

УДК 553.41. : 553.21/24

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ РУДОФОРМИРУЮЩЕЙ РОЛИ СИЛЛА ДАЦИТА НА ПОКРОВСКОМ ЭПИТЕРМАЛЬНОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПРИАМУРЬЯ

Остапенко Н.С., Нерода О.Н.

*ФГБУН «Институт геологии и природопользования» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Благовещенск, e-mail: ostapenko\_ns@mail.ru*

Исследованы особенности формирования и локализации рудных тел Покровского золоторудного месторождения и их вероятные генетические связи с субвулканическим силлом дацитов. Установлены признаки более тесных связей рудных тел месторождения с субвулканическим силлом, нежели парагенетическая, обосновываемая предшественниками. Проведены лабораторные эксперименты, моделирующие внедрение силла в экранированную гидротермальную систему и его тепловое воздействие на флюид. Исследованы особенности конвекции флюида в гидротермальной системе в тепловом поле модели силла. Установлены: длительная сохранность структуры конвекции флюида относительно участка доминирующего поднятия поверхности силла во времени от момента внедрения расплава и кристаллизации до остывания магматического тела; корреляция размещения богатых золотом участков над ним с зонами смешивания относительно охлажденных фланговых вод с нагретыми силлом водами по периферии купола. По этим и другим признакам сделан вывод о синрудности и реальной рудоформирующей роли магматического силла на этом месторождении. Отмечена важность факта установления конкретных признаков рудоформирующей роли малых интрузий для локального прогноза новых магматогенно-гидротермальных рудных объектов как в Приамурье, так и в других регионах в аналогичных геологических обстановках.

**Ключевые слова:** месторождения золота, синрудные малые интрузии, плотностная конвекция гидротерм, особенности локализации рудных тел

## EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF DACITE SILL'S ORE FORMING ROLE ON POKROVSKOYE EPITHERMAL GOLD-ORE DEPOSIT OF PRIAMURYE

Ostapenko N.S., Neroda O.N.

*Institute of Geology and Natural Management of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Blagoveschensk, e-mail: ostapenko\_ns@mail.ru*

Formation and localization features of Pokrovskoye gold ore deposit's ore bodies and its possible genetic relations with subvolcanic dacite sill had been investigated. It was determined more close relations of deposit's ore bodies with subvolcanic dacite's sill, instead of paragenetic proved by previous investigators. Laboratory experiments took place, it had simulated sill' intrusion to shielded hydrothermal system and its thermal action to fluid. Convection features of model fluid in hydrothermal system in sill' thermal field had been investigated. It was determined: prolonged safety of fluid convection' structure relative to part of predominant sill surface' raising in time from melt intrusion moment and crystallization to cooling of magmatic body; correlation of gold-riched section localization above it with mixture zones relatively to cooled flank waters with heated by sill waters at dome periphery. At these and others characteristics there was conclusion about syn-ore and real ore forming magmatic sill's role on this deposit. It had been marked the fact importance of small intrusions ore-forming role specific features' ascertainment for local forecast of new magmatic-hydrothermal ore objects both in Priamurye and other regions in similar geological conditions.

**Keywords:** gold deposits, small syn-ore magmatic bodies, density convection of hydrotherms, features of ore bodies' location

Золоторудное месторождение Покровское размещается на северной окраине Амурского микроконтинета (координаты: 53°09' с.ш., 126°18' в.д.) в зоне коллизии Северо-Азиатского и Сино-Корейского кратонов. Оно локализовано на стыке раннемелового Сергеевского гранитоидного плутона верхнеамурского интрузивного комплекса и Тыгда-Улунгинской вулкано-тектонической структуры (ВТС) раннего мела на западном фланге Умлекано-Огоджинского вулканоплутонового пояса. Расположено оно в основном в гранитоидах цокля ВТС под вулканитами в прижерловой части

палеовулкана [2, 3, 5]. Рудное поле имеет размеры около 20 км<sup>2</sup>. Рудные тела в нем установлены на трех участках, но наиболее крупные из них компактно размещаются на Центральном участке в гранитоидном куполе указанного интрузива северо-западнее жерла палеовулкана (рис. 1).

