

«Угуйский» тип большеобъёмных золоторудных месторождений, сформированных в линейной коре выветривания (юго-западная Якутия)

Ю.А.ЗУБКОВ, А.В.САГИР (ООО «ГеоГолд»; 678960, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Карла Маркса, д. 16, кв. 98),
Н.В.ЧВАРОВА (ООО «Нерюнгри-Металлик»; 678976, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, пгт. Хани, ул. 70 лет Октября, д. 3, кв. 55)

В юго-западной Якутии в пределах Угуйского грабена выявлена серия золоторудных месторождений – Гросс, Таборное, Тёмное, Высокое и др. – с суммарными защищёнными запасами золота более 330 т. Самым крупным и наиболее изученным является месторождение Гросс с запасами золота 265 т, которое было открыто и разведано в течение 2008–2014 гг.

Месторождения сформировались в период мезозойской тектоно-магматической активизации, когда в южной части Угуйского грабена происходило внедрение малых интрузий сиенитов калиевой серии, сопровождавшееся калиевым метасоматозом и пиритизацией вмещающих пород вдоль мощных тектонических зон взбросо-надвиговой природы. Нахождение зон пиритизации в линейной коре выветривания неполного профиля обусловило формирование большеобъёмных золоторудных месторождений с невысокими содержаниями металла и уникальными технологическими свойствами.

Ключевые слова: золоторудные месторождения Гросс, Таборное, Угуйский грабен, рифейские песчаники, щелочные сиениты, калиевый метасоматоз, взбросо-надвиги, пиритизация, линейная кора выветривания.

Зубков Юрий Андреевич



zuzu@list.ru

Сагир Александр Васильевич

sagiralex@mail.ru

Чварова Наталья Валериевна

Natalia.Chvarova@nordgold.com

The «Uguisky» type of large-volume gold deposits formed in a linear weathering crust (Southwestern Yakutia)

Yu.A.ZUBKOV, A.V.SAGIR (GeoGold LLC), N.V.CHVAROVA (Neryungr-Metallik LLC)

In southwestern Yakutia, within the Uguisky graben, a series of gold ore deposits – Gross, Tabornoye, Temnoe, Visokoe and others – with mutual mineral reserves of more than 330 tons of gold was revealed. The largest and most studied is the Gross deposit with 265 tons of gold reserves, which was discovered and explored during 2008–2014.

Deposits were formed during the Mesozoic tectonic-magmatic activation, when in the southern part of the Uguisky graben, small intrusions of syenites of the potassium series were introduced, accompanied by potassium and pyritic alteration of the host rocks along thick tectonic zones of thrust nature. The presence of pyritization zones in the linear weathering crust of an incomplete profile led to the formation of large-volume gold deposits with low metal contents and unique technological properties.

Key words: gold deposit Gross, Tabornoye, Uguisky graben, Rifean sandstones, alkaline syenites, potassium metasomatism, thrust, pyritization, linear weathering crust.

Золоторудные месторождения нового «угуйско-го» типа объединяют разрабатываемые в настоящее время в юго-западной Якутии месторождения Гросс, Таборное и др. Они расположены на западном склоне Алдано-Станового щита Сибирской

платформы в южной части Угуйского грабена (рис. 1). Грабен был образован в рифее на архейских метаморфических образованиях кристаллического фундамента, в плане он имеет ромбовидную форму. Ширина грабена с запада на восток

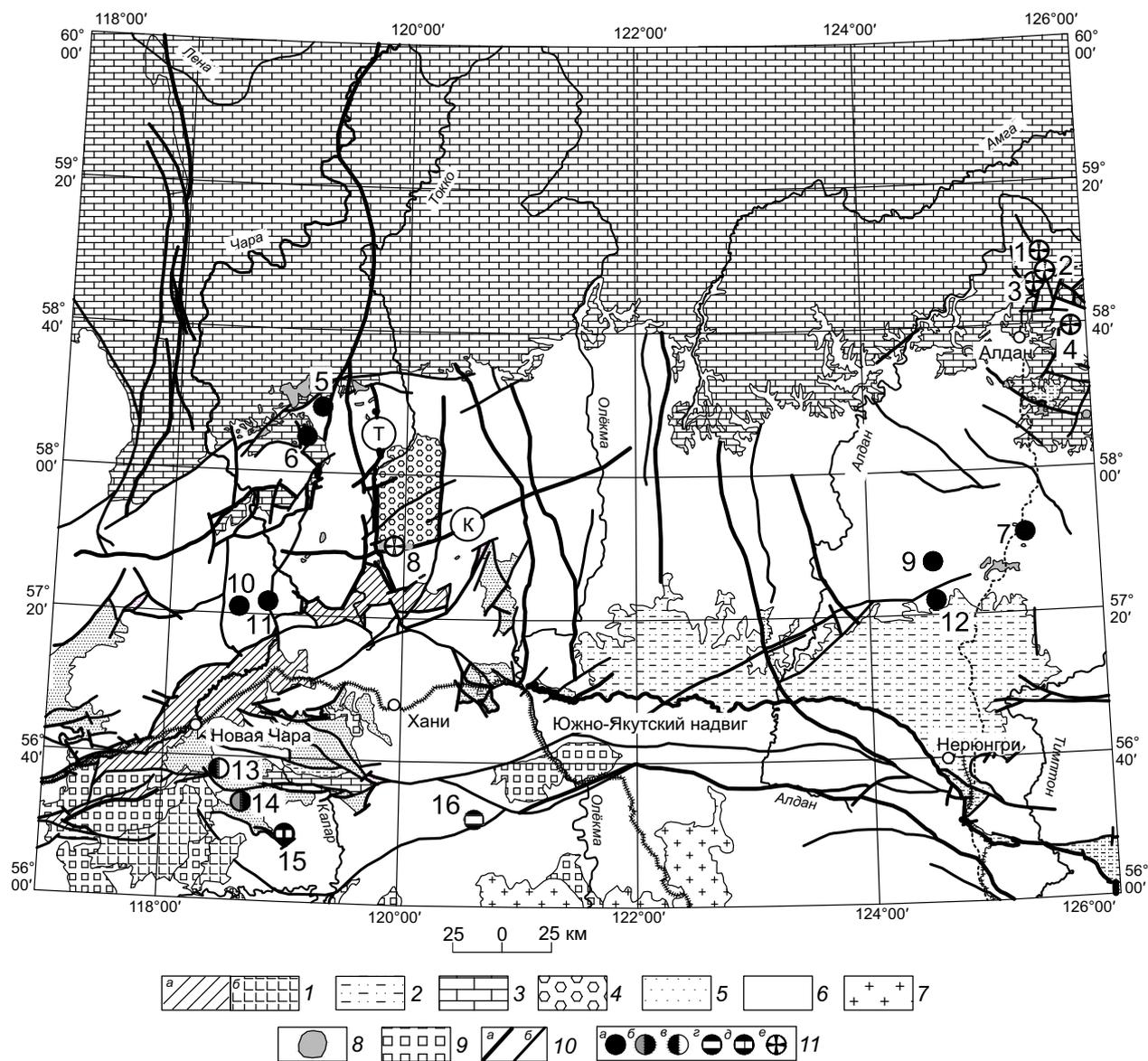


Рис. 1. Структурно-геологическая схема западной части Алдано-Станового щита. По [4], с дополнениями:

1 – неоген-четвертичные: а – впадины (пески, галечники, глины), б – лавы и туфы трахибазальтов; 2 – мезозойские впадины (терригенные отложения юры); 3 – рифей-палеозойские терригенно-карбонатные отложения; 4 – Угуйский грабен (неметаморфизованные терригенные отложения рифея); 5 – раннепротерозойские грабены (метаморфизованные карбонатно-терригенные отложения); 6 – кристаллический фундамент (метаморфические и магматические образования архея); 7 – мезозойские граниты и граносиениты Становой области; 8 – мезозойские щелочные интрузии Алдано-Станового щита; 9 – среднепалеозойские щелочные интрузии Становой области; 10 – разломы: а – главные, б – второстепенные: К – Кондинский, Т – Токкинский; 11 – месторождения металлических полезных ископаемых: а – Fe: Тарынахское (5), Кебектинское, Ималыкское, Горкитское (6), Таежное (7), Десовское (9), Нижнесакуканское (10), Салуматское (11), Южное (12), б – Ti, Fe: Чинейское (14), в – Cu: Удоканское (13), г – Se: Тас-Юряхское (16), д – Se, Y, Nb, Ta, Вe, Zr: Катугинское (15), е – Au: Северное (1), Центральное и Порфирировое (2), Боковое (3), Рябиновое (4), Таборное и Гросс (8)

составляет 30 км, длина с юга на север – 70 км. В нижней части разреза слагающих его отложений грабен выполнен рифейскими меденосными вулканогенно-карбонатно-терригенными пестроцветными образованиями, которые узкой полосой обнажаются вдоль его восточного края. Их мощность варьирует от 800 до 400 м на востоке и сокращается до нуля в центральной части грабена. Выше трансгрессивно залегает терригенная толща красноцветных аркозовых песчаников кебектинской серии (телиэрской и олонноконской свит) мощностью от 500 до 2000 м, которые выполняют основную часть грабена (более 90%). На севере и юге грабена аркозовые песчаники с базальными конгломератами в основании залегают на раз-

мытой поверхности архейского кристаллического фундамента. Песчаники полого погружаются к центру грабена, где имеют субгоризонтальные залегания.

С запада и востока Угуйский грабен ограничен, соответственно, Токкинским и Чаруодинским субмеридиональными разломами. С юга грабен ограничен Кондинским взбросо-надвигом. В южной части грабена выделяется субширотная (70°) зона развития пликативных структур и тектонических нарушений взбросо-надвигового типа, которые являются передовыми нарушениями Кондинского взбросо-надвига. Южно-Угуйская зона шириной 3–4 км и протяжённостью до 20 км вмещает все известные в настоящее

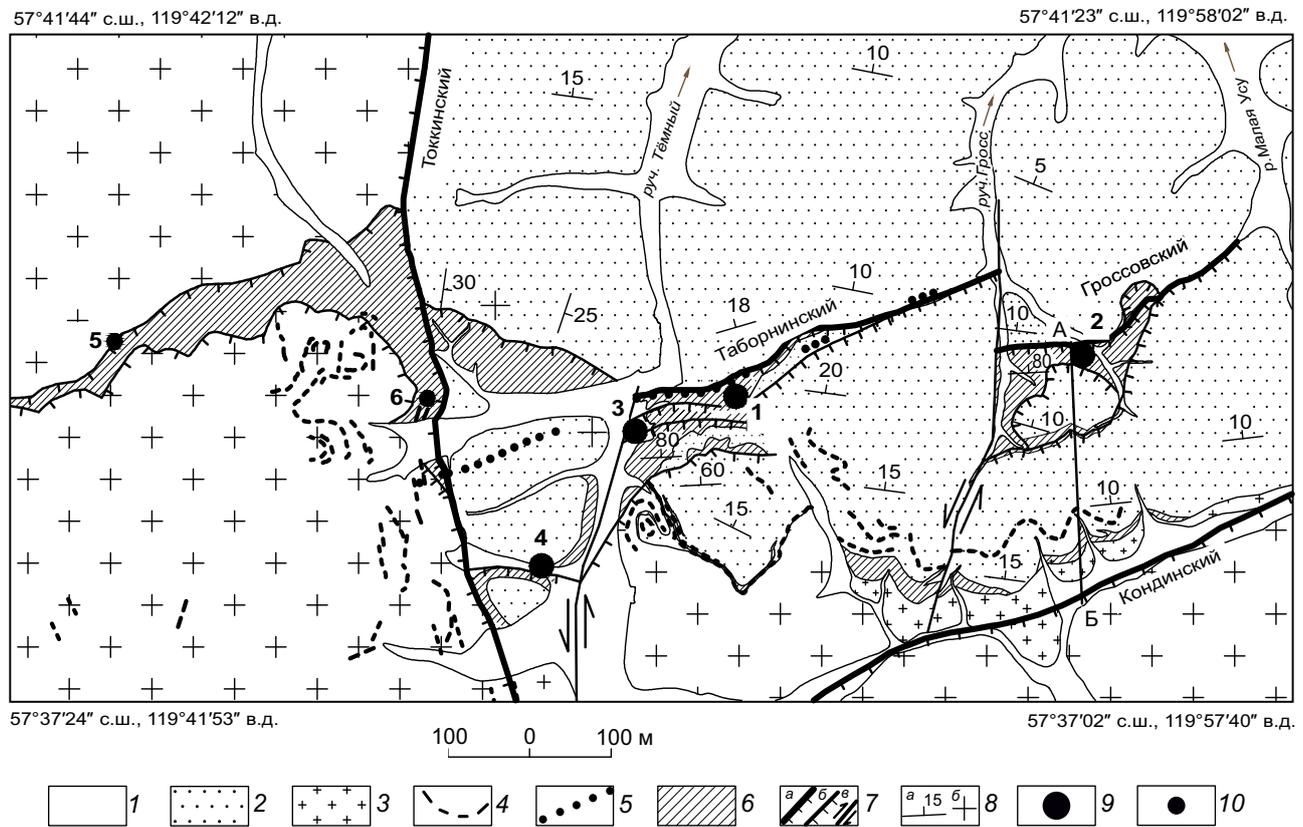


Рис. 2. Геологическая карта Южно-Угуйской золотоносной зоны:

1 – голоценовые и плейстоценовые аллювиальные, пролювиальные, флювиогляциальные отложения: пески, галечники, валуны, гравий, глыбы (1–30 м); 2 – рифей, олонноконская свита (общая мощность до 1500 м): красноцветные кварц-полевошпатовые песчаники, в основании горизонт конгломератов и конгломерато-брекчий (0–30 м) с прослоями алевролитов; 3 – поздnearхейские метаморфизованные породы фундамента: граниты, гранито-гнейсы; 4 – Алданский интрузивный комплекс: раннемеловые силлы, дайки сиенитов и бостонитов; 5 – позднерифейский Торский гипабиссальный комплекс: дайки долеритов; 6 – рудовмещающие линейные коры выветривания по калиевым метасоматитам: бурые лимонит-пелитовые породы по песчаникам и породам фундамента; 7 – разрывные нарушения: а – надвиги, взбросы главные и их названия, б – надвиги, взбросы второстепенные, в – сдвиги; 8 – элементы залегания слоистости: а – наклонное, б – горизонтальное; 9 – месторождения золота: 1 – Таборное, 2 – Гросс, 3 – Тёмное, 4 – Высокое; 10 – проявления золота: 5 – Аномалия-13, 6 – Токкинское

время месторождения золота «угуйского» типа (рис. 2). Все они располагаются в многолетне-мёрзлых породах.

