

вите подобных песчано-алевритовых тел предполагается также на юге в районе Борковских скважин.

Таким образом, для позднеюрского времени представляется следующая картина распространения палеогеографических областей. На юго-западе и на юге сохраняются области гор и холмогорий (область денудации). Далее следует область мелководного шельфа, где образуются аккумулятивные песчано-алевритовые тела прибрежно-морского генезиса, формирующиеся в результате размыва денудационных областей и переработки осадочного материала под действием волн и вдольбереговых течений. Остальная, большая часть территории Карабашской зоны, является областью открытого шельфа (рис. 2).

Породы с улучшенными коллекторскими свойствами связаны с предполагаемыми фаціальными зонами развития прибрежно-морских аккумулятивных тел с прогнозируемым содержанием песчаных пород более 50 %.

На основании площадного распространения фаціальных областей, благоприятных для образования песчано-алевритовых пород с хорошими ФЭС, для юрских отложений Карабашской зоны Западной Сибири выделены прогнозные зоны развития улучшенных коллекторов.

На карту территории (рис. 4) вынесены зоны вероятного распространения перспективных фаціальных областей, установленные для каждого из изученных стратиграфических уровней (обозначены разными цветами):

делювиально-пролювиальные и аллювиальные фации речных русел внутренней и внешней поймы (с содержанием песчаных пород более 50 %) для пластов Ю₁₀, Ю₇₋₉, Ю₅₋₆, Ю₃₋₄;

аллювиальные фации речных русел, поймы и прибрежно-морских фации конуса выноса дельты (с содержанием песчаных пород более 50 %) для пласта Ю₂;

прибрежно-морские песчано-алевритовые аккумулятивные тела (с содержанием песчаных пород более 50 %) для васюганского — георгиевского горизонтов (пласт Ю₁).

Выделены высокоперспективные, перспективные, вероятно перспективные, мало перспективные зоны развития улучшенных коллекторов:

высокоперспективные зоны — площадное пересечение пяти — шести фаціальных областей, благоприятных для развития улучшенных коллекторов, на разных стратиграфических уровнях юрских отложений;

перспективные — площадное пересечение трех — четырех фаціальных областей, благоприятных для развития улучшенных коллекторов, на разных стратиграфических уровнях;

вероятно перспективные — выявлена одна или площадное пересечение двух фаціальных областей, благоприятных для развития улучшенных коллекторов;

мало перспективные — фации, благоприятные для развития коллекторов не выявлены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ботвинкина, Л.И. Методическое руководство по изучению слоистости / Л.И. Ботвинкина. — М.: Наука, 1965. — 186 с.

2. Муромцев, В.С. Электрометрическая геология песчаных тел — литологических ловушек нефти и газа / В.С. Муромцев. — Л.: Недра, 1984. — 259 с.

3. Обстановки осадконакопления и фации / Под ред. Х. Рединга. — М.: Мир, 1990. — Т. 1. — 352 с. — Т. 2. — 384 с.

4. Проничева, М.В. Палеогеоморфология в нефтяной геологии / М.В. Проничева. — М.: Наука, 1973. — 172 с.

5. Региональные стратиграфические схемы триасовых и юрских отложений Западной Сибири. — Новосибирск, 2004.

6. Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. — Новосибирск: СНИИГГМС, 2004. — 114 с.

7. Шиманский, В.В. Методика литогенетического моделирования резервуаров нефти и газа / В.В. Шиманский, Н.В. Танинская, Н.Н. Колпенская / Матер. Всероссийского литологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б.Рухина. — СПб., 2012. — С. 198–200.

8. Шиманский, В.В. Методические аспекты прогноза неструктурных ловушек углеводородов на примере юрско-меловых отложений Западной Сибири / В.В. Шиманский, Н.В. Танинская, Н.Н. Колпенская // Бюлл. МОИП. Отд. Геология. — 2014. — Т. 89. — Вып. 4. — С. 24–39.

9. Шиманский, В.В. Литологические основы прогноза нефтегазоносности / В.В. Шиманский, Н.В. Танинская, Н.Н. Колпенская и др. // Матер. Междунар. н.-пр. конф. «Литологические и геохимические основы прогноза нефтегазоносности». — СПб.: ВНИГРИ, 2008. — С. 323–326.

10. Pemberton, S.G. Core Description Manual for Siliciclastic Cores. For TNK-BP / S.G. Pemberton, K. Shanley, J. Dolson. — Tyuman, Russian Federation, 2007. — 133 p.

© Коллектив авторов, 2017

Колпенская Наталья Николаевна // natkolp@mail.ru
Танинская Надежда Владимировна // tannv@yandex.ru
Шиманский Владимир Валентинович // shimvld@mail.ru
Мясникова Марина Александровна // marisha210288@mail.ru
Волков Владимир Андреевич // volkov@cr.ru

УДК 55(0.8.055+3.41)

Пустозеров М.Г., Дидичин Г.Я. (ООО ГП «Сибирьгеофизика»)

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОБРАЗЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ДАННЫМ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ СЪЕМОК

*Рассматриваются примеры результатов аэрогеофизических исследований на золоторудных месторождениях в различных геологических условиях, истории развития и масштабов оруденения. Идеология интерпретации базируется на физико-геологической модели золотого оруденения в черносланцевых толщах. Сделаны выводы о типичных проявлениях месторождений в геофизических и радиохимических полях, а также универсальности золотоконтролирующих (поисковых) признаков. **Ключевые слова:** комплексная аэрогеофизическая съемка, месторождения золота.*

Pustozerov M.G., Didichin G.Ya. (ООО GP «Sibirgeofizika»)

GEOPHYSICAL IMAGES OF GOLD DEPOSITS ACCORDING AEROGEOPHYSICAL SHOTS

The article analyzes samples of the results of airborne geophysical surveys of gold deposits in different geological settings, history of development and mineralization extent. The

idea of interpretation is based on a physical and geological model of gold mineralization in black-shale strata. Typical manifestations of deposits in geophysical and radiochemical fields are presented and the conclusion on the universality of search criteria is made. Keywords: airborne geophysical survey, gold deposits.

