

УДК 550.83:550.814:553.41

## ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ ПОЛЯХ СИБИРИ

**Ерофеев Леонид Яковлевич,**

д-р геол.-минерал. наук, профессор кафедры геофизики Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.

E-mail: Erofeev\_Leonid@tpu.ru

**Орехов Александр Николаевич,**

канд. геол.-минер. наук, доцент кафедры геофизики Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.

E-mail: orekhovan@mail.tomsknet.ru

*Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности геолого-поисковых работ при изучении месторождений золота.*

**Цель работы:** *определение возможностей комплекса геофизических методов при поисках, разведке и эксплуатации золоторудных полей Сибири.*

**Методы исследования:** *сбор, анализ и обобщение результатов ранее выполненных геофизических исследований на месторождениях золота Сибири, касающихся, главным образом, проблем их типизации. Анализ основных физико-геологических обстановок на месторождениях золота Сибири. Использовались как литературные данные, так и материалы собственных полевых геофизических работ, проведённых в Восточном и Западном Саянах, Кузнецком Алатау, Енисейском Кряже, Байкальской горной области, а также Забайкальской части Монголо-Охотского рудного пояса.*

**Результаты:** *предложена геофизическая типизация золоторудных объектов Сибири, созданная на основе определения особенностей их проявления в физических полях на фоне вмещающих пород. Для каждого из выделенных типов определены основные возмущающие факторы. Оценена эффективность геофизических методов при изучении золоторудных объектов для каждой из охарактеризованных обстановок.*

### **Ключевые слова:**

*Систематизация рудных полей, месторождения золота, геофизические методы поисков и разведки, магниторазведка, электро-разведка, гаммаспектрометрия.*

Месторождения золота Сибири весьма многообразны. Известно, что формировались они во все времена, отмеченные в геологической науке, и на всех изученных стадиях преобразования Земной коры. Если иметь в виду только промышленно значимые скопления благородного металла, называемые «коренными месторождениями золота», то их появление обусловлено деятельностью геологических процессов, протекавших в Земной коре в периодах от докембрия до позднего палеозоя.

Золото встречается практически во всех геолого-геохимических группах рудных месторождений и во всех типах геотектонических структур. Но для отложения его в повышенных концентрациях на ограниченных участках необходимо, чтобы в пределах этих участков прошло множество разнообразных процессов, которые мобилизуют, переносят и осаждают золото в благоприятной геологической обстановке из рассеянного (фоновое) состояния в месторождения.

Опыт изучения золоторудных месторождений показывает, что, с одной стороны, они имеют различные рудоконтролирующие геологические формации, а также пликативные, дизъюнктивные и другие особенности геологического строения, поэтому каждое месторождение золота, с учётом всей совокупности элементов, характеризующих его, представляется образованием феноменальным. С другой стороны, в ряду многообразия обстановок нахождения и природы формирования золоторудения имеются схожие по ряду признаков месторождения, что позволяет объединять их в относительно однородные группы (типы). Типизация проводится на основе данных о результатах деятельности в геологической среде комплекса рудообразующих процессов.

Значительный интерес к вопросам типизации, пик исследований по которым пришёлся на 90-е гг. прошлого столетия, вызван необходимостью обобщения и анализа огромного фактического материала, накопленного практически во всех золоторудных провинциях страны, с основной целью – повышение эффективности геологоразведочных работ на золото.

Особо весомый вклад в создание и развитие этого научно-методического направления внесли сотрудники ЦНИГРИ и ряда других организаций (И.Б. Бородаевская, Н.И. Бородаевский, Д.И. Горжевский, Т.Я. Корнев, М.М. Константинов, А.А. Кременецкий, А.И. Кривцов, Н.К. Курбанов, В.К. Нарсеев, Е.М. Некрасов, Ю.И. Новиков, Ю.И. Новожилов, В.Ю. Прокофьев, Ю.Г. Сафонов, А.М. Спиридонов, Н.А. Фогельман и др.).

К настоящему времени, в разной мере детальности и степени соответствия реальной геологической обстановке, определена и принята большей частью исследователей схема типизации золоторудных месторождений, созданная на основе золоторудных формаций с учётом геологических обстановок нахождения месторождений [1]. Она играет

существенную роль в исследовательских и производственных работах на золото, представляя в концентрированной форме более чем вековой опыт поиска, разведки и эксплуатации месторождений золота, но она далеко не в полной мере отвечает запросам разведочной геофизики. Это обусловлено главным образом тем, что, *во-первых*, значимые с геологических позиций признаки месторождений и обстановок их нахождения не обязательно будут проявляться в физических полях в той же мере, а могут и вообще никак не проявляться, а *во-вторых*, интегральным отображением элементного состава рудных тел в наблюдаемых физических полях. Поэтому найти практически приемлемое соответствие между геолого-геохимическими и геолого-геофизическими типами месторождений в общем виде не представляется возможным.

