

УДК 550.812:553.074:553.411

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ЗОЛОТОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЮЖНОЕ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

Мансуров Ринат Халитович,  
rinman81@bk.ru

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов,  
Россия, 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, 129, к. 1.

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью выявления новых золоторудных месторождений в пределах Енисейского кряжа с целью восполнения минерально-сырьевой базы коренного золота России.

**Цель работы:** изучение особенностей геологического строения и золотоносных минерализованных зон рудопоявления Южное с целью прогнозирования промышленных золоторудных тел, обоснование дальнейших геологоразведочных работ на объекте исследований.

**Методы исследования.** Поисковые работы осуществлялись по экспрессной методике поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах с применением комплекса литохимического по вторичным ореолам рассеяния, шлихового, точечного и бороздового опробования, выполнялись химико-спектральный на золото, ICP-MS, пробирно-атомно-абсорбционный, рентгено-фазовый анализы, проводились изотопно-геохимические исследования.

**Результаты исследований.** Комплексирование методов поисков позволило выявить рудоконтролирующую зону складчато-разрывных деформаций и локализовать в ее пределах рудопоявление Южное, которое расположено в юго-восточной части Средне-Ишимбинской перспективной площади в зоне динамического влияния системы Ишимбинского глубинного разлома. В пределах рудопоявления выявлены золотоносные минерализованные зоны, представляющие собой серию крупнообъемных зон-залей штокверкоподобного строения субсогласного залегания с низкими средними содержаниями золота. В пределах наиболее мощной и протяженной минерализованной зоны Центральной прогнозируется выявление промышленных золоторудных тел, рекомендуется продолжение геологоразведочных работ на объекте. Проведено сопоставление рудопоявления с объектами-аналогами, установлен ряд общих критериев и признаков исследуемого объекта с крупнообъемными золото-сульфидными месторождениями Енисейского кряжа – Олимпиадинским, Ведугинским и др., а также с месторождениями «карлинского» типа.

**Выводы.** Впервые в регионе выявлены золотоносные минерализованные зоны в среднерифейских углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложениях свит аладынской и карточки. Установлены перспективы золотоносности восточного склона Енисейского кряжа.

### Ключевые слова:

Восточный склон Енисейского кряжа, рудопоявление Южное, свиты аладынская и карточки, золотоносные минерализованные зоны.

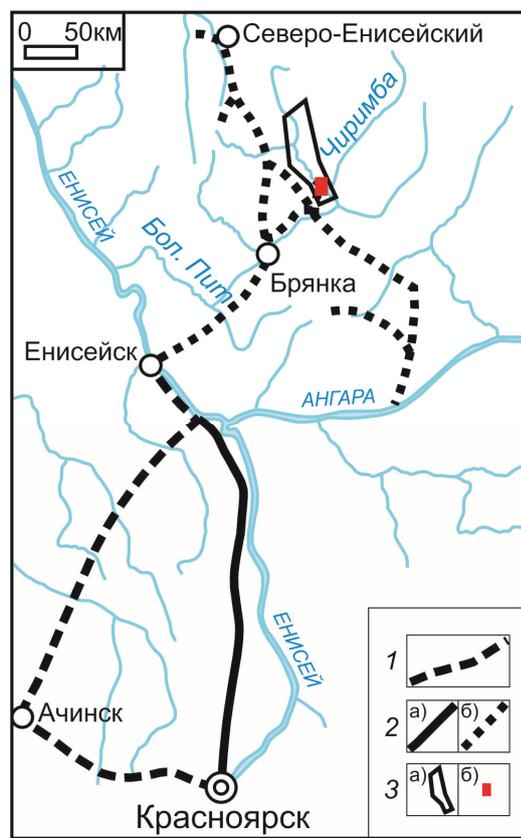
### Постановка задачи

Широко известно, что подавляющее большинство золоторудных месторождений на Енисейском кряже локализуется в достаточно узком литолого-стратиграфическом интервале, представленном углеродистыми карбонатно-терригенными ранне-среднерифейскими отложениями сухопитской серии: кординской ( $R_1kd$ ), горбилокской ( $R_2gb$ ), удерейской ( $R_2ud$ ), частично погорюйской ( $R_2pg$ ) свитами, а также раннепротерозойскими кристаллосланцами пенченгинской свиты ( $PR_1pn$ ) [1]. Выделяются два главных геолого-промышленных типа: золото-сульфидно-кварцевый (минерализованные зоны с жильно-прожилковыми и прожилково-вкрапленными залежами – Олимпиадинское, Ведугинское, Благодатное и др.) и золото-(малосульфидно)-кварцевый (жилы и системы жил – месторождения Советское, Эльдорадо, Аяхтинское, Васильевское и др.) [2, 3]. В структурном плане практически все золоторудные месторождения Енисейского кряжа приурочены к полосе север-северо-западного (ССЗ) простираения шириной около 40 км между Татарским (с запада) и Ишимбинским (с востока) глубинными долгоживущими рудоконтролирующими разломами [4]. Причем месторождения

золото-(малосульфидно)-кварцевого типа преимущественно «тяготеют» к зоне Ишимбинского разлома, а золото-сульфидно-кварцевое – к экзоконтактам крупных гранитоидных интрузий в зоне динамического влияния Татарского разлома [2].

Недавние результаты поисковых работ ФГУП ЦНИГРИ в пределах Средне-Ишимбинской перспективной площади, расположенной на восточном склоне Енисейского кряжа, показали, что золотоносность территории не ограничивается вышеназванным литолого-стратиграфическим уровнем (рис. 1) [5, 6]. Исследования выполнялись в период с 2013 по 2015 г. в рамках госконтракта Роснедра «Поисковые работы на большеобъемное золотое оруденение, локализованное в углеродисто-терригенных комплексах в пределах Енисейской, Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций».

С целью выделения и локализации перспективных площадей в ранге рудных узлов и рудных полей под постановку непосредственно поисковых работ был осуществлен сбор и анализ фондовых и опубликованных материалов по золотоносности Енисейской золоторудной провинции. В результате в качестве одного из наиболее перспективных



**Рис. 1.** Географо-административная карта района работ: 1 – железнодорожные линии; 2 – автодороги: а) I класса, б) грунтовые; 3 – контуры: а) Средне-Ишимбинской перспективной площади, б) рудопоявления Южное

**Fig. 1.** Geographic-administrative map of the survey area. 1 are the railway lines; 2 are the motorways: a) I class, b) ground; 3 are the contours of the: a) Sredne-Ishimbinskaya perspective area, b) gold ore occurrence Yuzhnoe

объектов был выбран Нижне-Чиримбинский потенциально золоторудный узел, расположенный в центральной части Средне-Ишимбинской площа-

ди (рис. 2). В его пределах предшествующими работами было локализовано Марокское рудопоявление золото-малосульфидно-кварцевого типа [5, 7]. Последнее выбрано нами в качестве объекта-эталона. Кроме того, рудный узел обладает большим количеством пунктов коренной золотой минерализации, а также продуктивными россыпями руч. Мароко, Яхота, Находный и р. Чиримба. Помимо Нижне-Чиримбинского рудного узла был выделен ряд потенциально перспективных площадей, привлекающих внимание наличием коренных рудопоявлений золота, богатых россыпей, а также аномальных концентраций металла в потоках рассеяния. Среди них выделяются площади в ранге рудных узлов с апробированными (ФГУП ЦНИГРИ) и авторскими прогнозными ресурсами золота категории  $R_3$ . Однако подавляющее большинство из этих площадей залицензировано.

Основной задачей исследований являлась локализация и оценка прогнозных ресурсов рудного золота категории  $R_2$ , а также разработка технологии прогноза, поисков и оценки большеобъемных золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах и представление рекомендаций по направлению дальнейших геолого-разведочных работ. Автор статьи являлся начальником полевой партии и ответственным исполнителем работ, осуществлявшихся в пределах Енисейской провинции. Под его руководством выполнялся весь комплекс поисковых исследований и последующая камеральная обработка полученных данных. В работе принимали участие сотрудники ФГУП ЦНИГРИ: С.Г. Кряжев (зав. отделом минералогии и изотопной геохимии), Б.С. Зеликсон (научный сотрудник), А.В. Курмаев (инженер 2-й категории), С.С. Двуреченская (старший научный сотрудник) и др.

#### Методика исследований

Проведение поисков на рудное золото в исследуемом регионе затруднено значительной закрытостью склонов и водоразделов, развитием многолетнемерзлых моховых и гумусово-торфяных сло-

**Fig. 2.** Overview scheme of central and eastern parts of the Yenisei ridge (compiled using the data of «Krasnoyarskgeolsemka»). 1–7 are the stratified formations: 1 are the quaternary sediments; 2 is the carbonate-terrigenous calcareous-dolomitic-siltstone-sandstone variegated complex (nemchanskaya (Vnm), podemskaya (Vpd), suvorovskaya (Vsv), moshakovskaya (Vms), chistyakovskaya (Vcv), aleshinskaya (Val) series); 3 is the carbonate-terrigenous calcareous-sandstone-siltstone-schist complex (chividinskaya ( $R_3cv$ ), karyernaya ( $R_3krr$ ), lopatinskaya ( $R_3lp$ ) series); 4 is the flyshoid carbonate-terrigenous carbonaceous calcareous-sandstone-schist complex (sukhokhrebinskaya ( $R_3sh$ ), gorevskaya ( $R_3grv$ ), moryanikhinskaya ( $R_3mr$ ), dashkinskaya ( $R_3ds$ ), nizhneangarskaya ( $R_3na$ ), mokrinskaya ( $R_3mk$ ), rybinskaya ( $R_3rb$ ), boreminskaya ( $R_3br$ ), udorskaya ( $R_3ud$ ) series); 5 is the carbonaceous carbonate-terrigenous dolomitic-calcareous-phyllite-sandstone-schist complex (shuntarskaya ( $R_3sn$ ), potoskuyskaya ( $R_3pt$ ), alad'inskaya ( $R_3al$ ), kartochki ( $R_3kr$ ) series); 6 is the carbonaceous volcanogenic-carbonate-terrigenous tuffaceous-calcareous-phyllite-sandstone-schist complex (udereyskaya ( $R_2ud$ ), gorbilokskaya ( $R_2gr$ ), kordinskaya ( $R_2kd$ ) series); 7 is the carbonate-terrigenous crystalline-schist complex (penchenginskaya series (PR,pn)); 8 are the intrusive formations: plagiogranodiorite complex (tatarsko-ayakhtinskiy granodiorite-plagiogranite ( $R_3ta$ ), teyskiy gneiss-granite ( $R_2te$ )); 9 are the faults: a) «long-lived» zones of faults, b) co-directional fault; 10 are the gold ore deposits and ore occurrences: a) very large, b) large, c) average, d) ore occurrence; 11 are the line-formed gold placers (in exploration, in exploit, wasted); 12 are the contours of gold ore and placer ore units; 13 is the contour of the Sredne-Ishimbinskaya perspective area; 14 is the contour of the gold ore occurrence Marokskoe; 15 is the contour of the gold ore occurrence Yuzhnoe