В настоящее время главными объектами добычи золота в мире и России являются месторождения в черносланцевых толщах. На них преимущественно акцентированы поисковые и разведочные работы. Для подобных объектов разработана и апробирована физико-геологическая модель (ФГМ) оруденения, положенная в основу идеологии геофизических поисков и оценки месторождений [1–3]. Основное ядро элементов, формирующих ФГМ, ярко проявляется в геофизических параметрах. Другим достоинством модели является установление места золотого оруденения в семействе контрастно выраженных аномалиеобразующих объектов. Наиболее магнитный горизонт пирротиновой природы контролирует нижнерудный-подрудный уровень месторождения. Этот уникальный геологический маркер проявлен наиболее однозначно и контрастно. Перекрывающие золотоносные метасоматиты различного состава контролируются повышенными содержаниями естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) и общей радиоактивностью. Здесь же наблюдается нарушение связей ЕРЭ, заключающееся в доминировании содержаний калия над ураном и торием. В электрометрических параметрах оруденение сопровождается либо объектом низкого электросопротивления (скопление проводящих сульфидов), либо реже — высокого сопротивления (преобладание кварцевой составляющей). Таким образом, золотое оруденение должно сопровождаться комплексной геофизической аномалией, представленной магнитным максимумом, ореолами высоких содержаний ЕРЭ при нарушенных связях между моноэлементами и минимумом (реже максимумом) сопротивлений. Однако в зависимости от геологической позиции поисковых объектов — типа оруденения (эрозионного среза), пликативных и дизъюнктивных деформаций и многого другого геофизические аномалии, контролирующие месторождения, могут претерпевать существенные изменения. Отсюда вытекает важнейшее следствие — прогноз оруденения базируется на совокупности золотоконтролирующих объектов, а не аномалий, сопровождающих их. Это предполагает корректную интерпретацию полей, включая тотальное моделирование.

Рассмотрим примеры результатов аэрогеофизических исследований на золоторудных месторождениях в различных геологических условиях, истории развития и масштабов оруденения.

Месторождение Сухой Лог, расположенное в Ленском золоторудном районе на севере Иркутской области, является самым крупным в стране по разведанным запасам (более 1000 т) и относится к золотосульфидному типу. В геологическом строении района работ принимают участие рифейские стратифициро-

ванные образования терригенного, карбонатно-терригенного и карбонатного составов. Магматизм представлен гранитами конкудеро-мамаканского комплекса карбонового возраста. Широко распространены различные разрывные нарушения запад-северо-западного направления. Месторождение приурочено к антиклинальной складке с простиранием, конформным разрывам. Комплексная аэрогеофизическая съемка, включающая магниторазведку и гамма-спектрометрию, выполнена в масштабе 1:25 000. Аппаратура — магнитометр ММК-01и гамма-спектрометр ГСА-2000.

В магнитном поле и его трансформантах месторождение проявлено специфическим образом (рис. 1). На карте аномального магнитного поля видно, что в 0,8 км южнее от выявленного месторождения зафиксирована локальная положительная аномалия (70 нТл) магнитного поля запад-северо-западного простирания, обусловленная объектом пирротиновой природы с близповерхностным залеганием. Аномалиеобразующий объект, контролирующий подрудный уровень, имеет пологое падение (25–35°) в направлении на север-восток-север (5–20 нТл). В поле локальной составляющей четко прослеживается серия максимумов (15–35 нТл), фиксирующих выходы пирротиновых тел на поверхность. Они же являются сместителями надвигов. В региональном магнитном поле месторождение сопровождается максимумом с амплитудой 20–25 нТл, контролирующим глубоко залегающие пирротинизированные образования. Объемы сульфидизации достаточны для образования уникальной по размерам геохимической ловушки оруденения.

Стратиграфически выше, а в плане севернее, к пирротинизированному объекту примыкает зона высоких содержаний калия (2–2,7 %) запад-северо-западной ориентировки, тождественная участкам серицитизации, бурошпатизации и скопления сульфидов (пирит, арсенопирит). Внутренние части этой зоны представлены ореолами выноса урана (2–2,3) × 10⁻⁴ %, тория (6–7) × 10⁻⁴ %, связанными с максимальной гидротермальной проработкой и окварцеванием. На западном и восточном флангах месторождения выноса ЕРЭ не наблюдается: уран — (3–4) × 10⁻⁴ %, торий — (8–11) × 10⁻⁴ %. Общая радиоактивность изменяется от 6–8 мкР/ч в центре до 9–11 мкР/ч — на флангах. В совокупности зоны высоких концентраций калия и нарушенного равновесия ЕРЭ рассматриваются в качестве минерализованного (рудного) объекта.

Это находит отражение в результатах статистического анализа исходных полей, реализованного в приложениях пакета Coscad-3D (рис. 1). По данным обработки методом главных компонент (МГК) с использованием аномального магнитного поля (ΔT)_a, содержания калия (К) и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) месторождение четко контролируется аномалией 3-й главной компонентой (ГК) интенсивностью до 2–3 стандарта (ст). При анализе только естественных радионуклидов (К, U, Th) месторождение «вписывается» в ореол 3-й ГК с амплитудой до 3 ст, сформированной максимумами калия и минимумами