История открытия золоторудных месторождений «угуйского» типа. Впервые повышенное содержание золота (0,001–0,2 г/т) в обохренных песчаниках кебектинской (ныне олонноконской) свиты было установлено В.В.Ляхницким в 1968 г. бассейне руч. Таборный при подготовке к изданию Госгеолкарты-200 на лист О-50-XXIV (Южно-Якутская комплексная экспедиция, пос. Чульман).

В 1976–1979 гг. в южной части Угуйского грабена была проведена геологическая съёмка масштаба 1:50 000 под руководством А.А.Сясько (Тимптоно-Учурская геологоразведочная экспедиция, г. Алдан). В южной части Угуйского грабена впервые было выделено оруденение золото-кварцевой формации в бассейне руч. Таборный (1–2 г/т), в верховьях руч. Гросс (0,1–0,6 г/т), ручьёв Врезанный и Рудный, что послужило основным толчком для дальнейшего изучения этой территории. В 1978–1981 гг. на обнаруженных здесь перспективных площадях под руководством В.И.Шевченко были выполнены поисковые работы, и участки ручьёв Таборный, Тёмный и Гросс переведены в разряд золоторудных проявлений. Дальнейшее их изучение, проведённое

в 1990–1991 гг. С.В.Седенко (ЦПСЭ ЯПГО), позволило оценить прогнозные ресурсы рудопроявлений Таборное по категориям P_1+P_2 – 50 т и Гросс по категории P_3 – 50 т.

В 1999 г. по результатам разведочных работ, проведённых В.Г.Амарским (ГГПП «Южякутгеология», пос. Чульман), рудопроявление Таборное было переведено в разряд месторождений с геологическими запасами золота категории C_2 – 27 т, забалансовыми запасами – 8 т и прогнозными ресурсами категории P_1 – 2 т.

В 2002 г. недропользователем ООО «Нерюнгри-Металлик» на месторождении Таборное была начата опытно-промышленная отработка с добычей руды открытым способом и её обогащением методом кучного выщелачивания. В результате проведённых под руководством И.А.Пашкова детальных разведочных работ (2003–2006 гг.) геологические запасы разведанной части месторождения Таборное по категории C_1+C_2 составили 20,3 т золота со средним содержанием 1,5 г/т, из них в контуре карьера – 23,5 млн. т руды и 14,8 т золота со средним содержанием – 1,59 г/т.

В течение 2005–2014 гг. в пределах Южно-Угуйской зоны были проведены дальнейшие поисково-оценочные и разведочные работы с использованием колонкового бурения в объёме 225 тыс. м (рис. 3).



Рис. 3. Детальная буровая разведка месторождения Гросс на стадии завершения, 2014 г.



Рис. 4. Карьер месторождения Таборное, 2019 г.

За это время под руководством Ю.А.Зубкова в 5 км к востоку от месторождения Таборное было разведано и подготовлено к промышленному освоению крупное золоторудное месторождение Гросс с защищёнными геологическими запасами категории C_1+C_2 – 415 млн. т руды, золота – 265 и серебра – 1340 т (попутный металл, извлекаемый при аффинаже) со средними промышленными содержаниями 0,65 и 3,23 г/т, соответственно. Из них в контуре карьера:

173 млн. т руды и 136,1 т золота со средним содержанием 0,79 г/т – балансовые запасы, оконтуренные по бортовому содержанию 0,4 г/т;

105,8 млн. т руды и 35,36 т золота со средним содержанием 0,33 г/т – забалансовые запасы, оконтуренные по бортовому содержанию 0,2–0,4 г/т.

Прогнозные ресурсы восточного и южного флангов месторождения Гросс, оценённые по категории P_1 , составили 307 т золота при среднем содержании 0,9 г/т.

Первооткрывателями месторождения Гросс признаны: от ООО «ГеоГолд» (2008–2014 гг.) Ю.А.Зубков, А.Н.Колданов, В.В.Савельев, изучившие месторождение и проводившие поисково-оценочные работы, детальную разведку и подсчёт запасов золота и серебра, и от государственных учреждений А.А.Сясько, В.И.Шевченко и С.В.Седенко, выполнившие первые поисковые работы.

Кроме того, на западном фланге месторождения Таборное были открыты и разведаны месторождения золота с небольшими геологическими запасами категории C_1+C_2 : Тёмное – 4,4 т золота со средним содержанием 1,31 г/т и Высокое – 1,8 т золота с содержанием 1,33 г/т.

Разработка месторождения Таборное и его флангов ведётся до настоящего времени (рис. 4). Открытая разработка и обогащение руды методом кучного выщелачивания на руднике Гросс были начаты в 2014 г., и уже в 2019 г. годовая производительность рудника достигла почти 8 т золота (рис. 5).

В 2016–2018 гг. в результате поисковых работ, проведённых в районе руч. Врезанный, на западном фланге Южно-Угуйской зоны в породах архея было обнаружено рудопроявление Аномалия-13 с прогнозными ресурсами золота категории P_1 30 т и средним содержанием золота 0,8–1,0 г/т.

В связи с тем, что в открытой печати характеристика месторождения Гросс и его спутников приводится впервые, описание их геологического строения даётся подробно.

В данной работе определение породообразующих компонентов XRF методом, состава монофракций пирита методом LA-ICP-MS, а также датировки абсолютного возраста пород приведены по результатам договорных работ (А.В.Самсонов, Е.Ю.Аникина, ИГЕМ, г. Москва, 2011–2014 гг.). Аэро-гамма-спектрометрические исследования (АГСМ) также были выполнены на договорной основе (И.В.Молодцов, ФГУ НПП «Геологоразведка», г. Санкт-Петербург, 2009–2010 гг.).

Геологическое строение Южно-Угуйской золотоносной зоны. Все золоторудные месторождения южной части Угуйского грабена однотипны, расположены в единой стратиграфической толще рифейских аркозовых песчаников, лишь рудопроявления Токкинское и Аномалия-13 приурочены к архейским гранито-гнейсам фундамента



Рис. 5. Карьер месторождения Гросс, 2016 г.

(см. рис. 2). На всех них проявлен однотипный сиенитовый магматизм, калиевый метасоматоз и золотое оруденение.

