

УДК 553.495:553.2+551.3+551.2

Наумов Г.Б. (Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН)**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭКЗОГЕННЫХ И ЭНДОГЕННЫХ ФАКТОРОВ УРАНОВОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ**

*Задача совершенствования подходов к прогнозированию урановых месторождений показывает, что жесткое деление факторов рудообразования на эндо- и экзогенные затрудняет анализ процессов, предшествующих моменту формирования рудных тел, но игравших существенную роль в событиях, приведших в дальнейшем к образованию рудных скоплений. Приведены примеры месторождений структурно-стратиграфических несогласий мезозойского и кайнозойского возраста. **Ключевые слова:** рудообразование, урановые месторождения, экзогенные и эндогенные процессы.*

Naumov G.B. (Vernadsky State Geological Museum, RAS)
THE INTERACTION OF EXOGENOUS AND ENDOGENOUS FACTORS OF URANIUM MINERALIZATION

*The task of improving approaches to forecasting uranium deposits is being solve. The division of ore formation factors into endogenous and exogenous factors makes it difficult to analyze the processes preceding the formation of ore bodies. They play a significant role in the events that later led to the formation of ore clusters. Examples of deposits of structural and stratigraphic disagreements of Mesozoic and Cenozoic age are given. **Keywords:** ore formation, uranium deposits, exogenous and endogenous processes.*

Современная практика поисков месторождений полезных ископаемых базируется главным образом на формационном аналоговом подходе, исходящем из опыта изучения рудных полей и месторождений ведущих промышленных типов. Для каждого типа разрабатывался широкий комплекс поисковых критериев и признаков, применение которых в новых регионах сколько-нибудь заметных успехов не приносило из-за индивидуальных особенностей их геологического строения. Это определило целесообразность разработки более целенаправленного генетического подхода к прогнозированию новых урановорудных районов. Такая весьма своевременная задача не исключает и анализ взаимодействия эндогенных и экзогенных факторов, влияющих на формирование геологических обстановок, определяющих возможности образования промышленных рудных скоплений.

Деление рудных месторождений на эндогенные и экзогенные тесно связано с генетическим подходом к их

классификации и стремлением найти каждому формационному типу своего «прародителя». В биологии это оправдано принципом Реди — «все живое от живого» [2]. Но в неживой природе этот принцип не действует. Здесь доминирует примат не родителей, а физико-химических условий образования. Один и тот же минеральный продукт может быть получен из разных исходных веществ и по разным технологиям. И, тем не менее, в неживой природе ничто не остается неизменным. Все меняется (в геологическом масштабе времени) и меняется не хаотически, а сохраняя некоторую направленность. Постепенно вещество земной коры все более и более дифференцируется. Идет не усреднение, а пространственное разделение элементов, минералов, горных пород. Это направленное развитие «представляет другую сторону — другой аспект — эволюционного учения» записал Вернадский в дневнике 9 марта 1920 г. В биологии эволюция отдельных «видов заняла центральное место в этом мировоззрении, привлекла к себе внимание до такой степени, что затемнила другие, не менее, если не более важные, биологические явления» и их влияние на развитие косной природы [3].

А.И. Тугаринов (1963), анализируя причины формирования рудных провинций, показал, что в геологической истории уранового рудообразования эпохам его интенсивного эндогенного формирования предшествовали периоды накопления урана в осадочных породах (рис. 1) и развил эти идеи в более поздних работах [4].

В одной определенной металлогенической провинции могут формироваться рудные скопления разного возраста и разного генетического типа.

В какой-то мере эта идея не только расширяет концепцию Г. Шнейдерхёна (1957) в сторону начала образования рудо-формирующих систем, но и заставляет более внимательно рассматривать взаимодействие внешних и внутренних факторов* формирования рудных скоплений. Но самое главное, она обращает наше внимание на то геологическое пространство, которое вмещает само месторождение и может служить рассредоточенным источником рудных компонентов, вместо того, чтобы искать мифический «рудный очаг» не известно на каком удалении.

Еще Д.С. Коржинский показал, что в земной коре нет футерованных каналов и в каждой термодинамической зоне устанавливаются локальные минеральные равновесия, а перенос компонентов может осуществляться не только фильтрацией, но и посредством диффузии через поровый раствор [5].

Обобщение массивов международных данных по флюидным и расплавленным включениям [8] показало,

* Фактор (лат. *Factor* «делающий, производящий») — причина, движущая сила какого-либо процесса, определяющая его характер или отдельные его черты.