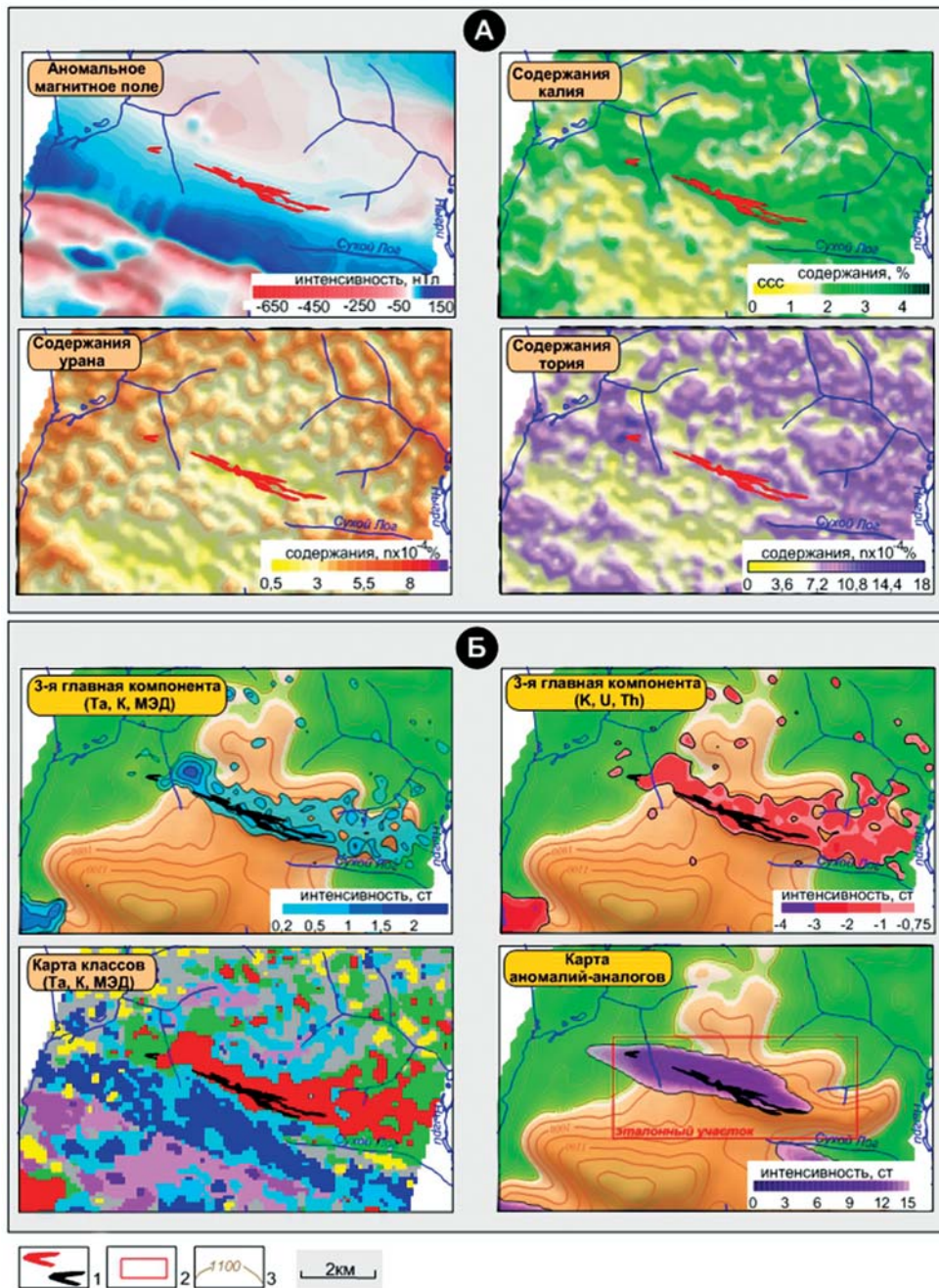


Рис. 1. Проявление месторождения Сухой Лог в геофизических, радиогеохимических полях (А) и результаты статистической обработки (Б): 1 — золоторудные тела; 2 — контур эталонного участка; 3 — изогипсы рельефа

урана, тория. В результате эталонной классификации выявлена аномалия-аналог, в границах которой локализовано месторождение Сухой Лог.

Более детальный статистический образ месторождения установлен по данным обработки методом динамических сгущений (К-средних). Анализ с привлечением $(\Delta T)_a$, К и МЭД показал, что все рудные тела приходятся на класс 9. Этот «рудный» таксон характеризуется следующими центрами класса: Та — 17 нТл, К — 2,5 %, МЭД — 6,4 мкР/ч. Результаты классификации с использованием ЕРЭ (К, U, Th) выявили радиохимическую зональность и основной «рудный» таксон 7, для которого характерны следующие показате-

тели: К — 2,5 %, U — 3×10^{-4} % и Th — $7,6 \times 10^{-4}$ %.

По совокупности геофизических данных геологическое строение представляется следующим (рис. 2):

Месторождение локализовано в пределах структурно-вещественного комплекса (СВК 4), сложенного породами терригенной формации. Это известковистые алевролиты, аргиллиты и углеродсодержащие сланцы. Последние рассматриваются как важнейший элемент ФГМ и контролируются ореолами урана. Рудовмещающие образования деформированы в напряженную антиклинальную складку запад-северо-западного простирания. Золоторудная зона (золотоносные метасоматиты) характеризуется пологим залеганием (25°) с падением в север-восток-северном направлении при запад-северо-западной ориентировке. Она конформна подстилающим крупнообъемным пирротинам и прослеживается до глубины 2,5 и более км. На участке обособлена серия субпараллельных надвигов (минимумы и максимумы магнитного поля), включая рудоконтролирующий (ось месторождения), имеющих пологое падение в север-восток-северном азимуте. Они же являются путями транзита рудных флюидов. Предполагаемый источник оруденения (гранитная интрузия, СВК 8) по данным плотностного моделирования расположен на глубине 2,8 км непосредственно под рудной зоной. Это расстояние представляется оптимальным для среднетемпературных золоторудных месторождений. В 3 км на юго-запад гранитный массив выведен на поверхность, что подтверждается контрастным ореолом содержания калия. Размеры интрузии достаточны для мобилизации рудного вещества в количестве, соответствующем крупному месторождению. Потенциал геохимической ловушки, как производная от объемов пирротинизации, соотносим с уникальным. Велики по размерам и золото локализирующие зоны метасоматитов.

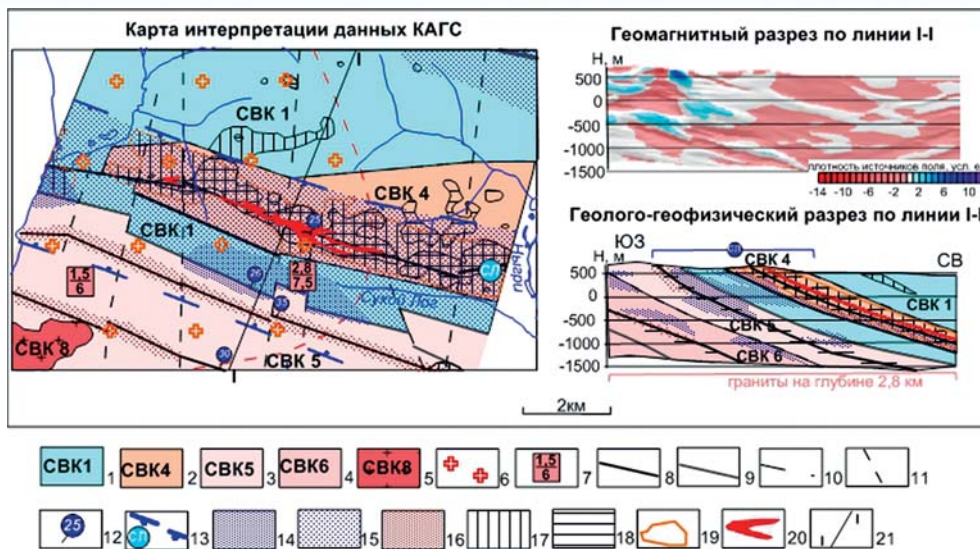


Рис. 2. Результаты аэрогеофизических работ в районе месторождения Сухой Лог. Структурно-вещественные комплексы: 1 — терригенно-карбонатная формация (мергели, глинистые известняки); 2 — терригенная формация (известковистые алевролиты, аргиллиты, углеродистые сланцы); 3 — карбонатно-терригенная формация (известковистые алевролиты, аргиллиты); 4 — карбонатно-терригенная формация на разрезе (алевролиты, аргиллиты); 5 — граниты конкудеро-мамаканского комплекса; 6 — то же, на глубине; 7 — элементы залегания гранитных тел (в числителе — глубина залегания верхней кромки, в знаменателе — мощность в км); 8–11 — разрывные нарушения; 8 — I система, надвиги наиболее раннего заложения с северным