Стратиграфия. Золоторудные месторождения «угуйского» типа Гросс, Таборное, Тёмное и Высокое расположены в толще монотонных пологозалегающих красноцветных полимиктовых и аркозовых песчаников олонноконской свиты. В пределах Южно-Угуйской зоны песчаники с базальными конгломератами в основании несогласно залегают на метаморфических породах архейского кристаллического фундамента. Породы падают на север, северо-восток под углом от 0 до 20°. Мощность песчанниковой толщи в южной части грабена превышает 1000 м.

Песчаники олонноконской свиты параллельно-и косослоистые, имеют следующий состав обломков: литокласты (гранитоиды, эффузивы), кристаллокласты – кварц различной степени окатанности (30–60%), плагиоклаз слабоокатанный (до 40%), калиевый полевой шпат – микроклин слабоокатанный (15–20%), мусковит, биотит (до 1%), эпидот, турмалин, апатит, циркон, рутил (единичные зёрна). Из рудных минералов значительно распространён гематит размером от первых мкм до 40 мкм (3–5%), ильменит, магнетит, титаномагнетит (от 0 до 10%). Песчаники не метаморфизованы и характеризуются ничтожно малым количеством $C_{орг}$ – 0–0,1%.

Химический состав красноцветных песчаников, по данным XRF-метода (в %): SiO_2 – 74–78, TiO_2 – 0,3–0,4, Al_2O_3 – 10–14, Fe_2O_3 – 3, MnO – 0,1, MgO – 0,4–1, CaO – 0,2–6, Na_2O – 2,4–3, K_2O – 3–4, P_2O_5 – 0,03–0,09, S – 0–0,06.

Абсолютные датировки обломочных зёрен циркона из красноцветных песчаников, полученные U-Pb методом сотрудниками ИГЕМ, показали значения от 1,45 до 3,4 млрд. лет, что соответствуют раннему рифею–раннему архею. Это означает, что накопление песчаников произошло не позднее 1,45 млрд. лет, в связи с чем принят рифейский возраст олонноконской свиты.

Магматизм. Красноцветные песчаники олонноконской свиты прорваны раннемеловыми силлами и дайками эгириновых сиенит-порфиров и бостонитов Алданского комплекса, а также единичными позднерифейскими дайками долеритов Торского комплекса.

Несколько силлов и даек сиенит-порфиров установлены на месторождениях Таборное, Гросс, Тёмное, Высокое, а также в районе рудо-

проявления Аномалия-13. Их мощность варьирует от 2,5 до 10 м. Становление сиенитов происходило в 2 фазы. Породы первой фазы внедрились до проявления метасоматоза и формирования золоторудных тел, породы второй фазы – после. На породы первой фазы наложены постмагматическая калишпатизация и золотая минерализация. Сиениты второй фазы безрудные, секут метасоматиты, все типы руд и приразломные флексуры. Сиениты обеих фаз внедрения состоят почти на 100% из микролейст калиевого полевого шпата.

Минеральный состав даек: эгирин-авгит, калишпат, альбит, акцессорные (магнетит, апатит, сфен). Структура пород порфировидная с бостонитовой основной массой. Текстура массивная или трахитоидная.

Химический состав дорудных сиенитов, по данным XRF-метода (в %): SiO_2 – 61,50, TiO_2 – 0,53, Al_2O_3 – 14,79, Fe_2O_3 – 5,17, FeO – 0,21, MnO – 0,09, MgO – 1,66, CaO – 3,59, Na_2O – 2,63, K_2O – 10,68. Пострудные сиениты отличаются лишь повышенным до 18,72% содержанием Al_2O_3 и пониженным до 0,66% содержанием Na_2O . По совокупности признаков можно классифицировать породы первой и второй фаз внедрения как щёлочнополевошпатовые сиениты до трахитов субщелочных и щелочных (по появлению эгирина). Все они лейкократовые, высокоглинозёмистые и относятся к калиевой серии.

Возраст дорудных и пострудных субщелочных сиенитов близок и соответствует раннему мелу (берриасс). Для дорудных сиенитов $^{40}Ar/^{39}Ar$ изотопное датирование по калиевым полевым шпатам (КПШ) показало значение возраста $143,9 \pm 1,5$ млн. лет. Для пострудных сиенитов возраст, установленный U-Pb методом по цирконам, составляет 140 ± 2 млн. лет.

В дорудных сиенитах, расположенных в зонах метасоматоза, нередко отмечается предпочтительная концентрация золота по отношению к песчаникам.

Дайки долеритов позднерифейского Торского гипабиссального комплекса отмечаются в рифейских красноцветных песчаниках на месторождении Таборное, где субширотная дайка мощностью 7 м расположена в разломе, ограничивающем с севера Главную рудную зону. Она фрагментарно прослеживается за пределы месторождения и на восток, и на запад на расстояние 6,5 км. Долериты в зоне разлома сильно будинированы, раздроблены, трещиноваты и характеризуются

приуроченностью к ним рудных тел с повышенными содержаниями золота. К югу от Угуйского грабена в породах кристаллического фундамента дайки долеритов имеют субвертикальное залегание и субширотное простирание при значительной мощности и протяжённости.

Метасоматические образования. С мезозойским сиенитовым магматизмом калиевого ряда парагенетически связано проявление калиевого метасоматоза, распространённого в Южно-Угуйской зоне по породам различного состава и возраста. Метасоматические преобразования преимущественно проявлены в мощных зонах катаклаза и милонитизации, сопровождающих взбросо-надвиги.

Первичные неокисленные калиевые метасоматиты вскрыты скважинами на месторождениях Таборное и Гросс на глубине 350 м и более. Они представляют собой серую и тёмно-серую плотную породу, в которой развита тонко-прожилковая кварц-карбонатная (доломит), реже барит-флюоритовая минерализация (до 1–2%) и тонкая (0,01–0,1 мм) неравномерно рассеянная вкрапленность золотоносного пирита, составляющая 0,07–1,0%, на локальных участках до 3–5% и более. Микроскопический состав метасоматитов представлен кварцем, микроклином, цемент сложен серицитом (2–3%), калиевым полевым шпатом, пиритом (0,07–5%), редко встречаются тонкие прожилки кварца. Пирит имеет форму пентагондодекаэдров и кубов.

Методом LA-ICP-MS в монофракциях пирита, отобранного из метасоматитов первичных руд на месторождении Гросс, установлено содержание золота от 7 до 232 г/т, серебра от 52 до 133 г/т. На месторождении Таборное содержание золота в пирите – 244–1752, серебра – 54–152 и мышьяка – 1890 и 1467 г/т.