Жильно-прожилковая минерализация сформировалась в 4–5 стадий и относится к убогосульфидной золото-кварцевой формации. В разрезе месторождения рудные тела находятся выше субвулканического силла дацита сложной морфологии лакколитообразной формы переменной мощно-

сти (1–65 м). Он имеет куполовидное поднятие поверхности на Центральном участке и гребневидное доминирующее поднятие на северо-восточном фланге. Считается, что это инъективное тело подчеркивает положение и строение рудоконтролирующего купола Сергеевской гранитоидной интрузии [5]. По другой версии силл размещается в зоне рудоконтролирующего пологого надвига [1]. По обеим версиям он является дорудным и играет рудоконтролирующую роль в качестве нижнего экрана.

го тела. На основании изложенного считается, что это магматическое тело, внедрившееся по пологому межформационному срыву [5] или надвигу [1], является дорудным и выполняет рудоконтролирующую роль, а связь золотого оруденения с силлом парагенетическая.

Однако ряд признаков, установленных нами и отмечаемых другими исследователями, позволили нам предположить более тесную связь оруденения с этим малым магматическим телом, а именно

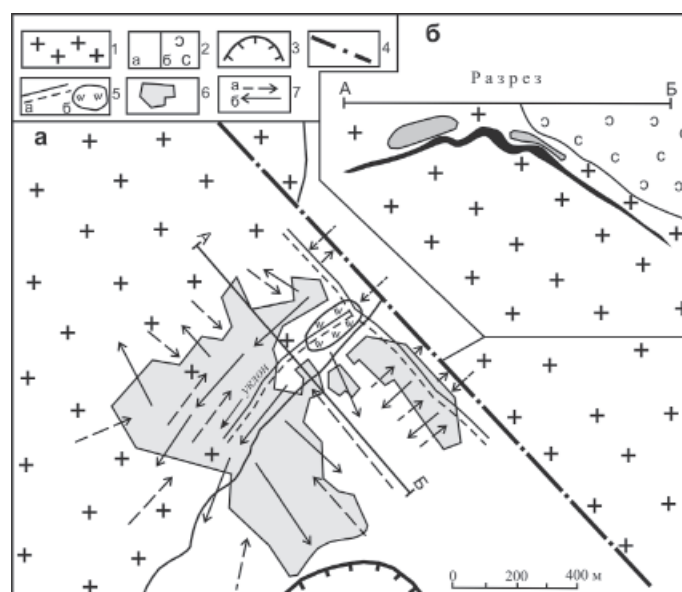


Рис. 1. Схема геологического строения Центрального участка Покровского месторождения (а – план, б – разрез) с предполагаемой конвекцией флюидов в связи с купольным поднятием поверхности силла дацита:

- 1 – гранитоиды; 2 – остаточные вулканиты экрана в плане (а) и на разрезе (б); 3 – жерловина вулкана; 4 – Сергеевский сброс; 5 – оси гребневидных поднятий силла дацита (а) и выход его купола на поверхность (б); 6 – контуры промышленных золоторудных тел в проекции на поверхность и в разрезе; 7 – вероятные направления конвективного движения флюида: приток охлажденных флюидов (а) и отток флюидов, нагретых силлом дацита (б)

К настоящему времени покровные вулканиты значительно эродированы. Их небольшие остаточные поля сохранились на отдельных участках севернее, восточнее, южнее и юго-восточнее жерла палеовулкана. Все выявленные рудные залежи приурочены к пологозалегающей тектонической гранитной пластине переменной мощности (10–160 м), отделенной от остальной части гранитоидного купола пологим субвулканическим силлом дацита. Примечательно, что все жильно-прожилковое оруденение размещается выше кровли этого инъективного магматическо-

рудоформирующую, и считать силл дацитов синрудным. Главные из этих признаков следующие:

- отсутствие на месторождении наложенного богатого оруденения на силл, на его апофизы и на гранитоиды ниже силла;
- отсутствие богатого золотого оруденения непосредственно над купольной частью силла [1, 4];
- размещение рудных тел исключительно над силлом, а именно в тесной пространственной связи с зонами перехода его участков обычной мощности к вышележащим раздувам [3].