падением сместителей (оси отрицательных линейных магнитных аномалий), 9 — II система, надвиги более позднего заложения с северным падением сместителей (оси положительных линейных магнитных аномалий), 10 — III система, рудоконтролирующие нарушения, синрудные, 11 — IV система, нарушения наиболее позднего заложения (пострудные); 12 — направление и угол падения сместителей; 13 — границы Сухоложской тектонической зоны; минерализованные зоны: 14 — пирротинизация приповерхностная; 15 — то же, на глубине; 16 — высокая концентрация магнетита; 17 — калиевый метасоматоз (серицитизация, сульфидизация, бурошпатизация); 18 — привнос калия при выносе урана и тория (интенсивная гидротермальная проработка, окварцевание); 19 — контуры рудоконтролирующего комплекса (золоторудная зона); 20 — выходы золоторудных тел на поверхность; 21 — линия разреза

Золото кварцевое месторождение Титимухта, являющееся по запасам средним (около 80 т при содержании около 3 г/т), находится на Енисейском Кряже в пределах Северо-Енисейского района Красноярского края. Объект является «спутником» крупнейшего Олимпиадинского месторождения и относится к золото кварцевой малосульфидной формации (по вещественному составу руды) к прожилково-вкрапленному (в терригенных породах) типу.

В геологическом строении района работ принимают участие осадочно-метаморфические породы, относимые к кординской и горбилочской свитам нижней части разреза верхнепротерозойской сухопитской серии. Их прорывают протерозойские гранито-гнейсы тейского и гранитоиды татарско-аяхтинского интрузивных комплексов. Месторождение приурочено к горизонту карбонатных, кремнисто-карбонатных пород и перекрыто углеродсодержащими (черными) сланцами. Золотое оруденение локализовано в периклинальном замыкании Благовещенской антиклинали и расположено в слюдисто-кварцевых и слюдисто-полевошпат-кварцевых сланцах, образующих кварцево-жильную зону протяженностью 800 м и шириной до 400 м. В составе рудных тел отмечаются: пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит. Вмещающие породы биотитизированы, реже хлоритизированы и графитизированы. Кварцевые жилы и прожилки имеют мощность от миллиметров до сантиметров, в единичных случаях достигают нескольких метров. Отмечается широкое развитие разрывной тектоники преимущественно северо-западного простирания и кор выветривания.

Комплексная аэрогеофизическая съемка (магнито-разведка, гамма-спектрометрия, тепловая съемка в

ИК-диапазоне) выполнена в масштабе 1:25 000. Аппаратура — магнитометр Aeromaster, гамма-спектрометр ГСА-2000, ИК-радиометр.

Основной морфоэлемент магнитного поля представлен локальным максимумом, перекрывающим месторождение (рис. 3). Его размеры составляют 750 × 900 м при субмеридиональном простирании, а амплитуда — до 30–35 нТл. Природа аномалии связывается с пирротинами, локализованными в нижнерудной-подрудной части оруденения. Максимум формируют два сближенных магнитоактивных объекта, падающих в восточном направлении под крутыми углами (70–87°). Данные последующего каротажа в целом подтвердили приведенные выводы.

Повышенные содержания калия группируются в аномальную зону северо-западного простирания с параметрами 400 × 900 м. Зона представлена двумя сопряженными ореолами интенсивностью 2,1–2,4 %, один из которых полностью перекрывает центральную (наиболее продуктивную) часть месторождения. Другой максимум приходится на фланги оруденения. Привнос калия обусловлен наличием серицитизации, березитизации. Ореол тория также локализован преимущественно в наиболее обогащенной части месторождения. Однако его размеры существенно меньше — 300 × 400 м, так же, как и относительная амплитуда — (8–9) × 10⁻⁴%. Природа ториевых аномалий связывается с общим процессом гидротермальной проработки, включая окварцевание. Зоны повышенных содержаний урана имеют более широкое и сложное распространение. Концентрации элемента составляют (2–2,7) × 10⁻⁴%. Обусловлены они углеродсодержащими породами, распространенными в верхнерудной-надрудной части месторождения.

Примечательно распределение теплового поля в ИК-диапазоне. Над центральной частью оруденения зафиксирован тепловой максимум с размерами 400 × 650 м при меридиональном простирании и относительной амплитудой 0,3–0,6 °С. Наиболее вероятная природа этой аномалии связывается с окислением сульфидов. Это явление известно, но практически не используется как поисковый признак. На природу теплового максимума косвенно указывает его пространственное совмещение с зоной развития кор выветривания. Их мощность по данным последующих работ достигает 25 м.

Группа золотосульфидных рудопроявлений, формирующих Викторьевскую золоторудную зону, расположена в Горной Шории (Таштагольский район Кемеровской области). В геологическом строении района работ принимают участие венд-кембрийские терригенно-вулканогенные образования, прорванные интрузиями кислого и ультраосновного составов. Широко распространены разрывные нарушения преимущественно северо-

восточного простирания. Рудопроявления приурочены к моноклинали с крутым юго-восточным падением.

Комплексная аэрогеофизическая съемка, включающая магниторазведку, гамма-спектрометрию и электроразведку становлением поля, выполнена в масштабе 1:10 000. Примечательной особенностью комплекса является электроразведочный канал высокой глубиной исследований (до 400 м), что резко расширяет объем полезной информации. Аппаратура — магнитометр CS-3, гамма-спектрометр RS-500 и электроразведочный комплекс «Импульс-А5».

Основные морфоэлементы магнитного поля представлены линейно-вытянутыми аномалиями северо-восточного и субмеридионального простирания (рис. 4). Аномалия, зафиксированная на западе площади, контролирует пирротинизированный горизонт — подрудный-нижнерудный репер Викторьевской зоны. Ее размеры составляют 0,3–9 км, а амплитуда уменьшается от 600 нТл на юге до 100 нТл — на севере. По степе-

ни интенсивности аномалии качественно оценена мощность эрозионного среза. Она варьирует от «нулевой» на северо-востоке до «очень высокой» на юго-западе. Центральная часть классифицирована как «умеренно эродированная» (200 нТл) и отнесена к наиболее перспективному в поисковом отношении. Падение аномалиевого объекта крутое (30–89°) в направлении на восток, юго-восток. К восточной границе рассматриваемого линейного максимума приурочены все известные рудопроявления золота. В центре площади выявлены линейные интенсивные (до 500 нТл) максимумы (ΔT)_a магнетитовой природы (магнетитосодержащие песчаники ордовика), контролирующие оси пликативных структур. Наиболее контрастная аномалия (1100 нТл), расположенная на юго-западе, соответствует серпентинизированным ультрабазитам. В поле горизонтального магнитного градиента все рудные объекты зафиксированы в пределах западной (Диагональной) аномальной зоны.

