуккау Геннадий Львович / suckau@mail.ru