ев значительной мощности. В таких условиях традиционные методы поисков оказываются недостаточно эффективными, поскольку информативный для оценки золотоносности надкоренной элювиально-делювиальный слой перекрыт дальнепринесенными отложениями. Стандартное литохимическое опробование по вторичным ореолам рассеяния (ВОР) подпочвенного горизонта зачастую не позволяет выявлять аномалии золота и сопутствующих элементов. В связи с отмеченным фактом при проведении поисковых работ на Средне-Ишимбинской перспективной площади применялась «Экспрессная методика поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах», успешно апробированная ФГУП ЦНИГРИ на золоторудных объектах Байкало-Патомской и Верхояно-Колымской золоторудных провинций, Лебединского золоторудного узла (Саха-Якутия) и др. [8]. Данная методика позволяет в достаточно короткие сроки с использованием минимального объема горно-буровых работ оценить золотоносность и ресурсный потенциал поисковых участков в ранге рудных полей. Методика основана на комплексировании следующих известных методов и способов изучения делювиально-элювиальных отложений в целях поисков месторождений рудных полезных ископаемых: обломочном (оконтуривание делювиальных свалов рудных тел), копушения, минералогическом (+ минералого-геохимическом), литохимическом [9]. Поисковые работы осуществлялись в несколько последовательных этапов.

На первом этапе поисковых работ перспективная площадь была изучена серией опорных геолого-геофизических профилей с целью выявления рудоконтролирующих зон складчато-разрывных деформаций (рассланцевания). Длина профилей – до 12 км, расстояние между ними – 4–5 км. Исследования включали комплекс геологических (геолого-поисковые маршруты), геохимических (литохимическое опробование по ВОР подпочвенного горизонта на глубине 0,3–0,4 м, литохимическое по ВОР и сколковое (точечное) опробование нижнего надкоренного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений в забое шурфов глубиной 1 м, пройденных с интервалом 800 м между шурфами) и геофизических (электро-, грави-, магниторазведка) методов поисков. На этом же этапе осуществлялись геохимические поиски по потокам рассеяния (ПР) масштаба 1:50 000 [10].

Комплексирование методов поисков позволило уже на раннем этапе исследований определить наиболее перспективные поисковые участки для проведения дальнейших геолого-разведочных работ (ГРР) в пределах выявленных рудоконтролирующих зон рассланцевания. Перспективные участки выделялись по первичным ореолам (ПО), ВОР, наличию прожилково-вкрапленной железо-магнезиальной карбонатизации и сульфидизации, кварцевой жильно-прожилковой минерализации в элю-

виально-делювиальных отложениях. По данным ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика», в геофизических полях эти участки отвечают областям разрушения («распада») структуры магнитного поля. Данный признак, вероятно, обусловлен разрушением первичного осадочно-метаморфического пирротина в пределах магнитных маркирующих горизонтов за счет его преобразования в пирит.

На втором этапе поисковых работ в пределах перспективных поисковых участков осуществлялись площадные литохимические поиски по ВОР, проходка линий копушей глубиной 0,8–1,0 м, геолого-поисковые маршруты масштаба 1:10 000. Литохимические поиски по ВОР велись по нестандартной сети – 200×20 м, глубина опробования – 0,3–0,4 м. Проходка линий копушей глубиной 0,8–1,0 м осуществлялась по нижним бортам склонов с интервалом 20–40 м между копушами с целью шлихового и литохимического по ВОР опробования нижнего надкоренного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений. Кроме того, производилось сколковое опробование гидротермально-измененных пород с кварцевой жильно-прожилковой, железо-магнезиально-карбонатной и сульфидной вкрапленной минерализацией. Геолого-поисковые маршруты проводились с целью изучения гидротермально-метасоматических процессов, выяснения природы потенциально рудоконтролирующих и рудокаллизующих элементов космодешифрирования, выявления и прослеживания потенциально золотоносных минерализованных зон. Следует отметить, что элювиально-делювиальные отложения практически повсеместно перекрыты почвенно-растительным слоем. Редко отмечаются малосмещенные делювиальные крупнощелбино-глыбовые развалы измененных пород, в связи с чем доступ к информативному слою элювиально-делювиальных отложений возможен лишь с помощью проходки копушей глубиной не менее 0,6 м. Поиски второго этапа позволили выявить потенциально золотоносные минерализованные зоны в пределах нескольких поисковых участков [10].

На третьем этапе поисков с целью локализации золотоносных минерализованных зон выполнялась проходка линий шурфов до коренных пород с интервалом 10–20 м между шурфами и бульдозерных расчисток глубиной 1 м. Осуществлялось шлиховое и литохимическое по ВОР опробование нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений в забое шурфов на глубине 1,0–1,4 м, а также бороздовое опробование коренных пород в полотне шурфов. По результатам опробования были выделены наиболее минерализованные участки с содержанием золота более 0,1 г/т в ПО и ВОР для вскрытия бульдозерными расчистками. Поиски этого этапа позволили локализовать серию золотоносных минерализованных зон в юго-восточной части перспективной площади – рудопоявление Южное.

Важным представляется тот факт, что результаты литохимического по ВОР опробования нижнего надкоренного информативного слоя элювиально-делювиальных отложений существенно отличаются от данных стандартного опробования на глубине 0,3–0,4 м, выявляя наиболее высокие аномальные концентрации золота в ВОР. Последние установлены именно по результатам литохимического опробования по ВОР на контакте с коренными породами по горным выработкам. Аномалии золота в ВОР практически совпадают с повышенными содержаниями металла в ПО. Полученные данные показали, что методика литохимического опробования по ВОР нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений позволяет с высокой степенью точности определить положение золотоносных минерализованных зон и потенциально рудных зон в их пределах.

Четвертый завершающий этап поисков – комплекс горно-буровых работ. Наиболее перспективные минерализованные участки в пределах золотоносных зон были вскрыты траншеями до коренных пород. По результатам бороздового опробования полотна траншей выявлены эпицентры повышенных содержаний золота (более 0,3 г/т в ПО). Последние были «подсечены» несколькими буровыми скважинами. В результате выявлена серия потенциально рудных зон. Исследования предусматривали весьма незначительный объем бурения, в этой связи требуется постановка дополнительных поисковых работ с целью локализации промышленных золоторудных зон в пределах рудопоявления Южное.

В заключение к методической части исследований следует отметить, что новыми и наиболее эффективными направлениями использованной методики являются: 1) применение комплекса геологических, геофизических и геохимических методов по опорным профилям, позволяющего уже на ранней стадии изучения определить наиболее перспективные потенциально рудоконтролирующие зоны расланцевания и поисковые участки в пределах исследуемых площадей; 2) литохимическое по ВОР опробование нижнего информативного слоя элювиально-делювиальных отложений, которое дает возможность максимально точно локализовать золотоносные минерализованные зоны, непосредственно определить участки для последующих горно-буровых работ и, соответственно, минимизировать затраты на проведение геолого-разведочных работ.

### Результаты исследований

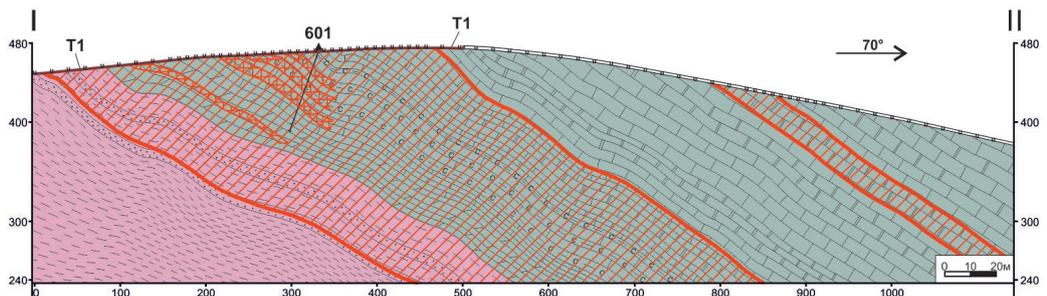
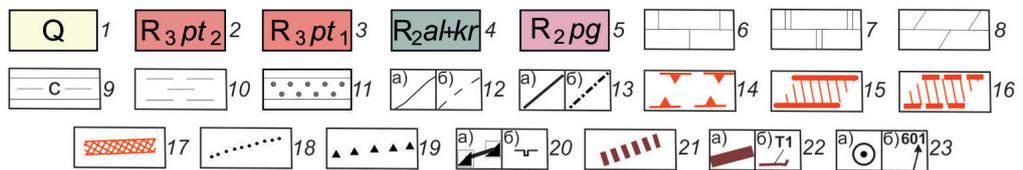
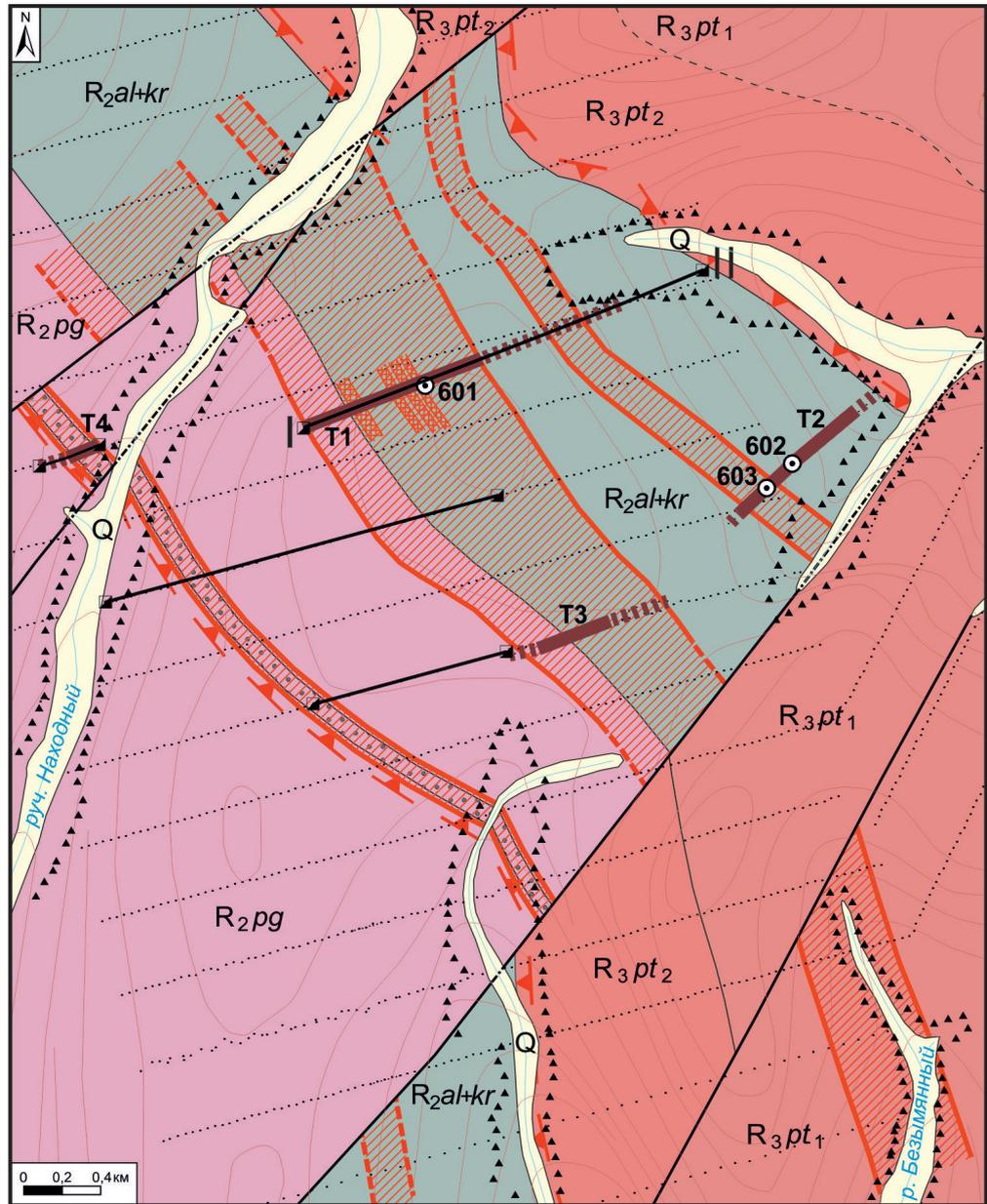
Особенности геологического строения