В коре выветривания вид и состав калиевых метасоматитов резко изменяется. Петрографические исследования окисленных метасоматитов показывают, что калиевые минералы метасоматической природы присутствуют в основном в виде изотропной тонкозернистой массы (пелита), не поддающейся точной диагностике. Пирит замещается лимонитом. Золото высвобождается из пирита и укрупняется. Иногда отмечаются полные псевдоморфозы золота по пириту. Состав породообразующих компонентов неокисленных метасоматитов (первичных руд), по данным XRF-метода (в %): SiO_2 – 70–77, TiO_2 – 0,3–0,5, Al_2O_3 – 10–12, Fe_2O_3 – 3, MnO – 0,02–0,06,

MgO – 0,6–1, CaO – 1,5–3, Na_2O – 0,06–1,5, K_2O – 7–11, P_2O_5 – 0,1–0,2, S – 1,5–2, ППП – 3–4.

При сравнении составов неизменённых безрудных песчаников и метасоматитов видно, что в процессе метасоматоза происходит заметный привнос калия, серы, летучих компонентов и вынос натрия. Кремний, железо, алюминий, кальций и магний ведут себя инертно.

Калиевые метасоматиты Южно-Угуйской зоны по некоторым признакам близки к ураноносной низкотемпературной метасоматической формации зон региональных разломов [6], калиевым метасоматитам средне-низкотемпературной фельдшпатитовой формации [7] и гумбеитам Урала [3].

Несмотря на имеющиеся различия в геологической обстановке формирования и минеральном составе, калиевые метасоматиты Южно-Угуйской зоны можно отнести к группе средне-низкотемпературных метасоматических формаций, объединяя их с гумбеитами Д.С.Коржинского.

Геохимическую специализацию калиевых метасоматитов – гумбеитов – Южно-Угуйской зоны характеризуют повышенные содержания золота, серебра, мышьяка и ванадия.

Возраст метасоматических изменений и оруденения сопоставим с возрастом субщелочных сиенитов калиевой серии – ранний мел (берриас).

Зоны метасоматоза, приуроченные к рудовмещающим разломам месторождений и рудопроявлений Южно-Угуйской зоны, маркируются радиоактивными аномалиями калиевой природы, которые чётко выявляются при проведении аэрогамма-спектрометрической съёмки (АГСМ) и наземной радиометрии.

Тектоника. Главными рудоконтролирующими структурами Южно-Угуйской зоны являются передовые тектонические нарушения – Гроссовский и Таборнинский взбросо-надвиги, оперяющие Кондинский разлом (см. рис. 2), который, по мнению авторов, является одной из ветвей Южно-Якутского регионального взбросо-надвига (см. рис. 1). В зонах передовых взбросо-надвигов песчаники олонноконской свиты и силлы дорудных сиенитов смяты в приразломные флексуры, подвержены интенсивной трещиноватости и калиевому метасоматозу. Рудные тела в основном секут слоистость песчаников, реже занимают согласное с ней положение.

Наиболее детально изучено геологическое строение месторождений Гросс и Таборное.

Главная рудовмещающая структура месторождения Гросс (рис. 6) развита в рифейских

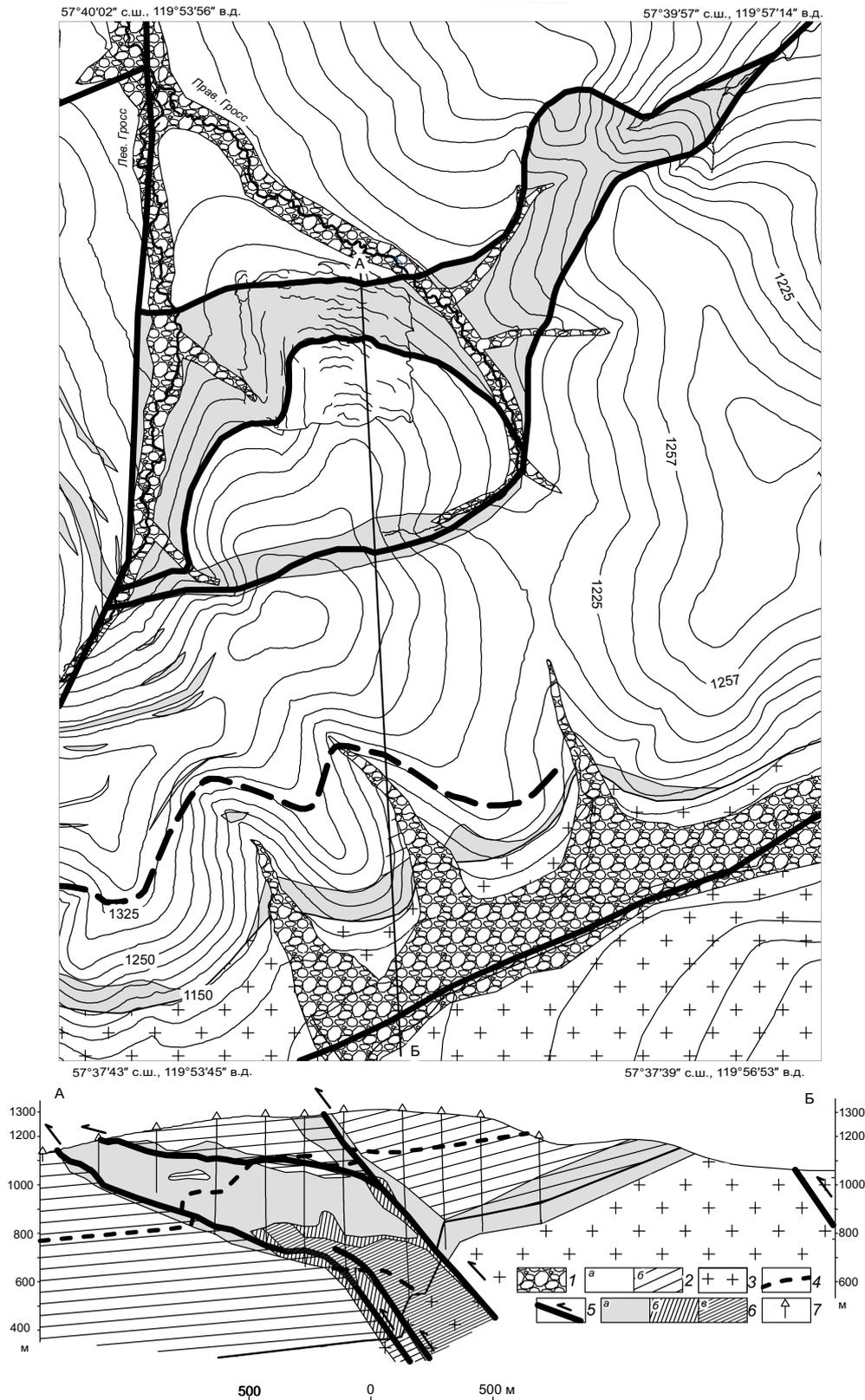


Рис. 6. Геологическая карта и разрез по линии А-Б через центральную часть месторождения Грасс:

1 – четвертичные аллювиальные пески, глины, галечники; 2 – рифейские аркозовые песчаники: а – на карте, б – положение слоистости песчаников на разрезе; 3 – граниты, гранитогнейсы архейского фундамента; 4 – силлы, дайки раннемеловых сиенитов; 5 – главные разломы и направление смещения; 6 – типы руд: а – окисленные, б – переходные, в – первичные; 7 – скважины на разрезе

песчаниках олонноконской свиты и архейских породах фундамента. Она представляет собой взбросо-надвиговую тектоническую зону чешуйчатого типа, ограниченную двумя надвигами – Верхним и Нижним. В северной и центральной частях месторождения они пологие, субгоризонтальные, часто согласные со слоистостью. В южной части они круто погружаются в южном направлении под углом более 45° и, рассекая слоистость осадочной толщи, проникают в породы архейского фундамента, составляя корневую часть надвига.