Анализ опубликованных и фондовых геологических, геофизических материалов, результатов многолетних петрофизических и комплексных геофизических исследований, выполненных нами на золоторудных полях в пределах складчатого обрамления Сибирской литосферной плиты (зеленокаменные пояса Восточного и Западного Саян, Енисейского кряжа, Байкальской горной области, Забайкальской части Монголо-Охотского пояса) показали, что наиболее приемлемым критерием разделения и систематизации золоторудных месторождений этого региона с физико-геологических позиций являются породы, вмещающие рудные поля.

По «вмещающей среде» рудные поля золота региона делятся на следующие типы, локализованные в: 1) интрузивных образованиях, 2) углеродисто-терригенных (черносланцевых) толщах, 3) приконтактовых (скарновых) зонах терригенно-вулканогенно-карбонатных комплексов пород с интрузивными и 4) терригенно-осадочных флишеидных толщах пород.

#### **Золоторудные поля, локализованные в интрузивных образованиях**

К первому геолого-геофизическому типу относятся многие месторождения золота Сибири, рудные поля которых целиком локализованы в интрузивных комплексах пород (Центральное, Комсомольское, Берикольское, Дарасунское, Теремкинское, Талатуйское, Кирийское, Пильнинское, Козловское, Дильмачикское, Апрельковское, Ара-Илинское, Итакинское, Дыбинское, Ключевское и др.) [2–5].

В пределах этих золоторудных полей основными аномалеобразующими геологическими неоднородностями, значимыми для поисково-разведочных работ, являются (первый геолого-геофизический тип):

- контакты интрузивных массивов, вмещающих рудное поле, с породами «рамы»;
- неоднородности минералогического состава вмещающих оруденение пород;

- рудные тела и локальные околорудно измененные участки пород.

Все отмеченные аномалеобразующие геологические неоднородности в той или иной мере имеют отношение к золотооруденению, но особенно тесно связаны с ним локальные метасоматиты, наличие которых в пределах рудных полей позволяет прогнозировать с помощью геофизических методов местоположение рудных тел, их морфологию и, при наличии эталонов, их продуктивность.

Самородное золото, обладающее многими уникальными физическими свойствами, в наблюдаемых при геофизических съемках полях не создает заметного отражения главным образом из-за малого объема его нахождения в общей массе руды. Известно, что основная часть его (в рудном теле) заключена в трех минералах – кварце, шпирите и арсенипирите, реже – в магнитном пирротине. Благодаря присутствию сульфидов, рудные тела практически всех месторождений золота имеют повышенную электропроводность, поляризуемость, плотность и по большей части немагнитны. Поэтому аномальный эффект в физическом поле существенно зависит от содержания сульфидов в рудном теле. В большинстве формационных типов выделяют малосульфидные (1...5 % от общего объема руды), умеренно-сульфидные (5...15 %) и существенно-сульфидные (>15 %) подтипы. В геофизическом плане эта градация, без учета размера рудных тел, не может быть использована для оценки возможностей геофизических методов при картировании рудных тел: малообъемные существенно-сульфидные рудные тела могут не находить отражения в наблюдаемых физических полях и наоборот.

Нередко основным объектом при геофизических исследованиях в пределах рудных полей становятся не собственно рудные тела, а околорудно измененные породы, объемы которых на порядок, иногда и более, превышают размеры рудных тел. Поскольку околорудные метасоматиты по морфологии и интенсивности проработки в них рудоносными гидротермами вмещающих пород имеют связь с геофизическими параметрами рудного тела и его продуктивностью, то это существенно расширяет возможности геофизических методов, увеличивает их эффективность при поисках и изучении золоторудных месторождений.

Следует подчеркнуть, что в большинстве случаев, за исключением тех, когда в руде содержится магнитный пирротин или магнетит, рудные тела этого геолого-геофизического типа в магнитном поле представляются как единое целое с околорудными метасоматитами. Это обусловлено тем, что магнитная восприимчивость интрузивных, как правило, магнитных, вмещающих оруденение пород, резко уменьшается в околорудном пространстве (до немагнитного уровня) под действием практически всех видов гидротермальных преобразований пород: березитизации, пиритизации, серицитизации, карбонатизации, окварцевания и т. п. [6–8].