Восточный склон Енисейского кряжа представляет собой вытянутый на 700 км покровно-складчатый пояс ССЗ простирающийся в юго-западном обрамлении Сибирской платформы [7]. Особенностью этой части Енисейского кряжа является широкое развитие средне-верхнерифейских углеродсодер-

жащих терригенно-карбонатных отложений. Средне-Ишимбинская перспективная площадь, расположенная в 120 км к юго-востоку от пгт. Северо-Енисейский (рис. 1), охватывает Нижне-Чиримбинский узел, а также ряд россыпных проявлений золота. Рассматриваемая площадь приурочена к восточному крылу Певунской горст-антиклинали первого порядка в зоне динамического влияния Ишимбинской системы глубинных рудоконтролирующих разломов ССЗ простирающихся. В западной части площади в приядерной части горст-антиклинали получили развитие выходы кристаллического фундамента пенченгинской свиты в экзоконтактовой части с крупным гранитоидным массивом татарско-аяхтинского интрузивного комплекса (рис. 2). В восточном направлении происходит наращивание разреза, здесь распространены отложения свит аладьинской и карточки объединенных ( $R_{al+kr}$ ), потоскуйской свиты ( $R_{pt}$ ).

Зона расланцевания рудопоявления Южное локализована в узле пересечения разрывных нарушений ССЗ направления, сонаправленного Ишимбинской системе разломов, секущими пострудными разрывами субширотной ВСВ ориентировки. Зона расланцевания осложнена мелкой складчатостью высоких порядков, флексурными перегибами. В пределах рудопоявления Певунская горст-антиклиналь представляет собой моноклинал ВСВ падения (рис. 3). Падение вмещающих пород в среднем составляет  $35^{\circ}$ – $40^{\circ}$ . В некоторых участках падение варьирует от  $20^{\circ}$  до  $60^{\circ}$ , что обусловлено мелкой осложняющей складчатостью. Вмещающие породы представлены (от древних к молодым): алевроито-глинистыми сланцами с прослоями кварцитовидных песчаников и кварцитов погорюйской свиты, известняками, мраморизованными известняками с прослоями углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев свит аладьинской и карточки объединенных сухопитской серии, и глинистыми сланцами потоскуйской свиты тунгусикской серии. Присутствие углеродистого вещества (УВ) установлено по данным микроскопических исследований в отложениях основной рудовмещающей толщи – терригенно-карбонатных отложениях нижней пачки свит карточки и аладьинской объединенных, а точнее в прослоях известковисто-глинистых сланцев кварц-кальцит-серицитового состава. Содержание УВ в породе незначительно и составляет не более 0,5 %.

Площадь рудопоявления является амагматичной. Однако ее расположение в 15 км восточнее зоны выходов на дневную поверхность гранитоидов татарско-аяхтинского интрузивного комплекса предполагает, в той или иной степени, «влияние» и пространственную связь гранитоидов с формированием золоторудной минерализации рудопоявления. По данным геофизических исследований, выполненных ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика», отрицательная гравиметрическая аномалия, устано-



вленная на площади рудопоявления, может интерпретироваться как скрытый на глубине до 2 км интрузивный массив. То есть, несмотря на амагматичность территории и удаленность от выходов на дневную поверхность интрузивных образований, нельзя исключать связь последних с золоторудной минерализацией объекта исследований.

Рудопоявление Южное расположено в зоне развития низкотемпературных метаморфических образований – серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Это может являться косвенным благоприятным фактором, свидетельствующим о проявлении регрессивной стадии метаморфизма – диафтореза хлорит-серицитового уровня. По данным ряда авторов, в процессе регрессивного диафтореза в пределах ранее образованных золотоносных зон происходит их обогащение [11, 12].

Гидротермально-метасоматические преобразования широко проявлены в пределах всей рудоконтролирующей зоны рассланцевания рудопоявления Южное. Они представлены, главным образом, площадной (прожилково)-вкрапленной сульфидизацией (преимущественно пиритизацией) и железо-магнезиальной карбонатизацией (буропатизацией). Буропатизации подвержены все стратифицированные образования в пределах зоны рассланцевания, в особенности рудовмещающая терригенно-карбонатная толща свит аладинской и карточки. Кроме того, интенсивно проявлена мусковитизация (серицитизация), а также неравномерное окварцевание.

Буропатизация является многостадийным процессом. Наиболее ранняя буропатизация проявлена площадными изменениями в виде тонкой неравномерной вкрапленности, а также тонких секущих и согласных прожилков. В пределах золотоносных минерализованных зон, как правило, отмечается увеличение содержания вкрапленности бурого шпата, прежде всего анкерита, во вмещающих породах, достигающей 50 об. %. Причем присутствует как вкрапленность тонкого бурого шпата (до 0,5 мм) (до 40–45 об. %), так и крупные оолитоподобные выделения размером более 1–2 мм (до 10–15 об. %), возможно, метаморфогенной природы. В зонах развития кварцевой жильно-прожилковой минерализации буропатизация также проявлена достаточно интенсивно, как в виде самостоятельных тонких ( $\leq 0,5$  мм) секущих и маломощных ( $\leq 1$  мм) послойных прожилков, будинок (линз), а также вкрапленности во вмещающих породах, так и совместно с кварцевыми жильно-прожилковыми образованиями, в основном слагая их зальбандовые части. В массе кварцевых жил часто отмечаются реликты кристаллов крупнокристаллического бурого шпата – сидерита.

Околорудные окварцевание и кварцево-жильно-прожилковые образования проявлены весьма неравномерно. Окварцевание с разной степенью интенсивности развито преимущественно вдоль кварцевых жил и прожилков на расстояние до первых метров, реже до первых десятков метров. Установлены четыре основные генерации кварцевой жильно-прожилковой минерализации: 1) преимущественно

**Рис. 3.** Геологическая схема рудопоявления Южное и геологический разрез по линии I–II. 1 – четвертичные рыхлые отложения; 2–5 – углеродистые карбонатно-терригенные отложения рифея: 2–3 – тунгусикская серия, потоскуйская свита: 2 – верхняя подсвита: глинистые сланцы с прослоями известняков, 3 – нижняя подсвита: алеврито-глинистые сланцы с прослоями известняков и доломитов; 4–5 – сухопитская серия: 4 – свиты аладинская и карточка объединенные: известняки участками мраморизованные, известковистые доломиты с прослоями углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев, 5 – погорюйская свита: алеврито-глинистые сланцы; 6–11 – литологические обозначения (на разрезе): 6 – известняки, 7 – мраморизованные известняки, 8 – известковистые доломиты, 9 – углеродсодержащие известковисто-глинистые сланцы, 10 – алеврито-глинистые сланцы, 11 – кварцитовидные песчаники с прослоями кварцитов; 12 – геологические границы: а) установленные, б) предполагаемые; 13 – разломы: а) установленные, б) предполагаемые; 14 – рудоконтролирующая зона рассланцевания (на плане); 15–16 – золотоносные минерализованные зоны: 15 – установленные, 16 – предполагаемые; 17 – потенциально рудные зоны; 18 – точки литохимического опробования по ВОР; 19–23 – горные выработки: 19 – копуши глубиной 0,8–1,0 м, 20 – шурфы: а) на плане, б) на разрезе, 21 – бульдозерные расчистки глубиной 1 м, 22 – бульдозерные траншеи, пройденные до коренных пород: а) на плане, б) на разрезе, 23 – скважины: а) на плане, б) на разрезе