Тектоническая пластина, ограниченная Верхним и Нижним надвигами, составляет тело Гроссовского надвига. Внутреннее строение его сложное. Здесь развиты взбросы второго порядка со сместителями, меняющими своё положение от пологих, согласных со слоистостью до круто залегающих, секущих слоистость. Структуры второго порядка не выходят за пределы ограничивающих надвигов. Вдоль плоскостей сместителей взбросов песчаники значительно тектонически переработаны – слои подвёрнуты в соответствии с перемещениями блоков, образуя флексуры, наблюдается интенсивная трещиноватость различных направлений. Флексурные перегибы слоёв (углы падения слоистости 45° – 90°), трасирующие разломы, расположены кулисообразно друг относительно друга, их границы имеют в разрезе линзообразную форму. Они имеют значительную протяжённость (до 700 м) и мощность (до 300 м).

Непосредственно вдоль плоскости сместителя как надвигов, так и взбросов породы бывают брекчироваными, либо милонитизированными. Здесь первичная слоистость песчаников полностью теряется. Мощность зон брекчирования и милонитизации составляет от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Границы флексур довольно уверенно устанавливаются при документации и фотодокументации керн вертикальных скважин. Угол ненарушенной слоистости по отношению к оси керн составляет 80° – 70° , а в областях, нарушенных флексурами, он уменьшается до 45° – 0° вплоть до расположения слоистости вдоль оси керн. Такие крутозалегающие участки, отмеченные в каждой отдельной скважине, увязываются с соседними скважинами на геологических разрезах во флексурные зоны. Флексуры имеют рудовмещающее значение. К ним и прилегающим областям приурочены наиболее мощные рудные интервалы.

В пределах тела надвига можно выделить три части: северную, центральную и южную. Северная передовая (фронтальная или лобовая) часть надвига расположена в области выхода зоны на дневную поверхность. Здесь преобладают крутопадающие и субгоризонтальные взбросы, развиты подвороты слоёв вплоть до вертикальных, а возможно, и опрокинутых, не исключено наличие лежащих складок. Это наиболее деформированная часть структуры.

В центральной части ближе к кровле выделяется относительно спокойная область – область послонных надвигов, а ближе к основанию – зона крутой слоистости, приуроченная к Нижнему надвигу.

Южная часть – это область погружения надвигов и перехода к корню надвига, расположенному в архейском фундаменте. Так же как и в северной части здесь отмечаются значительные тектонические деформации и флексуобразные изгибы слоёв.

По смещению границы песчаников и фундамента, а также силла сиенитов установлено, что среднее вертикальное перемещение по Гроссовской взбросо-надвиговой зоне составляет 350–450 м, при этом горизонтальная амплитуда перемещений составляет 600–800 м, истинная – до 1000 м.

Рудоконтролирующая структура месторождения Таборное также представляет собой взбросо-надвиг и сопряжённую с ним прямую субширотную флексуру. Главная рудная зона Таборнинского разлома мощностью от 60 до 200 м и протяжённостью до 450 м на поверхности падает на юг под углом 55° – 70° , выполаживаясь на глубине до 45° – 30° . В приразломной зоне отмечается резкий флексурный перегиб слоёв вплоть до срыва по взбросу, где породы имеют субвертикальные до опрокинутых залегания. Амплитуда взброса варьирует предположительно от 35 до 140 м.

Крутой взброс сопровождается серией мало-мощных и малоамплитудных сопряжённых зон пологозалегающих надвигов, что придаёт ему чешуйчатую внутреннюю структуру.

Многочисленные рудные тела главной рудной зоны локализованы в участках разуплотнения, сформированных при взбросо-надвиговых перемещениях. Они падают на юг-юго-восток под углом 45° – 30° , совпадая с наклоном осевой линии рудовмещающей флексуры.

По результатам аэро-гамма-спектрометрической съёмки (АГСМ) было установлено, что зоны

рудоконтролирующих разломов месторождений Гросс, Таборное и др. рудопоявлений чётко маркируются интенсивными аномалиями К (от 3–6 до 9%) и слабыми аномалиями U ($2,5\text{--}3,2 \times 10^{-4}\%$) и Th ($10\text{--}13 \times 10^{-4}\%$).

Магнитное поле рудной зоны месторождения Гросс спокойное, а месторождения Таборное характеризуется минимумом ΔT .

Оруденение. Все месторождения и проявления «угуйского» типа локализованы в полях распространения калиевых метасоматитов как в Угуйском грабене, так и за его пределами. Главным промышленным минералом на месторождениях этого типа является самородное золото.

Золотое оруденение на месторождении Гросс (2) изучено до глубины 950 м. Рудная зона в целом очень чётко выделяется на поверхности относительно вмещающих красноцветных песчаников по характерной буровато-жёлтой окраске. На стадии поисков она также отчётливо фиксировалась радиометрической съёмкой по радиоактивности, в 2–3 раза превышающей фон, составляющий 6–10 мкр/час. Однако внешне руда с промышленными содержаниями золота неотличима от некондиционных окисленных метасоматитов с содержанием золота 0,0–0,19 г/т. Границы промышленных руд определяются только опробованием и, по утверждённым для месторождения постоянным кондициям, оконтурены по бортовому содержанию 0,4 г/т для балансовых руд и 0,2–0,4 г/т для забалансовых. При изучении месторождения было проведено технологическое картирование, состоящее из фазового минералогического анализа руды (28 технологических проб) и прямого технологического картирования руды методом лабораторных бутл-тестов, моделирующих кучное выщелачивание (около 2 тыс. бутл-тестов). Было установлено, что руда представлена тремя типами: окисленными, переходными и первичными рудами с очень простым минеральным составом (рис. 7).

Окисленные руды занимают 82% от всех промышленных запасов. Они расположены в линейной коре выветривания неполного профиля, имеют мощность от 350 до 500 м и прослежены до глубины 350–500 м. Окисленные руды сложены буровато-жёлтыми лимонитизированными и разуплотнёнными породами, развитыми по первичным золотоносным метасоматитам по аркозовым песчаникам. В них отмечаются редкие тонкие (до 1 мм) кварцевые прожилки с включениями флюорита, барита и карбоната. Рудные минералы



Рис. 7. Типы руд месторождения Гросс, сверху вниз: окисленные, переходные, первичные:

красные цифры – содержания золота в керновых пробах, г/т

представлены равномерно рассеянной по всему объёму породы вкрапленностью гетита, гидрогетита, ярозита, представляющими собой псевдоморфозы по пириту. Редко встречаются неокисленные зёрна пирита и очень редко арсенопирита, халькопирита, галенита, пирротина, марказита, халькозина, борнита, акантита, золота самородного. Размер зёрен золота в среднем не превышает 100 мкм, проба составляет 826–895%. Серебро находится в виде примеси в золоте (12–17%), пирите, редко в собственных минералах серебра: канфильдите, гессите, петците, аргентите. Отношение средних содержаний Au/Ag=1/4.