В результате околорудные метасоматиты вместе с немагнитной рудой создают одну нераздельную аномальную зону пониженной магнитной индукции, как правило, контрастно выделяющуюся на фоне магнитных вмещающих пород [9].

Что касается электрических методов разведки, то ситуация у рассматриваемого геолого-геофизического типа выглядит следующим образом.

В полях омического сопротивления и дизэлектрической проницаемости, вызванной и естественной поляризации, индуктивных и пьезо эффектов околорудные метасоматиты практически не отличаются от вмещающих пород. Аномальный эффект обуславливают главным образом два фактора – сульфиды рудного тела и в целом рудовмещающая структура, заполненная чаще всего в разной мере дробленными, каолинизированными и обводненными в близповерхностных условиях породами [10–14].

Радиоактивное поле интрузивных массивов в процессе формирования золоторуднения (как на подготовительном этапе метаморфических и метасоматических преобразованиях пород, так и в рудный этап), естественно, трансформируется. Из элементов триады РАЭ наибольшую вероятность перераспределения имеет К. Его привнос происходит при серицитизации, карбонатизации, аргилитизации, березитизации, биотитизации, т. е. его повышенные концентрации могут быть сформированы в околорудных метасоматитах [15, 16].

#### **Рудные поля золота, локализованные в углеродисто-терригенных (черносланцевых) толщах**

В рассматриваемой золоторудной провинции к этому типу относится значительная часть месторождений и рудопроявлений золота, в том числе такие крупные как Олимпиада, Сухой Лог, Чертово Корыто, Зун-Холба, Герфед, ряд месторождений Ольховско-Чибижекской рудной зоны Восточного Саяна, Муйского, Кодаро-Удоканского, Хэнтэй-Даурского и Приаргунского золоторудных районов Забайкалья.

Месторождения сформированы в стратиграфически обособленных толщах мощных отложений геосинклинальных комплексов протерозоя – нижнего палеозоя [2–5].

Для рудных полей, локализованных в этих толщах, характерным является наличие углефицированных и нередко пиритизированных сланцев, в которых в предрудные, рудные и послерудные этапы геологического развития толщи под действием метаморфических, метасоматических и тектонических процессов произошла существенная дифференциация физических свойств, а именно, образовались участки графитизации, повышенной пиритизации, пирротинизации, изменения направления вектора остаточного намагничивания и радиоактивности. С такими участками генетически и пространственно часто связывается оруденение [17–20].

Из отмеченного выше следует, что основными неоднородностями геологического строения, сопровождаемыми аномалиями физических полей, у второго геолого-геофизического типа рудных полей золота являются:

- собственно пачки углефицированных пород;
- участки графитизации углеродистых пород;
- участки пирротинизации и пиритизации углеродистых пород;
- участки с нарушенным остаточным намагничиванием углеродистых пород;
- участки с нарушенным отношением концентраций естественных радиоактивных элементов;
- рудные тела.

Слои углефицированных пород, как правило, четко выделяются в разрезе методами сопротивлений, естественного электрического поля и вызванной поляризации. В этих аномальных зонах отмечаются места повышенной проводимости и (или) поляризации, обычно приуроченные к «изгибам» аномальных зон или их смещениям, обусловленным поперечными тектоническими нарушениями. С этими участками нередко совпадают локальные аномалии магнитного поля, радиоактивности и изменения направления вектора остаточного намагничивания пород [9, 17, 19].

Рудные тела этого геолого-геофизического типа месторождений золота, представленные обычно минерализованными зонами или залежами, реже жилами, чаще всего локализируются в контактовых частях углеродистых пород с карбонатными (Олимпиада, Зун-Холба, Герфед и др.) или располагаются непосредственно в углеродистых толщах (Саралинское, Огне-Потеряевское и др.), создают интенсивные аномалии в поле сопротивлений и электрической поляризации, иногда в магнитных и радиоактивных полях [19].

#### **Рудные поля золота, локализованные в приконтактных (скарновых) зонах терригенно-карбонатных комплексов пород с интрузивами**

Скарновые золоторудные месторождения широко распространены в Сибири, особенно в Саянах (Синюхинское, Мурзинское, Чайское, Натальевское, Федоровское, Майско-Лебединское, Тарданское, Копто, лог № 26, Ульменское, Югагинское, Южное и др.) и в Забайкалье (Юбилейное, Быстринское, Андрюшенское, Желанное, Урюмканское, Луганское, Уронайское и др.).