**Рис. 3.** Geological scheme of the ore occurrence Yuzhnoe and geological section by the profile I–II. 1 are the quaternary sediments; 2–5 are the carbonaceous carbonate-terrigenous sediments of the Riphean: 2–3 is the tungusikskaya formation, potoskuyskaya series: 2 is the upper subseries: shales with interlayers of limestones, 3 is the lower subseries: siltstone shales with interlayers of limestones and dolomites; 4–5 is the sukhopitskaya formation: 4 are the aladinskaya and kartochki series combined: limestones partially marbled, calcareous dolomites with interlayers of carbonaceous calcareous shales, 5 is the pogoryuyskaya series: siltstone shales; 6–11 are the lithological designation (in the geological section): 6 are the limestones, 7 are the limestones partially marbled, 8 are the calcareous dolomites, 9 are the carbonaceous calcareous shales, 10 are the siltstone shales, 11 are the quartzitic sandstones with interlayers of quartzites; 12 are the geological boundaries: a) determined, b) supposed; 13 are the faults: a) determined, b) supposed; 14 is the ore controlling zone of foliation (in the scheme); 15–16 are the gold ore mineralized zones: 15 – determined, 16 – supposed; 17 are the potential gold ore zones; 18 are the points of lithochemical sampling for secondary dispersion halos; 19–23 are the excavations: 19 are the pits with the depth of 0,8–1,0 m, 20 are the bore pits: a) in the scheme, b) in the geological section, 21 are the bulldozer trenches with the depth of 1,0 m, 22 are the bulldozer trenches excavated to bedrock: a) in the scheme, b) in the geological section, 23 are the drill-holes: a) in the scheme, b) in the geological section

щественно мощные (от 2–3 мм до 5–10 см) прожилки и жилы секущего (45°–50°) светлого, в основном молочно-белого, кварца; 2) тонкие, до нитевидных, разнонаправленные, часто взаимопересекающиеся прожилки (в основном менее 2 мм) светло-серого, серого, полупрозрачного кварца, часто с бурым шпатом, секущего как вмещающие породы, так и кварцевые жилы и прожилки первой генерации; 3) редкие прожилки хрусталевидного кварца мощностью 1–5 мм; 4) наиболее поздние прожилки кварц-кальцитового состава мощностью до 1–2 см. Жилы и прожилки первой генерации наиболее интенсивно проявлены в терригенной толще погорюйской свиты, а точнее в горизонтах кварцитовидных песчаников и кварцитов. Жильно-прожилковые образования второй, третьей и четвертой генераций распространены в основном в минерализованных зонах. Продуктивными, по-видимому, являются вторая и третья генерации.

Сульфидизация – один из наиболее интенсивно проявленных процессов в пределах зоны расщепления. Сульфидная минерализация развита в основном в виде разноразмерной вкрапленности пирита преимущественно во вмещающих породах. Выделяются две основных разновидности (стадии образования) вкрапленного пирита: 1) крупные, размером более 2–3 мм (достигают 1,5–2 см), кристаллы кубического пирита, вероятно, диагенетической природы; 2) тонкая наложенная неравномерная вкрапленность пирита размером от <0,5 мм до 1 мм как кубической, так и осложненных форм (кубиктаэдри, октаэдри, пентагондодекаэдри). Тонкая вкрапленность в основном отмечается в кварцево-жильно-прожилковом пространстве, прослеживается на расстоянии обычно до 3–5 см от жил и прожилков. По данным микроскопических исследований вкрапленность пирита содержит тонкодисперсное золото, которое обнаруживается в пирите всех кристаллических форм продуктивной наложенной стадии.

Процессы мусковитизации (серицитизации) интенсивно развиты в пределах всей зоны расщепления, в основном в ассоциации с зонами кварц-буропшатовых жильно-прожилковых образований, формируя ореолы по их периферии. Средне-крупнокристаллические образования мусковита распространены, преимущественно, в зальбандовых частях кварц-буропшатовых жил.

Характеристика золотоносных минерализованных зон

Результаты исследований позволили выявить серию золотоносных минерализованных зон рудопоявления Южное. Последние локализованы в нижней пачке свит аладынской и карточки объединенных, представленной известняками с прослоями мраморизованных известняков, известковистых доломитов и углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев. Минерализованные зоны сложены в разной степени окварцованными, интенсивно буропшатируемыми, сульфидизи-

рованными, серицитизированными породами. В пределах золотоносных зон отмечается увеличение концентрации тонкой пиритовой вкрапленности до 5–7 об. %. Причем вкрапленность пирита приурочена как к зонам развития кварцевых тонких прожилков, слагая их экзоконтактные части в виде ореолов, так и вне связи с ними.

Наиболее перспективной для выявления промышленного золотого оруденения является зона Центральная, вскрытая траншеей Т1 и пересеченная скважиной 601 (рис. 3). Минерализованная зона имеет субсогласную слоистости ориентировку. Ее мощность составляет около 280 м в центральной части рудопоявления, прослеженная протяженность превышает 800 м. Протяженность по падению составляет более 150 м. Морфологически зона представляет собой линейно-изометричную штокверкоподобную залежь. Зона не имеет четких границ и выделена по данным бороздого опробования (пробирно-атомно-абсорбционный анализ).

В ПО и ВОР зона Центральная отвечает ореолу золота с содержаниями более 0,1 г/т (рис. 4). По периферии ореола золота устанавливаются аномальные концентрации цинка (более 0,007 %). Аномалия золота пространственно сопряжена с аномальным полем марганца (более 0,2 %), связанного с широким распространением марганецсодержащей буропшатизации. По результатам ICP-MS установлено, что минерализованным зонам соответствуют высокие значения W, As, Cu, Co в ВОР. Примечательно, что спектральный анализ, выполнявшийся первоначально, не выявил повышенных концентраций этих элементов.

В пределах зоны Центральной установлены эпицентры с содержаниями золота более 0,3 г/т, выявляемые по данным бороздого опробования, – потенциально рудные зоны, отвечающие участкам увеличения концентрации кварц-буропшатовых прожилков и сульфидной вкрапленности. Содержания золота в отдельных пробах достигают 6,5 г/т. Мощность потенциально рудных зон – 30 м, протяженность более 300 м.

В шлиховых ореолах рудопоявление фиксируется достаточно четко и образует широкий (более 1 км) ореол со средними содержаниями около 8–10 знаков золота на шлиховую пробу. В пределах этого ореола выделяется несколько ореолов наиболее высоких концентраций золота, пространственно отвечающих положению золотоносных минерализованных – от 10 до 19 знаков золота на шлиховую пробу. Достаточно низкие концентрации золота объясняются тонкодисперсной, до пылевидной, размерностью золотин, которые, по всей вероятности, в основной массе «уходят» при промывке шлиховых проб. Отмечено, что шлиховое золото появляется в шлиховых пробах, обогащенных окисленным пиритом. Причем кристаллические формы пирита разнообразны: пентагондодекаэдри, кубиктаэдри, а также кристаллы кубической формы.

Основная часть самородного золота, встреченного в шлиховых пробах, не превышает 0,15 мм, соответствует мелкому и среднему классам. На крупное (более 0,5 мм) приходится не более 10 % всего выявленного самородного золота. Отмечается неокатанный и малоокатанный вид знаков золота. Кристаллы и сростки достаточно хорошо сохраняют грани, интерстициальные и цементационные формы сохраняют угловатость выделений. Самородное золото представлено несколькими морфологическими формами: 1) цементационное золото – наиболее распространенная форма, встречается в сростках с хрусталевидным кварцем, железомagneзиальным карбонатом; 2) интерстициальное

золото – редко встречающаяся форма; 3) трещинное золото – распространенная форма, встречающаяся в зонах окварцевания с большим количеством прожилков молочно-белого кварца. Встречаются монокристаллы золота, а также сростки кристаллов или цепочечные формы.

Специализированное шлихогеохимическое изучение шлиховых проб, в частности электромагнитной и тяжелой немагнитной фракций, показало, что средние содержания золота в них практически не отличаются, в то время как концентрации As, Sb, Bi, W, Cu, Ni, Co, Pb, Zn, Mo в электромагнитной фракции, по данным ICP-MS, в 1,6–2,7 раза выше. Корреляционным анализом в обеих фрак-

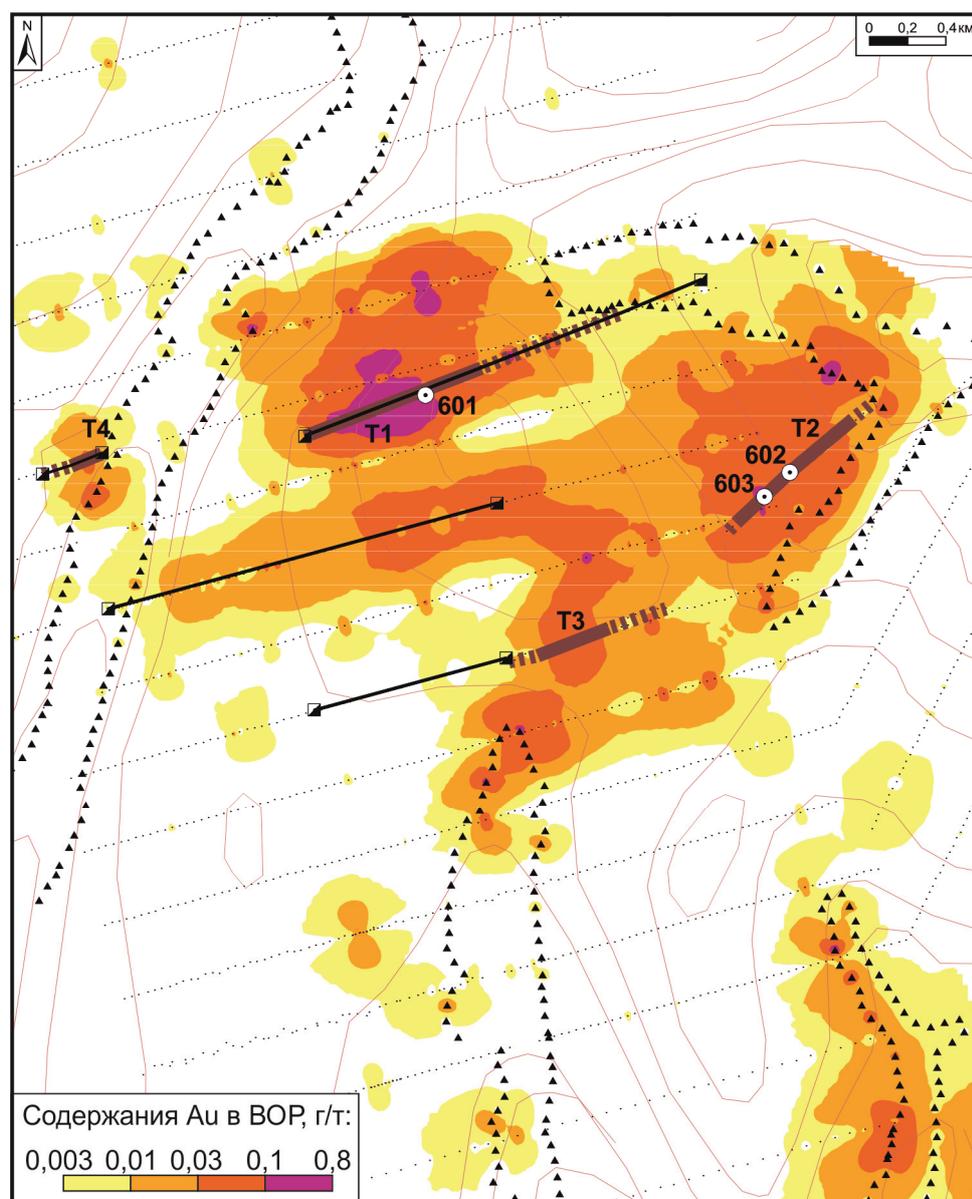


Рис. 4. Карта распределения содержаний золота во вторичных ореолах рассеяния на рудопоявлении Южное. Условные обозначения см. на рис. 3

Fig. 4. Map of gold grades allocation in the secondary dispersion halos at the ore occurrence Yuzhnoe. The legend is in the fig. 3

циях установлена практически идентичная структура корреляционных связей с золотоносной Au–As–Bi и сопутствующей ей Cu–Ni–Co–Mn ассоциациями. Также установлены значимые положительные корреляционные связи в рядах Na–K, Ca–Mn–Sr [13].