### Рабочая гипотеза и решаемые задачи

Суть выдвинутой рабочей гипотезы состоит в том, что внедрившийся силл (расплав) в околожерловую экранированную вулканитами положительную структуру, трещинно-поровое пространство которой к тому времени уже было заполнено флюидами, оказал двойное воздействие на прилегающие породы и флюиды. Под напором внедрившегося расплава произошли дополнительные деформации пород с подновлением систем существовавших нарушений и появлением дополнительных разрывов. Вследствие этого значительно увеличилась пористость и проницаемость брекчированных пород. Дополнительный нагрев флюидов экранированной гидротермальной рудообразующей системы (ЭРГС) активизировал их плотностную динамику в градиентном температурном поле, что существенно повлияло на рудоотложение. В лабораторных экспериментах, моделирующих этот процесс, ставилась задача проследить зарождение, развитие и деградацию конвективной динамики флюида в ЭРГС месторождения и соотнести с ее структурой реальное положение обогащенных золотом участков месторождения, выявленных по результатам разведки, и сделать обоснованные генетические выводы.

### Материалы и методы исследования

Исследования производились на оригинальной, специально сконструированной лабораторной установке с встроенной моделью силла по выбранному разведочному буровому профилю через центральную часть месторождения с установленным размещением выявленных промышленных тел (рис. 2).

Двухсекционный сосуд (1); штуцеры: впускной (2) и выпускные (3) для теплоносителя и штуцеры для выпуска воздуха (4); пятиугольниками показаны места размещения кристаллов цветового индикатора для визуализации потоков «флюида». Римскими цифрами пронумерованы конвективные ячейки (индексом отмечены локальные неустойчивые).

Заштрихованы основные зоны смешения нагретого и частично охлажденного опускающегося «флюида».

Установка состоит из двухсекционного сосуда, изготовленного из прозрачного органического стекла. Ее размеры составляют 80×400×400 мм. По вертикали сосуд герметично разделен на две части медной пластиной толщиной 1 мм. Она копирует форму силла в поперечном сечении и является его моделью. Верхняя часть сосуда служила для размещения воды, выполнявшей роль трещинно-порового флюида в надсилловом пространстве; нижняя – для размещения нагревателя медной пластины (модели силла) до заданной температуры. Нагрев модели проводился путем подачи из специальной емкости в нижнюю часть установки нагретой до определенной температуры воды в проточном режиме. Установка позволяет создавать перепад температур между «флюидом» (холодная вода) и «нагретым силлом» от нескольких десятков до 1 градуса и наблюдать через прозрачные стенки процесс зарождения, перестройки, стабилизации и деградации конвекции флюида. Для визуализации потоков «флюида» использовался цветовой индикатор – кристаллы  $KMnO_4$ , помещаемые в нужные точки модели силла (прогибы, склоны, гребни) или в виде капель концентрированного раствора этого вещества, подаваемых в нужные точки движущейся жидкости в объеме верхнего сосуда. Развитие конвекции жидкости фиксировалось видеокамерой. Температуры модели и флюида контролировались ртутным и электронным термометрами, а общая структура температурного поля периодически фиксировалась тепловизором Flir-3. Роль породного экрана в экспериментах выполнял «надфлюидный» слой воздуха в верхнем сосуде. Эксперимент завершался совместным анализом всей информации.



Рис. 2. Движение «флюида» над моделью внедрившегося в ЭРГС магматического силла на этапе установившейся конвекции при перепадах температур на границе «силл – флюид» 30–20°C

В серии экспериментов с варьированием перепадов исходных температур «флюид/нагреватель модели» были изучены: динамика потоков, перестройка конвективной системы во времени, влияния фрагментов сложной поверхности силла (прогибы и поднятия его поверхности и главного гребня) на движение подогретой жидкости; структура упорядоченного движения, направления и относительные скорости движения потоков при различных перепадах температур, размещение зон дивергенции, конвергенции и смешения потоков.