Ведущими аномалеобразующими в физических полях геологическими образованиями у этого типа являются контакты вмещающих терригенно-карбонатных пород, скарнов, рудных тел и интрузивов. Интрузивные породы обычно имеют более высокую магнитную восприимчивость по отношению к практически немагнитным карбонатным комплексам пород. Естественно, что площади их развития уверенно разделяются в магнитном поле.

Скарновые залежи в «чистом виде», т. е. не вмещающие оруденение, по электрическим свойствам практически не отличаются от приконтактовых мраморизованных известняков и интрузивов. В скарнах нередко содержится в значительных количествах рассеянный магнетит или пирротин, что определяет их повышенную магнитную восприимчивость по отношению к вмещающим породам [6, 21].

На большей части скарновых месторождений региона золоторудная минерализация представлена продуктами многоэтапного рудного процесса, различающимися как по минеральному составу, так и их пространственному и структурному положению. В месторождениях, как правило, выделяется два основных типа оруденения: ранние высокотемпературные рудные образования, пространственно и генетически связанные со скарнами, и золоторудная минерализация, в большей мере обособленная от скарнов и представленная средне-, низкотемпературной ассоциацией в виде жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения. Как правило, эта минерализация развивается по линейным зонам дробления тектонических нарушений различных по составу пород, включая осадочные, магматические и реже скарновые. Раннее высокотемпературное оруденение, представленное телами в форме гнезд, минерализованных зон и зон мелких прожилков, формируется обычно на участках антиклинальных перегибов, сопровождающихся структурами отслоения, и, в меньшей мере, флексурных изгибов известняков [21].

Руды обеих ассоциаций обладают электронной проводимостью и, в зависимости от количества сульфидов в руде и объема рудного тела, создают в поле сопротивлений или (и) электрической поляризации аномальный эффект разной интенсивности. Разделить руды между собой в этом случае можно лишь по форме аномалий – у низкотемпературных рудных тел линейно-вытянутые зоны, у ранних – относительно изомерные возмущения.

Руды в отдельных случаях могут быть разделены и по их магнитной восприимчивости. Такое возможно, когда в высокотемпературной ассоциации присутствует магнетит.

В общем же случае руды той и другой ассоциации без магнетита и пирротина всегда обладают низкой магнитной восприимчивостью, благодаря чему они сопровождаются в магнитном поле аномалиями пониженной индукции, которые фиксируются в интрузивных массивах и, нередко, в скарнах. В связи с наложенным характером того и другого оруденения, рудные тела нередко сопровождаются повышенной радиоактивностью (причем для скарнов как правило ториевой природы). При этом наибольшая радиоактивность отмечается в зонах грейзенизации пород [6, 7, 9, 22].

Ряд этих месторождений имеют значительные запасы золота и длительное время находятся в эксплуатации, многие законсервированы, и их промышленная значимость не оценена [2, 4].

### **Рудные поля золота, локализованные в терригенно-осадочных флишидных толщах**

К рассматриваемому типу золоторудных полей Сибири относится значительная группа рудопроявлений и месторождений Забайкалья, в том числе крупных, длительное время обрабатываемых, таких как Тасеевское и Любавинское, и Енисейского края (Советское, Ветренское, Эльдorado, и др.).

С геофизических позиций, этим рудным полям присущи три основные особенности.

Рудные тела, представленные кварцевыми жилами, нередко сконцентрированные в пределах рудных полей в обширные протяженные зоны, за редким исключением, немагнитны, как и околорудные метасоматиты, которые в совокупности с рудой в магнитном отношении практически не отличаются от немагнитных вмещающих пород.

Рудные тела из-за малого содержания в них сульфидов чаще всего не оказывают влияния на электросопротивление рудовмещающей структуры. Вследствие этого она в поле электросопротивлений пород может проявляться так же, как и «пустые» тектонические нарушения.

И, наконец, различные литолого-фациальные образования, слагающие вмещающую оруденение толщу, чаще всего имеют практически одинаковые физические свойства.

Понятно, что возможности геофизических методов в условиях этих рудных полей в значительной мере ограничены. При благоприятных условиях для картирования рудных тел (зон) могут быть применены методы электрической поляризации и магнитометрии.

Говоря в целом о предложенной системе геолого-геофизической типизации месторождений золота Сибири, отметим, что она выполнена без учета плотностных и связанных с ними скоростных характеристик пород, вмещающих золоторудные поля.

Сейсмические методы при разведке рудных полей золота пока не нашли значительного применения и, естественно, сегодня нет достаточного фактического материала по распределению упругих свойств пород в пределах рудных полей.