По результатам изотопно-геохимических исследований золотоносных образований рудопоявления, выполненных С.Г. Кряжевым (отдел минералогии и изотопной геохимии ФГУП ЦНИГРИ), установлено, что сера, входящая в состав пирита, аномально обогащена тяжелым изотопом ( $\delta^{34}\text{S} = +16...+19 \text{‰}$ ). По этому признаку рудная минерализация отличается от известных золоторудных объектов Енисейского кряжа [14–17]. Обогащение серы сульфидов тяжелым изотопом находит связь исследуемого объекта с золотоносными зонами послонной сульфидной вкрапленности в терригенно-карбонатных толщах крупнообъемного золото-сульфидного Ведугинского месторождения ( $\delta^{34}\text{S} = +12...+14 \text{‰}$ ), а также объектами «карлинского» типа ( $\delta^{34}\text{S} = \text{до } +18 \text{‰}$ ) [18–20].

Таким образом, в результате выполненных исследований выявлено рудопоявление Южное, в пределах которого установлены и локализованы золотоносные минерализованные зоны. Последние отнесены нами к золото-(мало) сульфидному (прожилково)-вкрапленному типу штокверкоподобных минерализованных зон.

#### Обсуждение результатов и выводы

В ходе выполнения исследований автором были проанализированы многочисленные опубликованные и фондовые материалы по золоторудным месторождениям и проявлениям Енисейского кряжа с целью определения благоприятных для рудообразования структурно-вещественных комплексов и обстановок формирования золоторудных месторождений. В результате были составлены прогнозно-поисковые (геолого-поисковые) модели ряда объектов золото-кварцевого (Аяхтинское, Васильевское, Эльдорадо), золото-сурьмяно-кварцевого (Удереysкое, Раздолинское), золото-(мало) сульфидно-кварцевого (Титимухта, Герфедское, Советское) и золото-сульфидного (Олимпиадинское, Ведугинское, Благодатное, Боголюбское, Тырадинское) геолого-промышленных типов. Среди перечисленных типов золоторудных объектов наибольший интерес, с точки зрения перспектив увеличения минерально-сырьевой базы коренного золота в исследуемом регионе, представляют месторождения и проявления золото-(мало) сульфидно-кварцевого и золото-сульфидного типов, которые, вероятно, следует рассматривать в общей группе объектов с существенно сульфидным рассеянным вкрапленным характером руд с низкими (первые г/т) средними содержаниями золота и крупными объемами [1, 2, 4, 21]. К последним, на данной стадии изучения, предвременно можно отнести золотоносные минерализованные зоны рудопоявления Южное.

При рассмотрении группы месторождений золото-сульфидного и золото-(мало)-сульфидно-кварцевого типов можно выделить ряд некоторых общих и объединяющих их прогнозно-поисковых признаков:

#### 1. Литолого-стратиграфические

Для золото-сульфидного оруденения наиболее благоприятными являются мощные стратифицируемые горизонты и пачки. Следует отметить, что в породах с повышенной углеродистостью (>4–6 %) как сульфиды, так и золото, как правило, отсутствуют [22]. В то же время полное отсутствие углеродистого вещества явно неблагоприятно для образования сульфидной и золотой минерализации. По данным В.М. Яновского, содержания  $C_{\text{орг}}$  варьируют на рудном поле в пределах 0,05–0,25 % [23]. Содержание  $C_{\text{орг}}$  0,03–0,075 % отмечается в зоне рассредоточенной минерализации в ореоле гидротермально-измененных пород. Интервалу промышленной минерализации свойственны содержания  $C_{\text{орг}}$  0,1–0,15 %. В рудной зоне содержания  $C_{\text{орг}}$  повышается до 0,25 %; одновременно повышается изменчивость содержания  $C_{\text{орг}}$  в сечении жильно-прожилковых руд. В тектонитах, в экзоконтактах кварцевых тел и включениях филлитов в метасоматическом кварце концентрация  $C_{\text{орг}}$  достигает 1,5 %.

Золотое оруденение Енисейской золоторудной провинции приурочено к сравнительно узкому стратиграфическому интервалу, охватывая сланцево-гнейсовые комплексы верхов кординской, частично горбилоской и алевролито-сланцевые филлитовые образования удереysкой свиты сухопитской серии. В целом это углеродистые терригенные образования с концентрациями  $C_{\text{орг}}$  до 0,2–0,42 %, содержащие как рассеянное органическое вещество, так и графитизированные его разновидности. Кроме того, отмечается повышенная золотоносность этих образований – до 0,2–0,6 г/т [24]. По данным А.М. Сазонова и др., часть золотоносных очагов располагается в полях развития нижней части сухопитской серии, где по объему запасов и ресурсов металла ведущее место в золотоносности осадочного разреза принадлежит кординской свите – 73,4 % запасов металла, приведенных к категории  $C_1$ ; горбилоская и удереysкая свиты – 6,9 % и 19,5 % соответственно [1].

#### 2. Магматические

Практически все рассматриваемые объекты Енисейской золоторудной провинции локализованы в областях распространения интрузивных массивов гранитоидного состава, как вскрытых процессами эрозии, так и «слепых» (фиксируемых на глубине гравиметрией). Большинство исследователей придерживается той точки зрения, что с около- и надинтрузивными ореолами гранитоидных массивов связаны все золоторудные месторождения территории [25]. Однако часто такая позиция

основывается лишь на пространственной связи гранитоидов с золоторудными месторождениями. По данным Л.В. Ли и др., в пределах Северо-Енисейского рудного района, включающего Советский, Верхне-Енашиминский и Перевальнинский рудные узлы, количество рудных объектов уменьшается по мере удаления по латерали от гранитоидных интрузий (батолиты татарско-аяхтинского комплекса) [26]. В околоинтрузивном ореоле (0–5 км) находится 41 % месторождений и рудопоявлений (Титимухта – интрузив на глубине 0,5–1,0 км от дневной поверхности), в зоне удаления от интрузива на 5–10 км – 34 % (Эльдорадо), на расстоянии 10–15 км – 13 % (Советское). Предполагается, что большинство интрузий на глубине 3–5 км соединяются в единый батолит и практически весь рудный район расположен в надинтрузивном ореоле [27].

### 3. Структурно-тектонические

Золоторудные месторождения Енисейской золоторудной провинции приурочены к зоне, ограниченной с запада Татарской, а с востока – Ишимбинской системами глубинных разломов; в зонах этих разломов размещено более 80 % известных месторождений и проявлений Енисейского кряжа. Предполагается, что рудные объекты расположены со стороны висячего бока этих разломов и на удалении не более 10–15 км от осевых частей разрывов. Не исключается, что на глубине зоны Татарского и Ишимбинского разломов сливаются, представляя собой единую мощную долгоживущую зону проницаемости, контролирующую движение гидротермальных растворов [2]. По данным ряда исследователей, золото-сульфидное оруденение в терригенных толщах локализуется преимущественно в узлах сопряжения и пересечения зон глубинных разломов [28, 29]. Наиболее активное влияние на локализацию оруденения оказывают скрытые разломы, представленные в верхнем рудо локализирующем ярусе зонами сближенной трещиноватости и расщепления, и, особенно, узлы их пересечения. Наиболее перспективными на золотое оруденение являются узлы сочленения и пересечений субширотных зон разломов с разломами других направлений, прежде всего диагональной системы. Благоприятны для размещения месторождений фланговые части зон разломов, которые расщепляются на системы более мелких нарушений. Оруденение часто локализуется в изгибах разломов, где происходит их разветвление на системы мелких трещин [30].

Золото-сульфидное оруденение, как правило, локализуется в ядерных частях антиклиналей второго и более мелких порядков, осложняющих более крупные антиклинали. Последние осложняют синклиналичные погребения, входящие в состав синклиналичных погребений (синклинориев). Особенно благоприятны мелкие дополнительные антиклинали в местах изгибов их осей и шарниров. Эта

закономерность проявляется также в региональном плане: повышенные концентрации золота сосредоточены в пределах тех участков антиклинальных структур, где отмечается наиболее резко выраженный изгиб их осей. Наиболее благоприятны сжатые антиклинали, близкие к изоклинальным или изоклинальные, в меньшей мере – прямые, резко асимметричные, флексуобразные. При этом оруденение располагается в пологих крыльях складок и в их ядерных частях. Подвернутые, крутопадающие крылья менее благоприятны. Наиболее напряженные дислоцированные участки, при прочих равных условиях, являются самыми золотоносными [28, 29].

### 4. Метаморфические

Для прогноза и поисков золоторудных объектов в углеродисто-терригенных комплексах чрезвычайно важным аспектом является установление метаморфических критериев. В работах многих исследователей отмечено, что площади, обрамляющие высокометаморфизованные породы, следует рассматривать как первоочередные для поисков [11, 29, 31–34].

Интенсивность и характер минерализации зависят от степени регионального метаморфизма вмещающих пород. Промышленное золотое оруденение локализуется, как правило, в пределах развития низкотемпературных зон: зеленосланцевой фации – в биотит-хлоритовой (слабо золотоносные кварцевые жилы и зоны прожилково-вкрапленной пирит-пирротиновой золотой минерализации) и, преимущественно, в хлорит-серицитовой (промышленное золотое оруденение прожилково-вкрапленного типа пирит-кварцевого состава и малосульфидные золотоносные кварцевые жилы) субфациях, и частично в самых низкотемпературных частях эпидот-амфиболитовой фации [35]. Установлено, что золото-сульфидное оруденение развито в основном в нижней подзоне хлорит-серицитовой зоны и частично в биотит-хлоритовой, а золотоносные жилы – в верхней подзоне хлорит-серицитовой зоны.