### Результаты исследования и их обсуждение

Движение жидкости над моделью силла возникает с момента начала нагрева медной пластины, означающего внедрение расплава. Сразу же возникают вертикальные струи подкрашенной воды. Очень быстро такая кратковременная простая упорядоченность преобразуется в сложную картину. Вертикальные потоки остаются над всеми возвышенными участками поверхности, а от центров прогнутых участков потоки наклоняются в сторону соседних возвышающихся. Затем они выполаживаются и приобретают параллельное склонам движение и достигают их гребней. Через некоторое время жидкость в системе, в том числе и над невысокими боковыми гребнями, приобретает упорядоченное общее движение в сторону доминирующего поднятия. Над ним формируется основной восходящий поток с повышенной скоростью движения. Здесь воды наиболее нагреты. В верхней части этого потока вблизи «экрана» формируется зона дивергенции – поток разделяется и движется к флангам модели силла, где происходят погружения обеих ветвей. Здесь скорости движения потоков снижаются. Опустившийся над флангом поток разворачивается в сторону доминирующего поднятия поверхности силла и включается в рециклинг. При этом нижняя часть потока нагревается силлом. Над фланговыми отрезками модели происходит конвергенция потоков с последующим турбулентным перемешиванием погружающихся относительно охлажденных вод с подогретыми водами над промежуточным отрезком силла. Ближе к основному гребню силла жидкость уже более нагрета, скорость движения потока возрастает, а направление его движения над вершиной переходит в вертикальное. При постоянной температуре нагрева модели, за счет тепломассопереноса и разогрева конвективно перемешивающейся жидкости, перепад температур в системе «модель – флюид» постепенно снижается. При этом скорость движения потоков так же уменьшается, а при выравнивании температур на границе «силл – флюид» конвекция полностью прекращается.

В специальном эксперименте (кристалл  $KMnO_4$  помещен в крайнем фланговом прогибе) было установлено, что фланговый «флюид» довольно быстро включается в общий цикл движения и вскоре достигает (по характерной окраске) доминирующего поднятия модели силла. Это означает, что в формировании каждого рудного тела месторождения участвует весь флюид соответствующего фланга ЭРГС относительно доминирующего гребня (купола).

Несомненно, аналогично наблюдаемому в эксперименте конвектировал и трещинно-поровый флюид при внедрении в породы месторождения реального силла. На основании сделанных в экспериментах на модели силла наблюдений за движением флюидов и анализа реальной геологической ситуации по приведенному разрезу нам удалось приблизиться к разгадке выше отмеченных особенностей размещения рудных тел на Центральном участке Покровского месторождения, а также на других участках, и сделать следующие обоснованные выводы.

1. Все обогащенные золотом рудные тела размещаются над субвулканическим силлом дацита в промежуточных зонах между его фланговыми участками и доминирующим гребневидным поднятием (рис. 1 и 2). На этих отрезках (рис. 2) длительное время существовали условия для смешивания опускающихся относительно охлажденных флюидов с подогреваемыми силлом и господствовали промежуточные температуры. При прохождении потоками зон брекчирования, повышенной трещиноватости пород и открытых полостей, давления флюида в таких наиболее проницаемых участках резко снижались, вызывая их гетерогенизацию, снижение температуры, пересыщение растворенными компонентами и отложение минералов, в том числе золота. В них формировались жильно-прожилковые зоны и штокверки.

2. Длительное пространственное сохранение установившегося режима конвекции трещинно-порового флюида, с момента внедрения в породы расплава до его полной закристаллизации на участках максимальной мощности формирующегося силла и дальнейшего его остывания до температуры вмещающих пород, обеспечивало телескопированное отложение минеральных парагенезисов всех стадий рудного процесса и накопление в рудах золота.

3. Участки месторождения над удаленными от доминирующего гребня (купола) маломощными флангами силла слабо золотосодержательны по причине отсутствия факторов, приводящих к пересыщениям флюида.