Центральная часть (наиболее перспективная) пир-

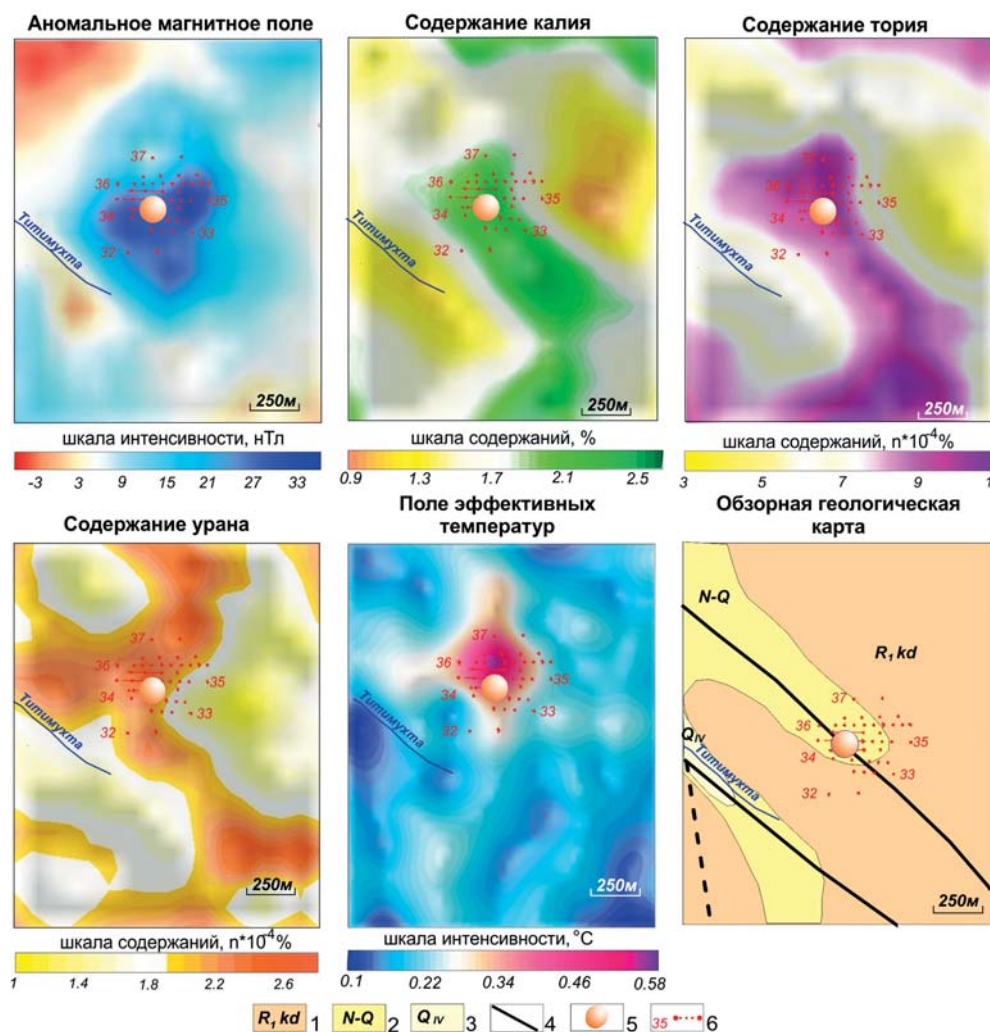


Рис. 3. Отражение месторождения Титимухта в геофизических и радиогеохимических полях. Геологические комплексы: 1 — образования кординской свиты нижнего рифея, представленные кремнисто-карбонатными и углеродсодержащими сланцами; 2 — нерасчлененные неоген четвертичные нелифитизированные отложения различного состава; 3 — современные отложения, сложенные суглинками, глинами; 4 — главные разрывные нарушения; 5 — центральная часть золоторудного месторождения; 6 — разведочные скважины с указанием номеров разведочных линий

ротинизированного объекта контролируется аномальной зоной повышенных содержаний ЕРЭ северо-восточного простирания при параметрах $1,2 \times 2,8$ км. Она представлена сближенными максимумами моноэлементов, по форме близких к изометричным. Содержания калия составляют 2,5–4,2 %. Природа высоких концентраций обусловлена метасоматитами различного состава (преимущественно березиты и пропили-

ты). Содержания урана достигают $(6-7,3) \times 10^{-4}$ %. Большая часть ореолов U связывается с углеродсодержащими образованиями — обязательного ассоцианта ряда золотоконтролирующих факторов. Аномалии тория превышают $(13-17) \times 10^{-4}$ %. Они фиксируют участки наибольшего проявления гидротермального процесса. Помимо этого, в поле распределения тория отчетливо проявлены кольцевые структуры, ото-