Проведенный сравнительный анализ рудопоявления Южное с известными золоторудными месторождениями Енисейского кряжа обнаруживает сходные черты некоторых геологических элементов изучаемого объекта с основными поисковыми признаками группы золото-сульфидных месторождений [1–3, 36]. Такими элементами являются: а) локализация в пологих частях крыльев складок, осложненных складчатостью более высоких порядков; б) позиция в зоне поперечных разрывных нарушений, являющейся опережающей к Ишимбинскому глубинному разлому; в) пространственное удаление (>10 км) от крупных, выходящих на поверхность интрузивных гранитоидных массивов; возможно наличие скрытых на глубине интрузивов; г) приуроченность к хлоритовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма.

Вместе с этим рудопоявление Южное обладает рядом особенностей, которые не характерны для моделей рассмотренных выше золоторудных месторождений:

- 1) особенностью золоторудной минерализации рудопоявления является ее приуроченность к вышележащим, относительно углеродсодержащих отложений сухопитской серии раннего среднего рифея, терригенно-карбонатным отложениям свит аладьинской и карточки среднего рифея;
- 2) рудопоявление пространственно удалено от интрузивного массива (на расстоянии более 15 км от выхода интрузивного массива на дневную поверхность); однако интерпретация геофизических данных предполагает наличие скрытого интрузива (локальная аномалия силы тяжести);
- 3) сульфидная минерализация представлена лишь пиритом; по результатам анализа ICP-MS содержание золота в монофракциях пирита из минерализованных зон составляет 5–10 г/т; при этом пирит мышьяковистый – содержание мышьяка в монофракциях пирита из минерализованных зон достигает 2 кг/т; установлено, что сера сульфидов аномально обогащена тяжелым изотопом +16...+19 ‰, тогда как в известных золоторудных месторождениях Енисейского кряжа значения серы сульфидов +4...+8 ‰ для золото-сульфидных типов и +11...+14 ‰ – для золото-кварцевых [37].

Таким образом, среди рассмотренных выше типов месторождений Енисейской золоторудной провинции полного аналога для исследуемого объекта не выявляется.

По ряду прогнозно-поисковых признаков рудопоявление имеет сходство с «карлинским» типом. Отнесение объекта исследований к «карлинскому» типу является дискуссионным вопросом,

однако, согласно исследованиям ряда специалистов, к этому типу следует относить объекты, характеризующиеся существенно карбонатным известково-глинистым составом рудовмещающих толщ, стратифицированным характером минерализованных зон и рудных тел, прожилково-вкрапленным оруденением, сульфидным составом руд с тонкодисперсными (микронными) выделениями золота в сульфидах [38–44].

Низкие средние содержания золота в пределах золотоносных минерализованных зон рудопоявления Южное, их крупнообъемное штокверкоподобное строение указывают на сходство с мелкими золоторудными объектами со средними содержаниями золота не более 1,5–2,0 г/т с запасами до 15 т по категории С<sub>2</sub> [45, 46].

### Заключение

Наиболее важным научно-практическим результатом выполненных исследований является выявление золотой минерализации в углеродсодержащей терригенно-карбонатной толще свит аладьинской и карточки. Впервые в регионе установлена золотоносность отложений среднерифейского возраста. В этой связи очевидны перспективы золотоносности восточного склона Енисейского кряжа, в особенности в области зоны влияния Ишимбинского глубинного рудоконтролирующего разлома. Потенциально рудные зоны, выявленные в пределах минерализованной зоны Центральной, рекомендуются для дальнейшего изучения с целью выявления промышленных золоторудных тел.

В дальнейшей работе предполагается провести более детальный анализ и обобщение полученных в ходе исследований данных. Требуется составление прогнозно-поисковой модели рудопоявления, позволяющей вести поиски золоторудных объектов аналогичного типа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей / А.М. Сазонов, А.А. Ананьев, Т.В. Полева, А.Н. Хохлов, В.С. Власов, Е.А. Звягина, А.В. Федорова, П.А. Тишин, С.И. Леонтьев // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2010. – Т. 3. – № 4. – С. 371–395.
2. Модели месторождений золота Енисейской Сибири / С.С. Сердюк, Ю.Е. Коморовский, А.И. Зверев, В.К. Оябрь, В.С. Власов, В.Е. Бабушкин, В.А. Кириленко, С.А. Землянский. – Красноярск: СФУ, 2010. – 584 с.
3. Геологическое строение золоторудных месторождений и опыт геологического обслуживания сырьевой базы компании «Полус» в Красноярском крае / В.К. Совмен, Ю.М. Страгис, А.А. Плеханов, С.М. Бибики, Л.П. Кровякова, С.И. Савушкина, В.А. Лохмаков, И.Г. Звездин, В.С. Логачев. – Красноярск: Полус, 2009. – 208 с.
4. Прогнозно-поисковые модели основных формационных типов золоторудных месторождений Енисейского кряжа / А.К. Мкртычян, Е.И. Берзон, В.К. Зуев, А.А. Стороженко, Н.Ф. Васильев, М.Н. Секретарев, А.П. Липишанов, А.С. Варганов, В.А. Москалев, Н.Б. Кононенко, А.Э. Динер // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири: Материалы юбилейной научно-практ. конф. – Красноярск, 2010. – С. 46–62.
5. Фисенко В.Г., Макаров В.А. Геохимические критерии и термодинамические условия локализации золоторудной минерализации Северо-Восточного склона Енисейского кряжа // Современные проблемы науки и образования. – 2013. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/geohimicheskie-kriterii-i-termodynamicheskie-usloviya-lokalitsii-zolotorudnoy-mineralizatsii-severo-vostochnogo-sklona-eniseyskogo> (дата обращения: 13.06.2016).
6. Мансуров Р.Х., Зеликсон Б.С., Тарасов А.В. Рудоконтролирующие зоны складчато-разрывных деформаций в средневерхнерифейских карбонатно-терригенных комплексах Енисейской золоторудной провинции // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы: сборник тез. докл. научно-практ. конф. – М.: ЦНИГРИ, 2016. – С. 98–99.

7. Фисенко В.Г. Предпосылки и признаки золоторудной минерализации северо-восточного склона Енисейского кряжа и перспективы промышленной золотоносности: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Красноярск, 2016. – 18 с.
8. Иванов А.И. Экспрессный метод поисков золоторудных месторождений в сложных горно-таежных ландшафтах // Руды и металлы. – 2014. – № 1. – С. 36–42.
9. Иванов А.И. Золото Байкало-Патомы (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
10. Мансуров Р.Х., Зеликсон Б.С., Курмаев А.В. Применение экспрессной методики поисков золоторудных месторождений в горно-таежных ландшафтах на примере поисковых работ на большеобъемное золотое оруденение в пределах Средне-Ишимбинской площади // Руды и металлы. – 2015. – № 4. – С. 39–50.
11. Иванов А.И. Опыт прогнозирования, поисков и оценки новых золоторудных месторождений в Бодайбинском районе // Отечественная геология. – 2008. – № 6. – С. 11–16.
12. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
13. Мансуров Р.Х., Зеликсон Б.С. Методические аспекты применения шликергеохимического метода при поисках золота в условиях Енисейского кряжа // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы: сборник тез. докл. научно-практ. конф. – М.: ЦНИГРИ, 2016. – С. 40–41.
14. Metallogeny of Siberia: tectonic, geologic and metallogenic settings of selected significant deposits / R. Seltmann, S. Soloviev, V. Shatov, F. Pirajno, E. Naumov, S. Cherkasov // Australian Journal of Earth Sciences. – 2010. – V. 57. – № 6. – P. 655–706.
15. Re-Os Isotope Systematics of Sulfides from Olympiada Gold Deposit (Yenisei Rige, Russia) / E.A. Naumov, S. Tessalina, A.S. Borisenko, P.A. Nevolko, K.R. Kovalev // Mineralogical Magazine. Goldschmidt 2013. – 2013. – V. 77. – № 5. – P. 1830–1830.
16. Gold Deposits of the Yenisei Ridge (Russia) and Age of Its Formation / A.S. Borisenko, A.M. Sazonov, P.A. Nevolko, E.A. Naumov, S. Tessalina, K.R. Kovalev, V.P. Sukhorukov // Acta Geologica Sinica. – 2014. – V. 88. – № 2. – P. 686–687.
17. Geochemical and isotopic properties of fluids from gold-bearing and barren quartz veins of the Sovetskoye Gold Deposit (Siberia, Russia) / A. Tomilenko, N. Gibsher, Y. Dublyansky, L. Dallai // Economic Geology. – 2010. – V. 105. – № 2. – P. 375–394.
18. Ведугинское золото-сульфидное месторождение (Енисейский кряж) / А.М. Сазонов, А.Э. Романовский, Г.И. Шведов, С.И. Леонтьев, Е.А. Звягина // Руды и металлы. – 1994. – № 2. – С. 86–97.
19. Федорчук В.П. О генезисе золоторудных месторождений карлинского типа // Руды и металлы. – 2000. – № 1. – С. 76–78.
20. Radtke A.S., Rye R.O., Dickson F.W. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit, Nevada // Economic Geology. – 1980. – V. 75. – № 5. – P. 641–672.
21. Полева Т.В., Сазонов А.М. Геология золоторудного месторождения Благодатное в Енисейском кряже. – М.: Экономическая газета, 2012. – 290 с.
22. Vilor N.V. Gold in black shales // Geochemistry International. – 1983. – V. 20. – № 2. – P. 167–176.
23. Яновский В.М. Золоторудные месторождения в углеродистых терригенных комплексах. Модели гидротермально-метасоматического оруденения // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 2. – С. 87–92.
24. Условия формирования и основы прогноза крупных золоторудных месторождений / М.М. Константинов, В.В. Аристов, М.Е. Вакин, Р.Ф. Данковцев, В.О. Коньшев, Т.Н. Косовец, Н.П. Остроумова, В.К. Политов, Г.С. Симкин, С.Ф. Стружков, В.А. Изотенкова, Н.А. Фогельман, В.М. Яновский. – М.: ЦНИГРИ, 1998. – 155 с.
25. Mikucki E.J. Hydrothermal transport and depositional processes in Archean lode-gold systems: a review // Ore Geology Reviews. – 1998. – V. 13. – № 1. – P. 307–321.
26. Ли Л.В., Нелюбов В.А. Структурные особенности локализации золотого оруденения некоторых месторождений Енисейского Кряжа // Геология и геофизика. – 1970. – № 10. – С. 45–51.
27. Варгунина Н.П. Региональные геохимические факторы золотоносности Енисейского кряжа // Руды и металлы. – 2008. – № 1. – С. 51–66.
28. Буряк В.А. Метаморфогенно-гидротермальный тип промышленного золотого оруденения. – Новосибирск: Наука, 1975. – 44 с.
29. Основы прогнозирования золоторудных месторождений в терригенных комплексах / В.А. Нарсеев, А.А. Сидоров, Н.А. Фогельман, В.М. Яновский, В.А. Буряк. – М.: ЦНИГРИ, 1986. – 192 с.
30. Bonnemaïson M., Marcoux E. Auriferous mineralization in some shear-zones: a three-stage model of metallogenesis // Mineralium Deposita. – 1990. – V. 25. – № 2. – P. 96–104.
31. Буряк В.А., Бакулин Ю.И. Металлогения золота. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 403 с.
32. Иванов А.И. Роль метаморфизма в золотом рудообразовании в углеродистых терригенных и карбонатно-терригенных комплексах на примере Байкало-Патомской металлогенической провинции и его отражение в прогнозно-поисковых моделях // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы: сборник тез. докл. научно-практ. конф. – М.: ЦНИГРИ, 2015. – С. 61–62.
33. Powell R., Will T.M., Phillips G.N. Metamorphism in Archean greenstone belts: calculated fluid compositions and implications for gold mineralization // Journal of Metamorphic Geology. – 1991. – V. 9. – № 2. – P. 141–150.
34. Phillips G.N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model // Journal of Metamorphic Geology. – 2010. – V. 28. – № 6. – P. 689–718.
35. Yardley B.W.D., Cleverley J.S. The role of metamorphic fluids in the formation of ore deposits // Geological Society, London, Special Publications. – 2015. – V. 393. – № 1. – P. 117–134.
36. Mansurov R.Kh. Principal elements of gold mineralization prospecting model of the prospective area Southern within Sredne-Ishimbinskaya area of Yenisei gold province // New ideas in Earth sciences: XII International scientific-practical conference. – М.: MGRI-RSPGU, 2015. – P. 128–128.
37. Yakubchuk A., Stein H., Wilde A. Results of pilot Re–Os dating of sulfides from the Sukhoi Log and Olympiada orogenic gold deposits, Russia // Ore Geology Reviews. – 2014. – V. 59. – P. 21–28.
38. Константинов М.М. Золоторудные месторождения типа карлин и критерии их выявления // Руды и металлы. – 2000. – № 1. – С. 70–76.
39. Cline J.S. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geological characteristics and viable models // Economic geology. – 2005. – V. 100. – P. 451–484.
40. Deposition of gold in Carlin-type deposits: the role of sulfidation and decarbonation at Twin Creeks, Nevada / D.P. Stenger, S.E. Kesler, D.R. Peltonen, C.J. Tapper // Economic geology. – 1998. – V. 93. – № 2. – P. 201–215.
41. Cline J.S., Hofstra A.H. Ore fluid evolution at the Getchell Carlin-type gold deposit, Nevada, USA // European Journal of Mineralogy. – 2000. – V. 12. – P. 195–212.
42. The giant Carlin gold province: a protracted interplay of orogenic, basinal, and hydrothermal processes above a lithospheric boundary / P. Emsbo, D.I. Groves, A.H. Hofstra, F.P. Bierlein // Mineralium Deposita. – 2006. – V. 41. – P. 517–525.