Промышленные запасы золота, оконтуренные по бортовому содержанию 0,4 г/т, имеют среднее содержание золота 0,79 г/т в балансовых рудах и 0,33 г/т в забалансовых, оконтуренных по бортовому содержанию 0,2–0,4 г/т.

Технологические свойства руд: а) высокая (82–92%) извлекаемость золота при кучном выщелачивании; б) аномально высокая динамика процесса выщелачивания за счёт высокой пористости до 13% и проницаемости до 32 м/сутки,

максимум извлечения достигается всего за 14 дней; в) отсутствие вредных для технологии КВ примесей – $S_{\text{орг}}$, глин, вредных металлов. При этом руда не требует агломерации, что даёт возможность без дополнительных затрат рентабельно извлекать золото с содержаниями от 0,3 г/т и размерностью куска от 40 до 170 мм.

Переходные руды отмечаются на глубине от 350 до 400 м и представляют собой неполностью окисленные первичные руды. Фрагменты первичных руд располагаются в них в виде жил, линз, пятен тёмно-серого цвета различной формы. По своим свойствам (химическим, физическим, технологическим), минеральному составу, они занимают промежуточную позицию между окисленными и первичными рудами. Среднее содержание золота в них – 0,79 г/т. Извлекаемость золота цианированием в среднем составляет 65%.

Первичные руды установлены скважинами на глубине свыше 400–500 м и уходят в зоне надвига на глубину более 900 м, проникая в породы архея. Они представлены тёмно-серыми изменёнными породами с редкими наложенными линзами и прожилками кварц-карбонат-барит-флюоритового состава. Основным сульфидным минералом первичных руд является равномерно рассеянный тонко- и микрозернистый золотоносный пирит – до 1%. Среднее содержание золота в первичных рудах составляет 0,91 г/т. Извлекаемость золота цианированием составляет 25%.

В отдельных структурных скважинах, пробуренных до глубины 950 м, установлено, что первичные руды с таким же уровнем содержаний проникают в породы архея. Этот факт означает, что не только осадочные породы рифея, как считалось ранее, но и архейские метаморфические и магматические породы могут быть перспективными для обнаружения месторождений, подобных Таборному и Гроссу, при наличии соответствующей благоприятной тектонической обстановки. Данное утверждение блестяще подтвердилось на рудопроявлении Аномалия-13, где архейские породы в зоне надвига были выведены на поверхность.

Первичные руды принадлежат золотосульфидной формации с убогим содержанием сульфидов, представленных практически одним минералом-носителем золота – пиритом.

Геохимическая характеристика месторождения Гросс, выполненная по одному из буровых профилей методом ICP на 37 элементов с разложением в четырёх кислотах (7444 проб), показыва-

ла, что по первичным ореолам рудные зоны характеризуются значительным привносом К, Au, Ag, As, V и выносом Ca, Na, Mg, Zr. Вторичные ореолы рассеяния фиксируют рудные зоны аномалиями Au, Ag, As.

Месторождение Таборное (1) по своему геологическому и тектоническому строению, вещественному составу метасоматитов и руд, технологическим свойствам руд, является практически аналогичным месторождению Гросс. Объектом эксплуатации являются окисленные руды, развитые в линейной коре выветривания по зоне Таборнинского взбросо-надвига до глубины 300–350 м от дневной поверхности. Здесь первичные серые калиевые метасоматиты и руды по аркозовым песчаникам подвержены разуплотнению, лимонитизации и пелитизации. Пористость окисленных пород варьирует от 16,65 до 37,13%.

Золото в рудах отмечалось в виде изометричных кристаллов, дендритовидных, комковато-угловатых и пластинчатых микронных выделений, редко в виде зёрен размером от 0,05 до 0,1 мм и микросамородков размером 1 мм. Кристаллы золота кубоктаэдрической и дендрито-комковидной формы, отмечаются сростки золота с кварцем и полевым шпатом.

Уровень содержаний золота такой же, как и на месторождении Гросс. В золоте присутствует примесь серебра от 11,6 до 19,8%, которое извлекается при аффинаже. Отношение средних содержаний $Au/Ag=1/1$. Проба золота варьирует от 700 до 799, составляя в среднем 777‰.

Рудные тела с содержанием золота 0,4 г/т и более представляют собой крупные линзы и ленты мощностью от 5 м до 45 м и общей протяжённостью по простиранию 200–430 м. По падению рудные тела прослежены на 200–250 м, на глубину не оконтурены. Мощность рудных тел довольно выдержана по падению. Границы рудных тел устанавливаются только опробованием.

В первичных рудах основным минералом-концентратом золота является пирит, который в процессе гипергенеза был замещён лимонитом с образованием полных псевдоморфоз, при этом золото, находящееся в пирите в дисперсной форме, высвобождалось в самородном виде.

Для технологических свойств руды характерна: а) высокая (75–92%) извлекаемость Au при кучном выщелачивании; б) аномально высокая динамика процесса выщелачивания за счёт высокой пористости 16–37% и проницаемости до 30–50 м/сут., максимум извлечения достигается всего

за 10 дней; в) отсутствие вредных для технологии КВ примесей – $C_{орг}$, глин, мышьяка и других металлов.

Вблизи от месторождения Таборное (см. рис. 2) выявлены несколько мелких сателлитных месторождений – Тёмное (3) и Высокое (4), имеющих аналогичное Таборному геологическое строение, состав и качество руд. Месторождение Тёмное передано в эксплуатацию, Высокое находится на стадии подготовки к эксплуатации.

Кроме объектов, приуроченных к терригенным отложениям Угуйского грабена, к западу от него обнаружены два рудопоявления в гранито-гнейсах фундамента – Аномалия-13 (5) и Токкинское (6). Зона калиевых метасоматитов здесь сформирована в глубоких, возможно, корневых областях надвига, выведенного на поверхность Токкинским взбросом. Она имеет значительные параметры – протяжённость около 8 км, мощность до 500 м, падение на юг-юго-восток под углом от 0 до 20°. Геофизические, геохимические особенности зоны те же, что и на описанных выше месторождениях. Руды также аналогичны.

Рудопоявление Аномалия-13 приурочено к поздне-архейским метаморфизованным породам фундамента – гранитам, гранито-гнейсам. Протяжённость изученной части рудной зоны по простиранию составляет 1100 м, по падению – от 300 до 600 м. Падение 20° на юг-юго-восток. Вертикальная мощность превышает 150 м, мощности отдельных рудных интервалов достигают 30–40 м при среднем содержании золота 0,8–1,0 г/т. Несмотря на то, что основой метасоматических руд на проявлении являются не песчаники, а граниты и гранито-гнейсы, они по качеству и технологическим свойствам аналогичны рудам месторождений Таборное и Гросс. Извлечение золота по технологии кучного выщелачивания составляет 88% для крупности –40 мм и 81% для крупности –100 мм. Прогнозные ресурсы категории P_1 оцениваются в 30 т золота.