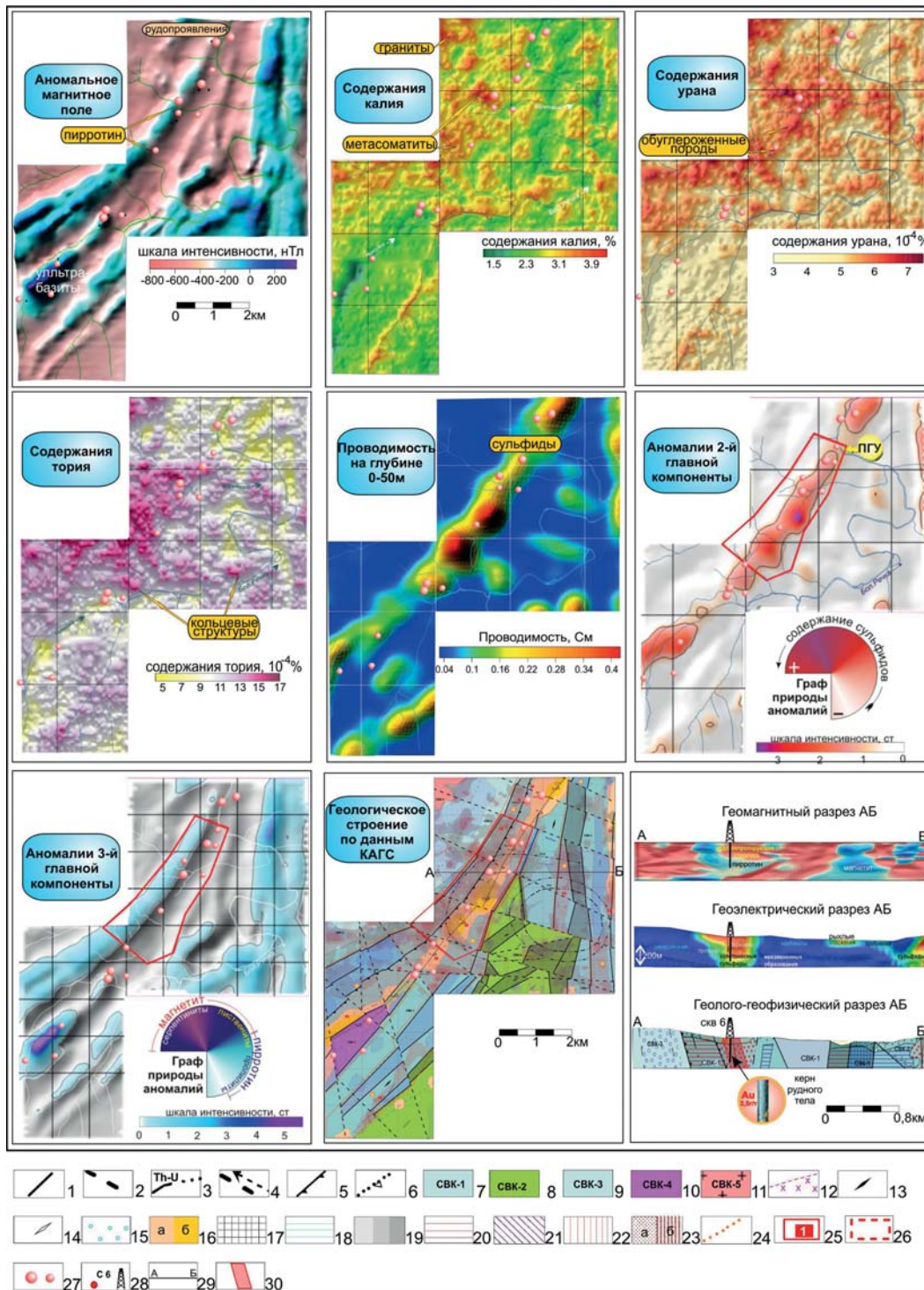


Рис. 4. Результаты аэрогеофизических исследований в районе Викторьевской золоторудной зоны. Разрывные нарушения: 1 — I система (дорудная), 2 — II система (синрудная и пострудная), 3 — III система (кольцевая, синрудная); 4 — рудоподводящие нарушения; 5 — главный рудоконтролирующий разрыв; 6 — плоскость развития линейной коры выветривания с указанием направления падения; структурно-вещественные комплексы: 7 — СВК-1, вулканогенно-осадочные образования первой и второй пачки верхней подсвиты мундыбашской свиты венд-кембрийского возраста, 8 — СВК-2, терригенные отложения анзасской свиты ордовика, 9 — вулканогенные образования третьей пачки верхней подсвиты мундыбашской свиты венд-кембрийского возраста, 10 — СВК-4, гипербазиты бархатного комплекса (кембрий), 11 — СВК-5, гранитоиды тельдесского комплекса (девон); 12 — предполагаемая интрузия среднего состава (источник оруденения); пликативные нарушения: 13 — положительные, 14 — отрицательные; минерализованные зоны: 15 — окварцевание, 16 — сульфидизация (а — умеренная, б — интенсивная), 17 — развитие магнетита, 18 — пирротинизация, 19 — углеродсодержащие образования (тоном показана степень обуглероженности); зоны метасоматических образований: 20 — пропилиты, 21 — листвениты, 22 — березиты; 23 — зоны привноса калия (а — умеренного, б — интенсивного); 24 — границы рудоконтролирующих комплексов; контуры перспективных геофизических участков: 25 — первоочередной заверки (ПГУ-1), 26 — второй очереди заверки; 27 — рудопроявления и проявления рудного золота; 28 — проверочная скважина на разрезе; 29 — линия геолого-геофизического разреза; 30 — золоторудная зона по геофизическим данным

плексов; контуры перспективных геофизических участков: 25 — первоочередной заверки (ПГУ-1), 26 — второй очереди заверки; 27 — рудопроявления и проявления рудного золота; 28 — проверочная скважина на разрезе; 29 — линия геолого-геофизического разреза; 30 — золоторудная зона по геофизическим данным

ждественные с «металлоносными фронтами», в эпицентре которых по данным плотностного моделирования расположена нескрытая гранитоидная интрузия.

Отмечается обратная пропорциональная связь между содержанием калия и интенсивностью магнитных аномалий в пределах западной аномальной зоны. Это, во-первых, может свидетельствовать о гидротермальной природе ореола К, во-вторых, позволяет оценить степень гидротермальной проработки (чем выше содержания К и меньше магнитного вещества, тем динамичнее проявления рудного процесса) и в-третьих, подчеркивает основные особенности используемой ФГМ золотого оруденения.

Стратиграфически выше, а в плане восточнее к северо-восточной магнитной аномалии примыкает контрастный линейно-вытянутый максимум проводимости с интенсивностью до 0,2–0,42 См/м. Размеры его составляют 0,7 × 9,6 км при северо-восточном простирании. Углы падения аномалиеобразующего объекта крутые (60–85°) в направлении близком к юго-восточному. Природа аномалии проводимости связывается в первую очередь со скоплениями сульфидов (березитов), а также с интенсивно трещиноватыми и обуглероженными образованиями. В первом приближении это золоторудная зона. Судя по величине проводимости (более 0,34 См/м) в центральной части зоны наблюдается наибольшая концентрация золотоносных метасоматитов.

По результатам статистической обработки методом главных компонент выделена 2-я главная компонента, представленная совмещенными максимумами содержания радиоактивных элементов, проводимости на различных глубинах при несколько повышенных величинах магнитного поля. Аномалии 2-й ГК наилучшим образом характеризуют пространственное распределение сульфидов и их количество. Максимум комплексной аномалии имеет северо-восточное простирание и соответствует золоторудной зоне. Аномалии 3-й ГК состоят из максимумов магнитного поля, повышенных концентраций моноэлементов и повышенной проводимости на различных глубинах. Природа их обусловлена в первую очередь золотоконтролирующими пропилитами, тяготеющими к нижней части оруденения (среднеинтенсивные максимумы 3-й ГК), а также гипербазитами (высокоамплитудные аномалии) и магнетитсодержащими отложениями (интенсивные максимумы).