43. Ressel M.W., Henry C.D. Igneous geology of the Carlin trend, Nevada: Development of the Eocene plutonic complex and significance for Carlin-type gold deposits // *Economic geology*. – 2006. – V. 101. – P. 347–383.
44. Magmatic-hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits / J.L. Muntean, J.S. Cline, A.C. Simon, A.A. Longo // *Nature Geoscience*. – 2011. – V. 4. – P. 122–127.
45. Richards J.P. Postsubduction porphyry Cu–Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere // *Geology*. – 2009. – V. 37. – P. 247–250.
46. Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S. Geology, mineralization, stable isotope geochemistry, and fluid inclusion characteristics of the Novogodnee-Monto oxidized Au-(Cu) skarn and porphyry deposit, Polar Ural // *Mineralium Deposita*. – 2013. – V. 48. – P. 603–625.

*Поступила 01.07.2016 г.*

#### **Информация об авторах**

**Мансуров Р.Х.**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник отдела благородных металлов Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов.

UDC 550.812:553.074:553.411

## CERTAIN FEATURES OF GEOLOGICAL STRUCTURE AND GOLD MINERALIZATION OF THE ORE OCCURRENCE YUZHNOE (YENISEI RIDGE)

Rinat Kh. Mansurov,  
rinman81@bk.ru

Central Research Institute of Geological Prospecting for non-ferrous and precious metals,  
129, bld.1, Varshavskoe shosse, Moscow, 117545, Russia.

*The relevancy of the discussed issue is caused by the need to detect new gold ore deposits within the Yenisei ridge to replenish mineral resources of gold ore in Russia.*

**The main aim** of the study is to explore the features of geological structure and gold ore mineralized zones of ore occurrence Yuzhnoe in order to forecast gold ore bodies, and to substantiate the continuation of geological exploration.

**The methods used in the study.** The exploration is implemented by the express method of prospecting gold ore deposits in difficult mountain-taiga landscapes using a complex of litho-geochemical sampling for secondary dispersion halos, schlich, point and trench sampling; spectrochemical analysis for determining gold content, ICP-MS, atomic-and-absorption, X-ray phase analysis and isotope-geochemical methods were used.

**The results.** The complex of prospecting methods allowed the author to reveal ore-controlling zone of fold-discontinuous deformations and localize within it the ore occurrence Yuzhnoe. The latter is located in the south-eastern part of Sredne-Ishimbinskaya area in the zone of dynamic influence of Ishimbinskiy deep fault system. The gold ore mineralized zones were revealed within the ore occurrence. They are presented by a series of lode gold stockwork subparallel bedding zones with low average gold content. A detection of gold ore bodies is forecasted within the most wide and lengthy zone Centralnaya, where the geological exploration is recommended to be continued. The author has compared the ore occurrence with model objects and determined a set of common criteria and indicators of the ore occurrence with lode gold-sulfide deposits of the Yenisei ridge – Olimpiadninskoye, Veduginskoye, etc. and with «carlin» type deposits.

**Conclusions.** For the first time in the region the gold ore mineralized zones in carbonate-terrigenous carbonaceous sediments of kartochki and aladyinskaya series of the Middle Riphean were detected. The perspectives of gold-bearing mineralization of the eastern slope of the Yenisei ridge are defined.

### Key words:

Eastern slope of the Yenisei ridge, gold ore occurrence Yuzhnoe, aladyinskaya and kartochki series, gold ore mineralized zones.

### REFERENCES

- Sazonov A.M., Ananyev A.A., Poleva T.V., Khokhlov A.N., Vlasov V.S., Zvyagina E.A., Fedorova A.V., Tishin P.A., Leontyev S.I. Gold-ore metallogeny of the Yenisei ridge: geological-structural position, structural types of ore fields. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2010, vol. 4, no. 3, pp. 371–395. In Rus.
- Serdyuk S.S., Komorovsky Yu.E., Zverev A.I., Oyaber V.K., Vlasov V.S., Babushkin V.E., Kirilenko V.A., Zemlyansky S.A. *Modeli mestorozhdeniy zolota Eniseyskoy Sibiri* [Gold deposits models of Yeniseian Siberia]. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2010. 584 p.
- Sovmen V.K., Stragis Yu.M., Plekhanov A.A., Bibik S.M., Krovlyakova L.P., Savushkina S.I., Lokhnikov V.A., Zvezdin I.G., Logachev V.S. *Geologicheskoe stroenie zolotorudnykh mestorozhdeniy i opyt geologicheskogo obsluzhivaniya syr'evoy bazy kompanii «Polyus» v Krasnoyarskom krae* [Geological structure of gold deposits and experience of geological servicing of Polyus Company raw materials base in Krasnoyarsk region]. Krasnoyarsk, Verso Publ., 2009. 208 p.
- Mkrtchyan A.K., Berzon E.I., Zuev V.K., Storoyenko A.A., Vasilyev N.F., Sekretarev M.N., Lipishanov A.P., Varganov A.S., Moskalev V.A., Kononenko N.B., Diner A.E. Prognozno-poiskovye modeli osnovnykh formatsionnykh tipov zolotorudnykh mestorozhdeniy Eniseyskogo kryazha [Forecast-search model of the main formation types of gold deposits of the Yenisei ridge]. *Geologiya i mineralno-syr'evye resursy Tsentralnoy Sibiri. Materialy yubileynoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Geology and mineral resources of Central Siberia. Proceeding on the jubilee scientific conference]. Krasnoyarsk, 2010. pp. 46–62.
- Fisenko V.G., Makarov V.A. Geochemical prerequisites and thermodynamic conditions for gold mineralization localization at northeastern slope of the Yenisei ridge. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya – Actual problems of science and education*, 2013, no. 6. In Rus. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/geohimicheskie-kriterii-i-termodynamicheskie-usloviya-lokalitsii-zolotorudnoy-mineralizatsii-severo-vostochnogo-sklona-eniseyskogo> (accessed 13 June 2016).
- Mansurov R.Kh., Zelikson B.S., Tarasov A.V. Rudokontroliruyushchie zony skladchato-razryvnykh deformatsiy v sredne-verkhnerifeykskikh karbonatno-terrigenykh kompleksakh Eniseyskoy zolotorudnoy provintsii [Ore-controlling zones of fold-discontinuous deformations in carbonate-terrigenous sediments of the Upper-Middle Riphean within the Yenisei gold province]. *Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov, almazov – sostoyanie i perspektivy. Sbornik tezisev dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and methodology bases of forecasting, prospecting and evaluating deposits of non-ferrous and precious metals, diamonds – state and prospects. Abstracts of the scientific-practical conference]. Moscow, TsNIGRI, 2016. pp. 98–99.
- Fisenko V.G. *Predposylki i priznaki zolotorudnoy mineralizatsii severo-vostochnogo sklona Eniseyskogo kryazha i perspektivy promyshlennoy zolotonosnosti*. Dis. Kand. nauk [Background and features of gold mineralization of the north-eastern slope of the Yenisei ridge and prospects of industrial gold content. Dr. Diss.]. Krasnoyarsk, 2016. 18 p.
- Ivanov A.I. A set of bedrock gold-oriented techniques and methods for exploration in the mountainous taiga environments. *Rudy i metally – Ores and Metals*, 2014, no. 1, pp. 36–42. In Rus.