4. Время формирования богатого золотого оруденения на месторождении соответствовало суммарному времени кристаллизации внедрившегося расплава и остывания силла до температуры окружающих пород в ЭРГС, то есть времени существования конвективной системы. На участках рудного поля, где нет сочетания положительных экранированных структур и силла, промышленные концентрации золота разведкой не выявлены.

Из изложенного однозначно следует, что силла дацита на Покровском месторождении несомненно, являлся синрудным, рудоформирующим. Изложенные результаты исследования процесса рудообразования важны в генетическом плане и должны учитываться при прогнозировании новых рудных объектов на территориях Приамурья и других регионов со сходной геологической обстановкой и проявлениями минерализации аналогичных гидротермальных рудных формаций.

*Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН 12-III-A-08-183.*

#### Список литературы

1. Дементенко А.И. Геолого-структурные и геохимические особенности золотого оруденения, петрохимия рудосносных комплексов Покровского месторождения: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – Благовещенск, 1997. – 24 с.
2. Власов Н.Г., Дмитренко В.О., Капанин В.П. и др. Приамурская золоторудная провинция // Золоторудные месторождения России / отв. ред. М.М. Константинов. – М., 2010. – С. 187–212.
3. Остапенко Н.С., Нерода О.Н. К обоснованию рудоформирующей роли силла дацитов на Покровском золоторудном месторождении // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: тезисы докл. Второй Всерос. науч. конф. (Благовещенск, 15–16 окт. 2012 г.). – Благовещенск 2012. – С. 117–120.
4. Остапенко Н.С., Нерода О.Н., Сафронов П.П. Геологические условия, факторы формирования и особенности минералогии руд Покровского золото-серебряного месторождения (Приамурье) // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32, № 5. – С. 19–34.
5. Хомич В.Г., Борискина Н.Г. Инъективные структуры и золото-серебряное оруденение покровского рудного поля (Приамурье) // Геология рудных месторождений. – 2003. – Т. 45, № 1. – С. 24–42.

#### References

1. Dementienko A.I. Geologo-strukturnye i geohimicheskie osobennosti zolotogo orudnenija, petrohimiya rudosnosnyh kompleksov Pokrovskogo mestorozhdenija: Avtooref. dis. kand. geol.-min. nauk. Blagoveshensk, 1997. 24 p.
2. Vlasov N.G., Dmitrenko V.O., Kapanin V.P. i dr. Priamurskaja zolotorudnaja provincija // Zolotorudnye mestorozhdenija Rossii. Otv. red. M.M. Konstantinov. Moskva, 2010. pp. 187–212.
3. Ostapenko N.S., Neroda O.N. K obosnovaniju rudoformirujushhej roli silly dacitov na Pokrovskom zolotorudnom mestorozhdenii // Voprosy geologii i kompleksnogo osvoenija prirodnyh resursov Vostochnoj Azii: tezisy dokl. Vtoroj Vseros. nauch. konf. (Blagoveshensk, 15–16 okt. 2012 g). Blagoveshensk 2012. pp. 117–120.
4. Ostapenko N.S., Neroda O.N., Safronov P.P. Geologicheskie uslovija, faktory formirovanija i osobennosti mineralogii rud Pokrovskogo zloto-serebrjanogo mestorozhdenija (Priamure) // Tihookeanskaja geologija. 2013. T. 32, no. 5. pp. 19–34.
5. Homich V.G., Boriskina N.G. Inektivnye struktury i zloto-serebrjanoe orudeneie pokrovskogo rudnogo polja (Priamure) // Geologija rudnyh mestorozhdenij. 2003. T. 45, no. 1. pp. 24–42.

#### Рецензенты:

Сорокин А.П., д.г.-м.н., профессор, председатель, ФГБУН «Амурский научный центр» Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Благовещенск;

Стриха В.Е., д.г.-м.н., профессор, кафедра геологии и природопользования, ФГБОУ ВПО «Амурский государственный университет», г. Благовещенск.