Гравиразведка чаще используется в золоторудных районах, главным образом для целей общего глубинного геокартирования. С ее помощью обычно определяют местоположение интрузивных массивов, перекрытых терригенно-осадочными отложениями, мощность перекрывающих отложений и трассируют крупные тектонические нарушения, первые из которых имеют генетическую связь с оруденением, некоторые из вторых являются рудоконтролирующими образованиями, но какой-либо устойчивой специфики проявления этих плотностных неоднородностей в поле силы тяжести у рудных полей золота не установлено.

При рассмотрении геологических неоднородностей, создающих аномалии в физических полях, не обращалось также внимание на дайки и тектонические нарушения, поскольку они обычно однообразно проявляются в физических полях различ-

ных месторождений – сопровождаются линейно вытянутыми аномалиями повышенных или пониженных значений параметра поля или повышенного градиента его изменения.

Многие рудные месторождения золота Сибири не могут быть отнесены «целиком» к тому или иному типу предложенной классификации. Нередки случаи, когда рудные тела одного и того же месторождения располагаются в различных комплексах терригенно-осадочных пород и интрузивных образований. Более того, некоторые месторождения по формальным признакам относятся к одному типу, а на самом деле по реальной физико-геологической обстановке принадлежат к другому. К примеру, родные тела Бaleyского месторождения целиком локализованы в интрузивных породах, но они немагнитны, магнитная восприимчивость их существенно снижена под воздействием комплекса постмагматических процессов, и поэтому они практически не отличаются от немагнитных терригенных осадочных пород рядом расположенного Тасеевского месторождения, и общая физико-геологическая обстановка на Балее аналогична Тасеевской [23].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Золото» / Б.И. Беневольский, Е.В. Блинова, А.В. Бражкин, С.С. Вартанян, А.И. Кривцов, Е.Е. Крыгня, В.И. Лобач, М.С. Михайлова, Л.Ф. Мызенкова, В.П. Новиков, А.А. Староженко, И.С. Чанышева / отв. ред. Б.И. Беневольский, С.С. Вартанян. – М.: Изд-во ЦНИГРИ, 2010. – 182 с.
2. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д. Геолого-генетические модели золоторудных месторождений Забайкальской части Монголо-Охотского складчатого пояса // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. – № 11. – С. 1158–1168.
3. Роцектаев Н.А. и др. Золото Бурятии. Кн. 1. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СОРАН, 2000. – 463 с.
4. Корнев Т.Я. и др. Металлогения золота зеленокаменных поясов Восточного и Западного Саяна. – Красноярск: КНИИ-ГиМС, 2010. – 227 с.
5. Семинский Ж.В., Филонюк В.А., Корж В.В. и др. Модели рудных районов и месторождений Сибири. – М.: Недра, 1994. – 252 с.
6. Чупров В.В. и др. Геолого-геофизическая классификация рудных объектов при общих и детальных поисках // Советская геология. – 1982. – № 4. – С. 24–28.
7. Соловьев Г.А. Петрофизическая классификация рудных месторождений // Геология и разведка. – 1991. – № 6. – С. 22–29.
8. Рудерман Е.Н. К созданию системы обнаружения золоторудных метасоматитов геофизическими методами // Геология и разведка. – 1990. – № 5. – С. 122–128.
9. Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н. Магнито-геологические модели золоторудных тел и возможности магнитометрии при их разведке // Минералогия Северо-Восточной Азии: Матер. II Всеросс. научно-практ. конф. – Улан-Удэ: ИД «Экос», 2011. – С. 46–47.
10. Солодов А.А. Применение электроразведки при поисках золоторудных месторождений Дарасунского типа в Восточном Забайкалье // Тр. ЦНИГРИ. – 1962. – Вып. 51. – С. 42–51.
11. Сейфуллин Р.С., Сидельников Ю.З. и др. Геолого-геофизические модели золоторудных месторождений Забайкалья // Геология и геофизика. – 1978. – № 9. – С. 103–108.

#### Выводы

Предлагаемая физико-геологическая типизация рудных полей месторождений золота позволяет ориентироваться в определении возможностей геофизических методов в круге геологических задач, которые могут быть решены сегодня с помощью геофизики. Физико-геологическая типизация делает возможным априори, на основе только общих геологических данных, наметить необходимый комплекс геофизических методов, выбрать технологию производства геофизических работ, что обуславливается упорядочением характеристик аномалеобразующих геологических неоднородностей в различных комплексах пород, вмещающих золотооруденение.

Выполненное упорядочение физико-геологических условий не является закрытым, исчерпывающим вариантом. Безусловно, его обоснование с разных сторон открыто для критики. Дальнейшие исследования по физико-геологической типизации необходимы, и они будут продолжаться, с нашей точки зрения, по пути выявления новых связей физических полей с рудными полями золота.