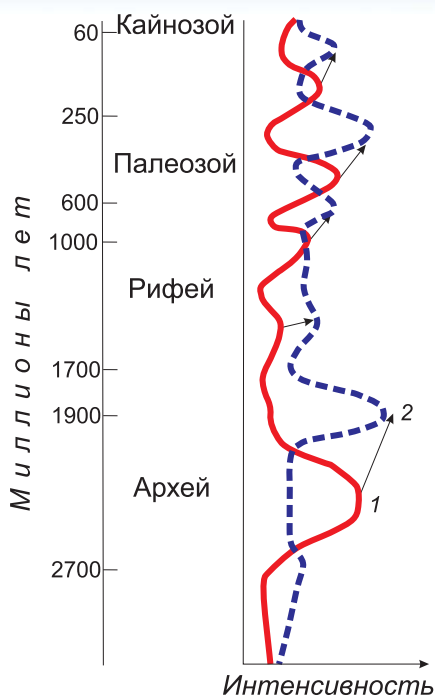


Рис. 1. Интенсивность формирования осадочных (1) и эндогенных (2) ураноносных провинций в истории земли (по А.И. Тугаринову, 1963)

что мантийные породы характеризуются весьма низкими содержаниями компонентов наиболее характерных для гидротермальных растворов (H_2O , Cl , F , CO_2). Все они типичны для земной коры, где совершают «замкнутые круговые процессы». «Эти круговые процессы соответствуют изменениям равновесий химических элементов в разных земных оболочках в течение достаточно продолжительного геологического времени» [2]. Для вод, участвующих в круговых геохимических циклах, Вернадский употребляет термин фреатические (ниже зеркала грунтовых вод), подразделяя их на не выходящие за пределы термодинамической оболочки и участвующие в нескольких термодинамических обстановках. Анализ современных данных по подземным флюидам [9] показывает, что магматические расплавы, остывая в недрах земной коры, скорее не выделяют, а поглощают метаморфогенные воды, выделившиеся при дегидратации первично осадочных пород. Если неизменный первичный гранит обычно содержит $1 \pm (-0,5+2) \% H_2O$ [12 и др.], то после аутометасоматических изменений (серицитизация алюмосиликатов, сосюритизация пироксенов, хлоритизация биотита и т.п.) содержание воды в них обычно **возрастает до $5 \div 8$ (и даже 13) масс. $\% H_2O$.**

Все эти внутренние преобразования внутри земной коры, связанные с процессами прогрессивного и регрессивного метаморфизма и тектономагматической активизацией, вызывают изменение минеральных равновесий внутри геологических комплексов, в результате которых происходит изменение форм нахождения элементов. Простая перекристаллизация породообразующих минералов, как правило, ведет к их самоочистке от микропримесей, отмеченной еще

А.Е. Ферсманом и названной им «автолизией» [13]. В настоящее время с появлением f -радиографии и других тонких физических методов анализа минералов, эти явления фиксируются во многих работах.

Чем контрастнее смена термодинамических обстановок, тем резче сказывается их влияние на минеральные равновесия. Вполне естественно, что в зонах окисления, на границе наиболее контрастных региональных обстановок, будут происходить весьма существенные минеральные превращения. Эти изменения могут захораниваться, консервироваться и сохраняться в «замороженном» состоянии до следующей тектонической активизации, приводящей к нарушению сложившихся термодинамических обстановок. Такие изменения фиксируются на месторождениях типа «структурно-стратиграфических несогласий» Канадского щита и Австралии [1, 6, 11 и др.]. Они происходят до (иногда задолго до) начала формирования рудных тел, и могут быть отнесены к рудоподготовительным процессам, поскольку влияют на формирование руд, хотя и происходят значительно раньше [10].

Все это хорошо прослеживается на классическом пятиметалльном месторождении Шлема-Альберода (ФРГ), где так называемая «продуктивная пачка» состоит из переслаивания пород основного и кислого состава с прослоями углеродистых сланцев. Каждый тип имеет специфику элементарного состава, сформированного в первичной породе. Породы основного состава обогащены Co , Ni , Ag , кислые U , а углистые еще и Se . Происхождения одних эндогенное, других экзогенное и метаморфогенное. Все эти породы сосуществуют до тех пор, пока внешний триггер не насытит систему дополнительным запасом энергии и не запустит процесс прогрессивного и затем регрессивного метаморфизма, в ходе которых происходит дегидратация пород, изменения форм нахождения элементов и, в конце концов, их перегруппировка с образованием рудных скоплений [9].

Последовательная смена этих процессов может занимать достаточно длительный промежуток времени (нагревание и медленное охлаждение) и происходить как саморазвитие рудообразующей системы.

Взаимодействие эндогенных и экзогенных факторов в процессах рудообразования легче наблюдать не на докембрийских месторождениях, а на значительно более молодых и относительно простых. Примером такого месторождения может служить урановый рудник Кёнигштайн (Саксонская Швейцария, Германия), где формирование богатых молодых урановых руд заканчивает длительную и многогранную геохимическую историю урана в данном районе. Компактность месторождения, шахтная система отработки и немецкая тщательность, с которой оно изучалось, позволили детально расшифровать историю его формирования. Рудные тела, где в кварцевом песчанике наряду с глинистым цементом наблюдается урановая смолка, коффинит, урановые черни и рассеянный уран, тяготеют к придонной части палеоруслу, выполненного разнозернистыми, слабо сцементированными песчаниками с многочисленными органическими остатками в нижней части разреза (рис. 2).