На рудопоявлении Токкинское мощности рудных тел варьируют от 1,5 до 10 м, протяжённость рудных тел по простиранию составляет первые сотни метров, по падению – от 70 до 220 м. Степень изученности рудопоявления Токкинское позволила оценить его по категории P_1 в количестве 2,6 т золота со средним содержанием 0,99 г/т.

В заключение следует отметить, что за последние два десятилетия в юго-западной Якутии в пределах Угуйского грабена выявлена и разв

дана серия золоторудных месторождений – Таборное, Гросс, Тёмное, Высокое с суммарными защищёнными запасами более 330 т золота и прогнозными ресурсами категории P_1 более 300 т. Самое крупное и наиболее изученное – месторождение Гросс с геологическими запасами золота 265 т, открытое и разведанное Ю.А.Зубковым и др. в течение 2008–2014 гг.

По геологическому строению, вещественному составу и технологическим свойствам руд данные месторождения не имеют полных аналогов в мире [1, 2], в связи с чем выделяются как новый «угуйский» геолого-промышленный тип большеобъёмной золоторудной минерализации с невысокими содержаниями металла.

Руды «угуйского» типа приурочены к зонам чешуйчатых взбросо-надвигов мезозойского возраста, в которых породы катаклазированы, милонитизированы, подвержены калиевому метасоматозу и насыщены тонкой равномерно рассеянной вкрапленностью золотоносного пирита. Мощность оруденелых участков варьирует от 200 до 500 м, протяжённость достигает 2,2 км. Среднее содержание золота, установленное в первичных, переходных и окисленных рудах, составляет 0,7–0,9 г/т.

Характерная особенность месторождений «угуйского» типа заключается в том, что в мощных зонах взбросо-надвигов по метасоматически изменённым пиритизированным породам, предположительно в палеоген-неогеновое время [5], сформировалась линейная кора выветривания неполного профиля, проникающая на глубину до 500 м. Именно в коре выветривания большеобъёмные убогие руды с содержанием золота 0,7–0,9 г/т были преобразованы в промышленные руды, уникальные по своим технологическим свойствам.

Запасы месторождений оконтурены по бортовому содержанию 0,4 г/т для балансовых руд со средним содержанием золота 0,79 г/т, для забалансовых руд принято бортовое содержание 0,2–0,4 г/т при среднем содержании золота 0,33 г/т.

Основная часть руд (82%) представлена одним промышленным типом, уникальным по размерам и технологическим свойствам, – окисленными рудами. Они расположены в многолетнемёрзлых породах, разуплотнены, но не дезинтегрированы, пористость пород в зоне окисления достигает 15–37%, глинистые минералы и другие вредные примеси практически отсутствуют. Извлечение золота методом кучного выщелачивания

на месторождениях Таборное, Гросс и других достигает 82–92%. При этом руда не требует агломерации, что даёт возможность без дополнительных затрат рентабельно извлекать золото с содержаниями от 0,3 г/т и размерностью куска от 40 до 170 мм.

Открытие перспективных рудопроявлений в породах кристаллического фундамента позволило переосмыслить возможность обнаружения месторождений «угуйского» типа вне пород осадочного чехла, то есть вне грабенов, что ранее считалось обязательным условием для их формирования. Поэтому, по-новому проанализировав геологическую ситуацию здесь, можно обнаружить новые золоторудные объекты, подобные месторождениям Гросс и Таборное, и в других районах.

Первоочередными объектами поисков вблизи описанной территории можно считать Кондинский взбросо-надвиг и серию сопровождающих его надвигов к югу от Угуйского грабена, где в породах фундамента возможно обнаружение щелочных магматических образований Алданского комплекса, калиевых метасоматитов и палеоген-неогеновых линейных кор выветривания. Объектами второй очереди должны стать западные ветви регионального Южно-Якутского надвига в районах проявления мезозойского щелочного магматизма.

При поисках подобных золоторудных объектов следует учесть, что большинство рудных тел месторождений и проявлений «угуйского» типа не выходят на дневную поверхность, по внешне-

му виду руды маловыразительны и часто неотличимы от пустых пород, поэтому особое внимание следует обратить на повышенную радиоактивность пород калиевой природы, хорошо фиксируемую методом АГСМ, и геохимические аномалии К, Au, Ag, As, V по вторичным ореолам рассеяния, чётко оконтуривающие золоторудные объекты «угуйского» типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Константинов М.М.* Золоторудные провинции мира. – М.: Научный мир, 2006.
2. *Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф.* Золоторудные гиганты России и мира. – М.: Научный мир, 2000.
3. *Коржинский Д.С.* Основы метасоматизма и метамагматизма. Избранные труды. – М.: Наука, 1993.
4. *Миронюк Е.П.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 Лист О-50, (51). Алдан. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.
5. *Нестеров Н.В.* Гипергенное обогащение золоторудных месторождений Северо-Востока Азии. – Новосибирск: Наука, 1985.
6. *Омельяненко Б.И.* Околорудные гидротермальные изменения пород. – М.: Недра, 1978.
7. *Плющев Е.В., Ушкков О.П., Шатов В.В., Беляев Г.М.* Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. – Л.: Недра, 1981.

REFERENCES

1. *Konstantinov M.M.* Zolotorudnye provintsii mira [Gold mining provinces of the world]. Moscow, Nauchnyi mir publ., 2006.
2. *Konstantinov M.M., Nekrasov E.M., Sidorov A.A., Struzhkov S.F.* Zolotorudnye giganty Rossii i mira [Gold mining giants of Russia and the world]. Moscow, Nauchnyi mir publ., 2000.
3. *Korzhinskii D.S.* Osnovy metasomatizma i metamagmatizma. Izbrannye trudy [Fundamentals of metasomatism and metamagmatism. Selected works]. Moscow, Nauka publ., 1993.
4. *Mironyuk E.P.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 List O-50, (51) [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 Sheet O-50, (51)] Aldan. Saint-Petersburg VSEGEI publ., 1998.
5. *Nesterov N.V.* Gipergennoe obogashchenie zolotorudnykh mestorozhdenii Severo-Vostoka Azii [Hypergenic enrichment of gold deposits in North-East Asia]. Novosibirsk, Nauka publ., 1985.
6. *Omel'yanenko B.I.* Okolorudnye gidrotermal'nye izmeneniya porod [Near-ore hydrothermal changes in rocks]. Moscow, Nedra publ., 1978.
7. *Plyushchev E.V., Ushkkov O.P., Shatov V.V., Belyaev G.M.* Metodika izucheniya gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy [The methodology for the study of hydrothermal-metasomatic formations]. Leningrad, Nedra publ., 1981.

Требования к оформлению рисунков

Рисунки и другие графические материалы (не более 8) представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170x237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.