12. Антонов В.В. и др. Геофизические методы при поисках и разведке золоторудных месторождений // Поиски мест. тв. пол. ископ. геол. методами: сб. научн. трудов. – М.: Наука, 1979. – С. 108–119.
13. Ерофеев Л.Я., Орехов А.Н. Физические свойства пород и оруденение золото-кварц-сульфидных месторождений // Золото Сибири и Дальнего Востока: Труды III Всеросс. симпозиума с международным участием. – Улан-Удэ, 21–25 сентября 2004. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СОРАН, 2004. – С. 71–74.
14. Киселев М.И. Рациональный комплекс геофизических методов при поисках и разведке золоторудных месторождений // Разведка и охрана недр. – 1973. – № 8. – С. 31–36.
15. Альштулер М.И. Физико-радиохимическая зональность рудных полей золото-кварцевых месторождений // Методы разв. геол.: сб. науч. трудов. – Л.: НПО «Рудгеофизика», 1982. – С. 13–23.
16. Фельдман А.А. и др. Применение гаммаспектрометрии при поисках золоторудных месторождений близповерхностного типа // Разведка и охрана недр. – 1975. – № 10. – С. 59–60.
17. Орехов А.Н., Номоконова Г.Г. Природа аномалий физических полей Верхне-Енашиминского рудного района // Геофизические исследования в Средней Сибири: сб. научн. тр. / гл. ред. А.Г. Еханян. – Красноярск: Изд-во КНИИГиМС, 1997. – С. 202–206.
18. Алексеева А.К., Шолпо Л.С. Петромагнитная типизация пород черносланцевых золотоносных толщ // Физ. Земли. – 1995. – № 2. – С. 84–90.
19. Алексеева А.К., Кременецкий А.А. Природа петрофизических неоднородностей в разрезах золоторудных черносланцевых толщ // Геофизические исследования на твердые полезные ископаемые: тезисы докладов Международной геофизической конференции. – СПб., 2–6 октября 2006. – СПб.: ООО «Издательство Welcome», 2006. – С. 212–213.
20. Ерофеев Л.Я., Номоконова Г.Г., Орехов А.Н. Петрофизические условия локализации месторождений золота в углеродистых породах // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях: матер. Всеросс. научно-техн. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – С. 207–212.

21. Гусев А.И. Геолого-генетическая модель Синюхинского золото-медно-скарнового месторождения // Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: Матер. науч. конф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – С. 104–108.
22. Приходько А.Ю. Условия формирования золоторудных месторождений по геофизическим данным // Геофизические исследования на твердые полезные ископаемые: тезисы докладов Международной геофизической конференции. – СПб., 2–6 октября 2006. – СПб.: ООО «Издательство Welcome», 2006. – С. 284–285.
23. Новиков И.П. Характеристика Балецкого рудного поля с геофизической точки зрения // Известия Томского политехнического института. – 1970. – Т. 18. – С. 50–57.

Поступила 29.04.2013 г.

UDC 550.83:550.814:553.41

## GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL CONDITIONS AT SIBERIAN GOLDEN ORE FIELDS

**Leonid Ya. Erofeev,**

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University,  
Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30.  
E-mail: erofeev\_leonid@tpu.ru

**Aleksandr N. Orekhov,**

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University,  
Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30.  
E-mail: orekhovan@mail.tomsknet.ru

*The urgency of the discussed issue is caused by the need to improve the effectiveness of geological prospecting when studying golden ore deposits.*

*The main aim of the study is to identify the opportunities of geophysical methods in prospecting, exploration and exploitation of Siberian golden ore fields.*

*The methods used in the study: data collection, analysis and synthesis of the results of previously performed geophysical studies in Siberian golden ore deposits mainly related to the problems of their typing; analysis of the main physical and geological environments for Siberian golden ore deposits. The authors have used both published data and materials of their own field geophysical work carried out in the East and West Sayan, Kuznetsk Alatau, the Yenisei Ridge, Baikal mountain area, as well as the part of the Trans-Baikal Mongolia-Okhotsk ore belt.*

*The results: The authors have proposed the geophysical typing of Siberian golden ore objects, established on the basis of determining the characteristics of their manifestation in the physical fields on the background of the host rocks. For each identified type the key disturbing factors were determined. The efficiency of geophysical methods in the study of gold objects for each of the environments is characterized.*

### Key words:

*Systematization of ore fields, golden ore deposits, geophysical methods of prospecting and exploration, magnetic prospecting, electrical prospecting, gamma spectrometry.*