9. Ivanov A.I. *Zoloto Baykalo-Patoma (geologiya, orudnenie, perspektivy)* [Gold of the Baikal-Pathom (geology, ore mineralization, prospects)]. Moscow, TsNIGRI Publ., 2014. 215 p.
10. Mansurov R.Kh., Zelikson B.S., Kurmaev A.V. Express method of prospecting gold deposits in difficult mountain-taiga landscapes on the example of prospecting lode gold mineralization within the Sredne-Ishimbinskaya area. *Rudy i metally – Ores and Metals*, 2015, no. 4, pp. 39–50. In Rus.
11. Ivanov A.I. Experience in forecasting, prospecting and evaluating new gold ore deposits in Bodaibo region. *Otechestvennaya geologiya – National Geology*, 2008, no. 6, pp. 11–16. In Rus.
12. Buryak V.A. *Metamorfizm i rudoobrazovanie* [Metamorphism and ore genesis]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 256 p.
13. Mansurov R.Kh., Zelikson B.S. Metodicheskie aspekty primeniya shlikhogeokhimičeskogo metoda pri poiskakh zolota v usloviyakh Eniseyskogo kryazha [Methodical aspects of application of schlich and geochemical methods in prospecting gold mineralization in the Yenisei ridge conditions]. *Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov, almazov – sostoyanie i perspektivy. Sbornik tezisov dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and methodology bases of forecasting, prospecting and evaluating deposits of non-ferrous and precious metals, diamonds – state and prospects. Abstracts of the scientific-practical conference]. Moscow, TsNIGRI Publ., 2016. pp. 40–41.
14. Seltmann R., Soloviev S., Shatov V., Pirajno F., Naumov E., Cherkasov S. Metallogeny of Siberia: tectonic, geologic and metallogenetic settings of selected significant deposits. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2010, vol. 57, no. 6, pp. 655–706.
15. Naumov E.A., Tessalina S., Borisenko A.S., Nevolko P.A., Kovalev K.R. Re-Os Isotope Systematics of Sulfides from Olympiada Gold Deposit (Yenisei Rige, Russia). *Mineralogical Magazine*, 2013, vol. 77, no. 5, pp. 1830.
16. Borisenko A.S., Sazonov A.M., Nevolko P.A., Naumov E.A., Tessalina S., Kovalev K.R., Sukhorukov V.P. Gold Deposits of the Yenisei Ridge (Russia) and Age of Its Formation. *Acta Geologica Sinica*, 2014, vol. 88, no. 2, pp. 686–687.
17. Tomilenko A., Gibsher N., Dublyansky Y., Dallai L. Geochemical and isotopic properties of fluids from gold-bearing and barren quartz veins of the Sovetskoye Gold Deposit (Siberia, Russia). *Economic Geology*, 2010, vol. 105, pp. 375–394.
18. Sazonov A.M., Romanovsky A.E., Shvedov G.I., Leontyev S.I., Zvyagina E.A. Veduginskoe gold-sulphide deposit (The Yenisei ridge). *Rudy i metally – Ores and Metals*, 1994, no. 2, pp. 86–97. In Rus.
19. Fedorchuk V.P. On genesis of carlin-type gold deposits. *Rudy i metally – Ores and Metals*, 2000, no. 1, pp. 76–78. In Rus.
20. Radtke A.S., Rye R.O., Dickson F.W. Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit, Nevada. *Economic Geology*, 1980, vol. 75, pp. 641–672.
21. Poleva T.V., Sazonov A.M. *Geologiya zolotorudnogo mestorozhdeniya Blagodatnoe v Eniseyskom kryazhe* [Geology of the Blagodatnoe gold ore deposit within the Yenisei ridge]. Moscow, Ekonomicheskaya gazeta Publ., 2012. 290 p.
22. Vilor N.V. Gold in black shales. *Geochemistry International*, 1983, vol. 20, pp. 167–176.
23. Yanovskiy V.M. Zolotorudnye mestorozhdeniya v ugleorodistykh terrigenykh kompleksakh. Modeli gidrotermalno-metasomaticheskogo orudneniya [Gold ore deposits within carbonaceous terrigenous complexes. Models of hydrothermal-metasomatic ore mineralization]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2004, no. 2, pp. 87–92.
24. Konstantinov M.M., Aristov V.V., Vakin M.E., Dankovtsev R.F., Konyshov V.O., Kosovets T.N., Ostroumova N.P., Politov V.K., Simkin G.S., Struzhkov S.F., Izotenkova V.A., Fogelman N.A., Yanovskiy V.M. *Usloviya formirovaniya i osnovy prognoza krupnykh zolotorudnykh mestorozhdeniy* [Conditions of formation and basis of forecast of lode gold ore deposits]. Moscow, TsNIGRI Publ., 1998. 155 p.
25. Mikucki E.J. Hydrothermal transport and depositional processes in Archean lode-gold systems: a review. *Ore Geology Reviews*, 1998, vol. 13, pp. 307–321.
26. Li L.V., Nelyubov V.A. Strukturnye osobennosti lokalizatsii zolotogo orudneniya nekotorykh mestorozhdeniy Eniseyskogo kryazha [Structural features of localization of gold ore mineralization of several deposits of the Yenisei ridge]. *Geologiya i geofizika*, 1970, no. 10, pp. 45–51.
27. Vargunina N.P. Regional geochemical factors of gold ore mineralization of the Yenisei ridge. *Rudy i metally – Ores and Metals*, 2008, no. 1, pp. 51–66. In Rus.
28. Buryak V.A. *Metamorfogenno-gidrotermalny tip promyshlennogo zolotogo orudneniya* [Metamorphic-hydrothermal type of economic gold ore mineralization]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1975. 44 p.
29. Narseev V.A., Sidorov A.A., Fogelman H.A., Yanovskiy V.M., Buryak V.A. *Osnovy prognozirovaniya zolotorudnykh mestorozhdeniy v terrigenykh kompleksakh* [Bases of forecasting gold ore deposits in terrigenous complexes]. Moscow, TsNIGRI Publ., 1986. 192 p.
30. Bonnemaision M., Marcoux E. Auriferous mineralization in some shear-zones: a three-stage model of metallogenesis. *Mineralium Deposita*, 1990, vol. 25, pp. 96–104.
31. Buryak V.A., Bakulin Yu.I. *Metallogeniya zolota* [Gold metallogeny]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 1998. 403 p.
32. Ivanov A.I. Rol metamorfizma v zolotom rudoobrazovanii v ugleorodistykh terrigenykh i karbonatno-terrigenykh kompleksakh na primere Baykalo-Patomskoy metallogenicheskoy provintsii i ego otrazhenie v prognozno-poiskovykh modelyakh [The role of metamorphism in gold ore mineralization in carbonaceous terrigenous and carbonate-terrigenous complexes by the example of Baikal-Patom metallogenic province and its reflection in forecast-search models]. *Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov, almazov – sostoyanie i perspektivy. Sbornik tezisov dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science and methodology bases of forecasting, prospecting and evaluating deposits of non-ferrous and precious metals, diamonds – state and prospects. Abstracts of the scientific-practical conference]. Moscow, TsNIGRI Publ., 2015. pp. 61–62.
33. Powell R., Will T.M., Phillips G.N. Metamorphism in Archean greenstone belts: calculated fluid compositions and implications for gold mineralization. *Journal of Metamorphic Geology*, 1991, vol. 9, pp. 141–150.
34. Phillips G.N., Powell R. Formation of gold deposits: a metamorphic devolatilization model. *Journal of Metamorphic Geology*, 2010, vol. 28, pp. 689–718.
35. Yardley B.W.D., Cleverley J.S. The role of metamorphic fluids in the formation of ore deposits. *Geological Society, London, Special Publications*, 2015, vol. 393, pp. 117–134.
36. Mansurov R.Kh. Principal elements of gold mineralization prospecting model of the prospective area Southern within Sredne-Ishimbinskaya area of Yenisei gold province. *XII International scientific-practical conference. New ideas in Earth sciences*. Moscow, MGRI-RSPGU Publ., 2015. pp. 128.
37. Yakubchuk A., Stein H., Wilde A. Results of pilot Re–Os dating of sulfides from the Sukhoi Log and Olympiada orogenic gold deposits, Russia. *Ore Geology Reviews*, 2014, vol. 59, pp. 21–28.
38. Konstantinov M.M. Gold ore deposits of carlin-type and the criteria for their detecting. *Rudy i metally – Ores and Metals*, 2000, no. 1, pp. 70–76. In Rus.
39. Cline J.S. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geological characteristics and viable models. *Economic geology*, 2005, vol. 100, pp. 451–484.

40. Stenger D.P., Kesler S.E., Peltonen D.R., Tapper C.J. Deposition of gold in Carlin-type deposits: The role of sulfidation and decarbonation at Twin Creeks, Nevada. *Economic geology*, 1998, vol. 93, no. 2, pp. 201–215.
41. Cline J.S., Hofstra A.H. Ore fluid evolution at the Getchell Carlin-type gold deposit, Nevada, USA. *European Journal of Mineralogy*, 2000, vol. 12, pp. 195–212.
42. Emsbo P., Groves D.I., Hofstra A.H., Bierlein F.P. The giant Carlin gold province: a protracted interplay of orogenic, basinal, and hydrothermal processes above a lithospheric boundary. *Mineralium Deposita*, 2006, vol. 41, pp. 517–525.
43. Ressel M.W., Henry C.D. Igneous geology of the Carlin trend, Nevada: Development of the Eocene plutonic complex and significance for Carlin-type gold deposits. *Economic geology*, 2006, vol. 101, pp. 347–383.
44. Muntean J.L., Cline J.S., Simon A.C., Longo A.A. Magmatic–hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits. *Nature Geoscience*, 2011, vol. 4, pp. 122–127.
45. Richards J.P. Postsubduction porphyry Cu–Au and epithermal Au deposits: Products of remelting of subduction-modified lithosphere. *Geology*, 2009, vol. 37, pp. 247–250.
46. Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S. Geology, mineralization, stable isotope geochemistry, and fluid inclusion characteristics of the Novogodnee-Monto oxidized Au-(Cu) skarn and porphyry deposit, Polar Urals. *Mineralium Deposita*, 2013, vol. 48, pp. 603–625.

Received: 1 July 2016.

#### Information about the authors

**Rinat Kh. Mansurov**, Cand. Sc., senior researcher, Russian Federal Subsoil Resources Management Agency, Central Research Institute of Geological Prospecting for non-ferrous and precious metals.