По совокупности геофизических показателей в пределах площади выделено 5 структурно-вещественных комплексов (СВК). Наиболее распространенный СВК-1 контролирует вулканогенно-осадочные образования первой и второй пачки верхней подсвиты мундыбашской свиты венд-кембрийского возраста. Выделен он по сочетанию линейно-вытянутых среднеинтенсивных магнитных аномалий, множества комплексных радиоактивных максимумов, многочисленных зон нарушенного равновесия ЕРЭ и низкоомных зон. СВК-1 занимает центральную, северную и восточную части площади и рассматривается как золото-вмещающий.

Остальные СВК, соотнесенные с различными геологическими образованиями, обособлены по специфическим сочетаниям геофизических параметров. Контакты между всеми комплексами — тектонические (несогласные).

По результатам плотностного моделирования на востоке участка выделена интрузия среднего состава (предположительно кварцевые диориты), не выходящая на дневную поверхность. Для нее характерна повышенная плотность (2,78 г/см³ на фоне 2,67 г/см³, принятом для вмещающих пород) и размеры — 2 × 4 км. Простирание — меридиональное, глубина залегания верхней кромки от 0,3–0,6 до 4 км, вертикальная мощность — 2–6 км. Данный объект может рассматриваться как источник золотого оруденения.

На изученной площади по известным принципам установлено 3 системы разрывных нарушений, влияющих на локализацию оруденения. Первая — по времени заложения определяемая как дорудная, сформирована нарушениями северо-восточного и меридионального направлений. Углы падения сместителей — на востоке. Разлом, зафиксированный в центральной части площади, отнесен к рудоконтролирующим. Пространственно к нему приурочена нижнерудная часть искомого объекта. Протяженность его более 8 км, простирание — близкое к северо-восточному, углы падения сместителей — 70–75° на восток, юго-восток. Вторая система состоит из разрывов более позднего заложения, что следует из их деформирующего воздействия на составляющие первого пакета. Это синрудные и пострудные нарушения. Простирание разрывов от широтного до близкого к меридиональному, но в основном — северо-западное. Ряд разрывов в центре пересекающих как зоны метасоматитов (рудолокализации), так и глубинную интрузию (источник рудного вещества) условно отнесен к рудоподводящим. Основание этому — плановое совмещение нарушений и аномалий урана и тория. Третья система (также синрудная и, частично, рудоподводящая) представлена кольцевыми нарушениями в центре участка. Иницирована она развитием упомянутого перекрытого магматического тела среднего состава. Радиохимическая специализация кольцевых структур, видимо, подчеркивает рудную значимость выше отмеченного плутона. Особое место занимает протяженное разрывное нарушение, выделенное в центре площади по осям линейно-вытянутых минимумов электросопротивлений. Оно конформно рудоконтролирующему разлому, располагаясь от последнего в 300–600 м к востоку. Это плоскость развития линейной коры выветривания по сульфидам. Пакет карт-срезов электросопротивлений позволяет детально проследить поведение дизъюнктивной структуры на глубине. Углы падения сместителей невыдержаны и изменяются от 23° до 90° в восточном направлении.

Исследуемая площадь имеет выраженное складчатоблоковое строение. Пликативную составляющую удобнее рассмотреть на основе аномального магнитного

поля. Маркирующими горизонтами при этом являются объекты пирротиновой и магнетитовой природы.

Наиболее крупной структурой, занимающей большую часть площади, является горст-антиклиналь. Она окаймляется диагональной аномальной зоной на западе и меридиональной — на востоке. Западное крыло осложнено синклиналью более высокого порядка. Данная структура рассматривается как рудовмещающая. Здесь же сосредоточены все известные проявления золота. Все долины, эродирующие эту зону — золотonosны. Восточнее горст-антиклинали расположена наложенная отрицательная структура, по размерам сопоставимая с рудо локализующей. Здесь же можно выделить и более мелкие складки.

Минерализованные зоны, относимые к золотоконтролирующим, широко распространены на площади. Они имеют различный генезис, параметры и проявление. Наиболее важные зоны формируют следующий ряд: пирротинизированные, углеродсодержащие, калиевые и гидротермально окварцованные.

Примечательна крупная низкоомная зона, зафиксированная в центральной части площади. Она характеризуется не только значительными плановыми размерами (0,4–1,0 × 9 км), но и судя по картам-срезам электросопротивлений, прослеживается на глубину более 250 м, причем местами сопротивление с глубиной существенно снижается. Природа ее связывается с комплексом явлений: скоплениями сульфидов (пиритов, арсенопиритов), интенсивно обуглероженными породами, развитием кор выветривания, насыщенностью разрывными нарушениями. В поисковом отношении эта структура наиболее привлекательна. Похожая, но не околтуренная, меридиональная зона выявлена на крайнем востоке участка.

Участки развития золотоносных метасоматитов выделены по комплексу геофизических показателей с использованием геологической информации. Зоны пропилитизации обособлены по сочетанию среднеинтенсивных магнитных аномалий и повышенных содержаний калия (реже урана, тория), т.е. по гидротермально проработанным пирротинизированным объектам метаморфогенной природы. В статистических показателях они обозначаются классами 4, 5, 2 и повышенными величинами 1-й и 3-й главных компонент. Наиболее крупный участок пропилитизации (0,5 × 6,0 км) зафиксирован в северной части Диагональной зоны. Южнее из-за недостаточного гидротермального воздействия, выраженного в отсутствии аномалий ЕРЭ и высокой интенсивности магнитных аномалий, пропилиты развиты слабо.

Листвениты контролируются пространственным совмещением магнитных аномалий пониженной амплитуды, минимумами ЕРЭ, зонами низких электросопротивлений (среднеинтенсивные максимумы 3-й ГК и минимумы 1-й ГК). Это участки гидротермальной проработки серпентинитов. Здесь наблюдается разложение магнитного вещества в результате гидротермального процесса с образованием немагнитных сульфидов. Листвениты зафиксированы в экзоконтак-

те массива гипербазитов, преимущественно в его северной части (0,3 × 1,2 км).

Березиты представляют наибольший поисковый интерес. Для них характерны низкие электросопротивления, высокие содержания естественных изотопов, отсутствие магнитных объектов. В данных статистического анализа они контролируются классами 7, 8 и максимумами 2-й главной компоненты. При картировании этих метасоматитов широко использовался дизъюнктивный фактор. Наибольшая по площади зона березитизации (0,8 × 9 км) обозначена в центре участка, где она естественно контактирует по рудоконтролирующему разлому с пропилитизированным объектом. На востоке метасоматиты также ограничены разрывным нарушением.