### REFERENCES

1. Benevolsky B.I., Blinov E.V., Brazhkin A.V., Vartanian S.S., Krivtsov A.I., Krytnya E.E., Lobach V.I., Mikhailova M.S., Myzhenkova L.F., Novikov V.P., Storozhenko A.A., Chanysheva I.S. *Metodycheskoye rukovodstvo po otsenke prognoznykh resursov almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov. Vypusk «Zoloto»* [Methodological guidance on the assessment of expected resources of diamonds, precious and nonferrous metals. Issue «Gold»]. Moscow, TSNIIGRI Publ., 2010. 182 p.
2. Spiridonov A.M., Zorina L.D. Geologo-geneticheskiye modeli zolotorudnykh mestorozhdeniy Zabaikalskoy chasti Mongolo-Ochotskogo skladchatogo poyasa [Geological-genetic models of the golden ore deposits of the Trans-Baikal Mongolia-Okhotsk fold belt]. *Geology and Geophysics*, 2006, vol. 47, no. 11, pp. 1158–1168.
3. Roshchektaev N.A. *Zoloto Buryatii* [Gold of the Buryatia]. Ulan-Ude, BNC SORAN Publ., 2000. Vol. 1, 463 p.
4. Kornev T.Ya. *Metallogeniya zolota zelenokamennykh poyasov Vostochnogo i Zapadnogo Sayana* [Gold metallogeny of greenstone belts of Eastern and Western Sayan]. Krasnoyarsk, KNIIG-GiMS Publ., 2010. 227 p.
5. Seminskiy G.V., Philonyuk V.A., Korzh V.V. *Modeli rudnykh rasyonov i mestorozhdeniy Sibiri* [Models of the ore regions and fields of Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1994. 252 p.
6. Chuprov V.V. Geologo-geofizicheskaya klassifikatsiya rudnykh obektov pri obshchikh i detalnykh poiskakh [Geological and geophysical classification of ore objects in general and detailed search]. *Soviet geology*, 1982, no. 4, pp. 24–28.
7. Soloviev G.A. Petrofizicheskaya klassifikatsiya rudnykh mestorozhdeniy [Petrophysical classification of ore deposits]. *Geology and Exploration*, 1991, no. 6, pp. 22–29.
8. Ruderman E.N. K sozdaniyu sistemy obnaruzheniya zolotorudnykh metasomatitov geofizicheskimi metodami [On development of the system for detecting gold ore metasomatites by geophysical techniques]. *Geology and Exploration*, 1990, no. 5, pp. 122–128.
9. Erofeev L.Ya., Orekhov A.N. Magnito-geologicheskie modeli rudnykh tel i vozmozhnosti magnitometrii pri ikh razvedke [Magnetic

- ic-geological models of the golden ore bodies and magnetic survey opportunities for their exploration]. *Mineragenia Severo-Vostochnoy Asii. Trudy II Vserossiyskoy nauchno-practicheskoi konferentsii* [Proc. II Russian Conf. Mineragenia of the Nord-East Asia]. Ulan-Ude, 2011, pp. 46–47.
10. Solodov A.A. Primenenie elektrorazvedki pri poiskakh zolotorudnykh mestorozhdeniy Darasunskogo tipa v Vostochnom Zabaikalye [Application of the electrical prospecting for searching Darasunsky type golden ore deposits in East Zabaikalye]. *Proc. TSNI-GRI*, 1962, Iss. 51, pp. 42–51.
  11. Seyfullin R.S., Sidelnikov U.Z. Geologo-geofizicheskie modeli zolotorudnykh mestorozhdeniy Zabaikalia [Geological and geophysical models of the Zabaikalye golden ore deposits]. *Geology and Geophysics*, 1978, no. 9, pp. 103–108.
  12. Antonov V.V. Geofizicheskie metody pri poiskakh i razvedke zolotorudnykh mestorozhdeniy [Geophysical methods in searching and prospecting the golden ore deposits]. *Poiski mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh geofizicheskimi metodami: sbornik nauchnykh trudov* [Search for mineral deposits by the geophysical methods: Collection of the Scientifics Proc.]. Moscow, Nauka Publ., 1979, pp. 108–119.
  13. Erofeev L.Y., Orekhov A.N. Fizicheskie svoystva porod i orudene-nie zoloto-kvarts-sulfidnykh mestorozhdeniy [Physical properties of the rocks and mineralization of the gold-quartz-sulfide deposits]. *Zoloto Sibiri i Dalnego Vostoka: Trudy III Vserossiyskogo Simpoziuma* [Gold of the Siberia and far East: Proc. III Russian Symp. with Int. Part.]. Ulan-Ude, 2004, pp. 71–74.
  14. Kiselev M.I. Ratsionalny kompleks geofizicheskikh metodov pri poiskakh i razvedke zolotorudnykh mestorozhdeniy [Rational complex of the geophysical methods in searching and prospecting golden ore deposits]. *Exploration and protection of natural resources*, 1973, no. 8, pp. 31–36.
  15. Altshuller M.I. Fiziko-radiogeokhimicheskaya zonalnost rudnykh poley zoloto-kvartsevykh mestorozhdeniy [Physical and radiochemical zoning of the ore fields of the gold-quartz deposits]. *Metody razvedochnoy geofiziki: sbornik nauchnykh trudov* [The Method of the exploration geophysics: Collection of the Scientifics Proc.]. Leningrad, NPO «Rudgeophysica» Publ., 1982, pp. 13–23.
  16. Feldman A.A. Primenenie gammaspetsmetrii pri poiskakh zolotorudnykh mestorozhdeniy blizpoverkhnostnogo tipa [Gamma spectrometry application for searching near surface golden ore deposits]. *Exploration and protection of natural resources*, 1975, no. 10, pp. 59–60.
  17. Orekhov A.N., Nomokonova G.G. Priroda anomaly fizicheskikh poley Verkhne-Enashiminskogo rudnogo rayona [The origin of anomalies of physical fields in Verkhne-Enashiminsky ore region]. *Geofizicheskie issledovaniya v Sredney Sibiri: sbornik nauchnykh trudov* [Geophysical exploration in the Central Siberia: Collection of the Scientifics Proc.]. Krasnoyarsk, KNIIGGiMS Publ., 1997, pp. 202–206.
  18. Alekseeva A.K., Sholpo L.S. Petromagnitnaya tipizatsiya porod chernoslantsevykh zolotonosnykh tolshch [Petromagnetic typing of black shale rock of the gold-bearing stratums]. *Physics of the Earth*, 1995, no. 2, pp. 84–90.
  19. Alekseeva A.K., Kremenetsky A.A. Priroda petrofizicheskikh neodnorodnostey v razrezakh zolotorudnykh chernoslantsevykh tolshch [The origin of petrophysical heterogeneities in cuts of the gold-bearing stratums]. *Geofizicheskie issledovaniya na tverdye poleznye iskopaemye: tezisyy dokladov mezhdunarodnoy geofizicheskoy konferentsii* [Geophysical exploration for solid mineral resources: Abstr. of the Intl. Geophysical Conf.]. Saint-Petersburg, Welcome Publ., 2006, pp. 212–213.
  20. Erofeev L.Ya., Nomokonova G.G., Orekhov A.N. Petrofizicheskie uslovia lokalizatsii mestorozhdeniy zolota v uglerodistykh porodakh [Petrophysical conditions of golden ore deposits localization in carbonaceous rocks]. *Geofizicheskie metody pri razvedke nedr i ekologicheskikh issledovaniyakh: materialy Vserossiyskoy nauchotekhnicheskoy konferentsii* [Geophysical methods for exploring mineral resources and environmental studies: Proc. All Russian scient. and techn. conf.]. Tomsk, TPU Publ., 2003, pp. 207–212.
  21. Gusev A.I. Geologo-geneticheskaya model Sinukhinskogo zolotomedno-skarnovogo mestorozhdeniya [Geological-genetic model of Sinyuhinskoe golden-copper-skarn deposit]. *Poiski i razvedka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh: Materialy nauchoy konferentsii* [Prospecting and Exploration of the Mineral Deposits: Proc. Scient. Conf.]. Tomsk, TPU Publ., 2000, pp. 104–108.
  22. Prikhodko A.Yu. Uslovia formirovaniya zolotorudnykh mestorozhdeniy po geofizicheskim dannym [Conditions for golden ore deposits formation by geophysical data]. *Geofizicheskie issledovaniya na tverdye poleznye iskopaemye: tezisyy dokladov mezhdunarodnoy geofizicheskoy konferentsii* [Geophysical exploration for solid mineral resources: Abstr. of the Intl. Geophysical Conf.]. Saint-Petersburg, Welcome Publ., 2006, pp. 284–285.
  23. Novikov I.P. Kharakteristika Baleyevskogo rudnogo polyasa s geofizicheskoy tochki zreniya [Bailey ore field characteristic via geophysical perspective]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute*, 1970, vol. 18, pp. 50–57.