По совокупности данных на Викторьевской площади выделено 2 рудо контролирующих комплекса (РКК). РКК-1 — Диагональный занимает центр участка и объединяет зоны пирротинизации, пропилитов, лиственитов, березитов, окварцевания, а также серпентинитов. РКК-2 расположен на востоке площади. Он сформирован теми же золото контролирующими объектами, исключая зоны лиственитизации и серпентинитов. Поисковая значимость РКК-2 ниже, чем у РКК-1 из-за меньшего развития метасоматитов, отсутствия золотопроявлений и значительной мощности эрозионного среза. Оба рудо контролирующих комплекса не околтурены и имеют продолжение как в северном, так и южном направлениях.

Выбор перспективных участков осуществлялся на основе принятой ФГМ золотого оруденения в черносланцевой толще. На площади выделено 7 участков различной поисковой значимости.

Самый перспективный участок № 1 характеризуется полным пакетом контрастно выраженных золото контролирующих факторов. Здесь широко развиты поля пропилитов, березитов, интенсивно проявлена разрывная тектоника. Участок имеет наиболее благоприятное положение относительно гипотетического источника рудного вещества с наличием рудоподводящих и рудо контролирующих разломов. Мощность эрозионного среза классифицируется как оптимальная. В его пределах известны 2 рудопроявления, 5 более мелких проявлений, а также 2 россыпи с промышленным содержанием. Предполагаемая рудная (страatifормная) зона имеет северо-восточное простирание и достаточно крутое падение (около 70° на восток). В пределах пропилитизированного горизонта зона выклинивается. Площадь участка составляет 1,3 × 3,8 км. Вертикальная мощность золоторудной зоны около 600 м при оптимальной мощности эрозионного среза.

Другие перспективные участки отнесены ко второй очереди заверки, вследствие неполного набора золото контролирующих объектов или они проявлены не столь ярко в геофизических полях, а также чрезмерной или недостаточной мощности эрозионного среза.

Впоследствии на участке № 1 по геофизическим рекомендациям осуществлено бурение 7 проверочных скважин глубиной до 300 м. По результатам опробова-

ния вскрыто золоторудное тело мощностью 15 м при содержании металла до 3,5 г/т.

Таким образом, все золоторудные объекты в черносланцевых толщах независимо от масштабов оруденения, геологических условий и истории развития сопровождаются типичным набором контролируемых (поисковых) признаков:

максимумы аномального магнитного поля и его составляющих (нижнерудная-подрудная пирротинизация);

высокие содержания калия и его производных при относительно пониженных концентрациях урана, тория (золотоносные метасоматиты);

зоны нарушенного равновесия ЕРЭ при невыдержанной общей радиоактивности;

высокая плотность разрывных нарушений (траектории транзита и локализации рудного вещества);

наличие источника оруденения (интрузии среднего-кислого состава), расположенного на оптимальном расстоянии (2–3 км);

тонкодисперсные углеродсодержащие вмещающие породы (ореолы урана).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кременецкий, А.А. Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых / А.А. Кременецкий, А.В. Липидус, В.Ю. Скрябин. — М.: Наука, 1990. — С. 59–137.
2. Пустозеров, М.Г. Применение геофизических методов при поисках золоторудных объектов в черносланцевых толщах на Енисейском крае / М.Г. Пустозеров // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. — Красноярск: КНИИГИМС, 1999 — С. 224–230.
3. Пустозеров, М.Г. Современные геофизические технологии при золотопроисловых работах в ЗАО «Полюс» / М.Г. Пустозеров // Разведка и охрана недр. — 2008. — № 1. — С. 37–43.

© Пустозеров М.Г., Дидичин Г.Я., 2017

Пустозеров Максим Григорьевич // mpustozerov@yandex.ru
Дидичин Геннадий Яковлевич // sgf24@bk.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.34: 553.261

Вилор Н.В.¹, Бадминов П.С.², Будяк А.Е.¹, Паршин А.В.¹, Давыденко Ю.А.³, Шкиря М.С.³, Вилор М.А.⁴ (1 — ИГХ СО РАН, ИрНТУ, 2 — ИЗК СО РАН, 3 — ИрНТУ, 4 — ИГ СО РАН)

ПОИСКИ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

При актуальности альтернативной энергетики проводятся поиски доступных геотермальных ресурсов в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории, в южном Прибайкалье Иркутской области. Запасы геотермальных ресурсов, связанные с подземными резервуарами термальных вод, контролируются структурами пересечения крупных региональных сейсмоактивных разломов с поперечными сбросами. В Мурынско-Выдринской депрессии с применением комплекса геологических, геохимических и геофизических методов выделен подземный геотермальный резервуар. **Ключевые слова:** подземные воды, импульсная электроразведка, тепловая космическая съемка, Прибайкалье.

Vilor N.V., Badminov P.S., Budyak A.E., Parshin A.V., Davidenko Yu.A., Shkirya M.S., Vilor M.A. (1 — IHC SB RAS, IrNITU, 2 — ISK SB RAS, 3 — IrNITU, 4 — IG SB RAS)

RESEARCHES OF GEOTHERMAL RESOURCES IN SOUTHERN PART OF BAIKAL REGION BY COMPLEX USE OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL METHODS

Researches of geothermal resources are conducted in Central ecological zone of Baikal natural territory in southern part of Baikal region of Irkutsk region because the alternative power

sources utilization problem is urgent and valid. Reserves of geothermal resources as reservoirs of underground thermal waters are controlled by structures of crossing of large regional seismoactive faults with transversal faults. The underground geothermal reservoir was detected by use complex of geological, geochemical and geophysics methods in Murino-Vidrin depression. **Keywords:** underground waters, impulse electrical survey, heat flow, Baikal region.

Центральная экологическая зона Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ) находится в Байкальском регионе, имеющем статус объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО. На территории Иркутской области в южной части оз. Байкал кроме возрастающих площадей дачных хозяйств расположены города Слюдянка, Байкальск и поселки городского типа Выдрино, Танхой, испытывающие дефицит тепло- и энергоснабжения. Способы теплогенерации из-за экологических ограничений и экономических издержек при особом статусе ЦЭЗ БПТ ориентированы в долгосрочном плане на замену углеводородного топлива экологически чистой геотермальной тепловой энергией, неисчерпаемыми ресурсами которой располагает Байкальская рифтовая зона (БРЗ). Геотермальные ресурсы (ГР) БРЗ характеризуются тепловым потенциалом, достаточным для теплоснабжения крупных административных, производственных и рекреационных объектов. Технико-экономические расчеты обосновывают экономическую выгоду такой замены, целесообразную с точки зрения эффективности и энергосбережения [11].

В Байкальском регионе [7–9] изучены месторождения природных термальных вод с неисчерпаемым потенциалом прогнозных геотермальных ресурсов. Поэтому актуальность использования их как альтернативных источников энергии стимулирует поиски ГР