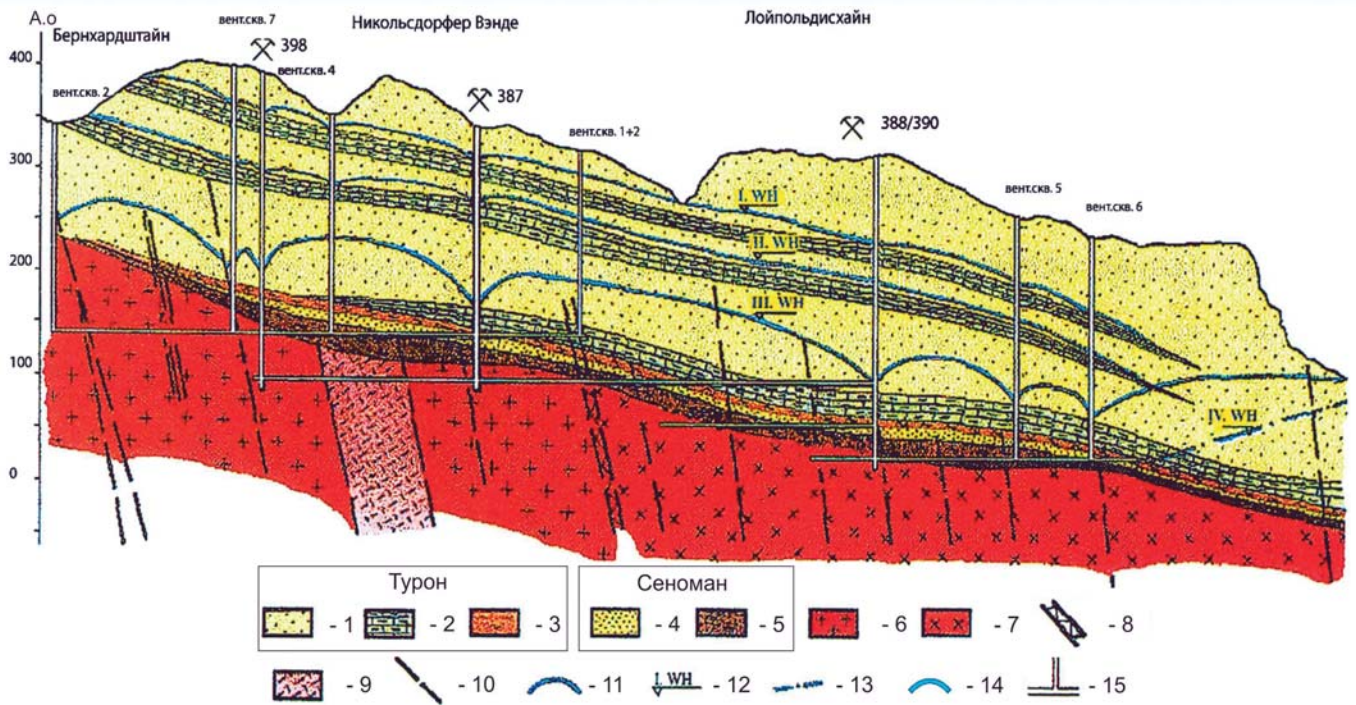


Рис. 2. Геологический разрез рудника Кенигштайн по линии палеорусла (по материалам СГАО «Висмут»): 1 — песчаники, 2 — известняки, 3 — глины, 4 — кварцевые песчаники, 5 — переслаивание глин и песчаников, 6 — Маркерсбахские граниты, 7 — Лаузицкие гранодиориты, 8 — контактовые зоны между гранитами и гранодиоритами, 9 — кварцевые порфиры, 10 — тектонические нарушения, 11 — поверхность уровня подземных вод, 12 — водоносные горизонты, 13 — пьезометрический уровень IV водоносного горизонта, 14 — динамический уровень I, II, III водоносных горизонтов, 15 — горные выработки

Месторождение начало разрабатываться как тип «пластового окисления», но очень быстро стало ясно, что зоны окисления приводят только к разубоживанию, а не концентрации руд. Наряду с субпластовыми телами были обнаружены небольшие секущие жилы с мелкими образованиями кальцита, барита и флюорита.

Газово-жидкие включения в них дали температуры гомогенизации от 80 до 120 °С. Появилась идея гидротермального происхождения месторождения, поскольку само палеорусло наследует зону тектонических нарушений в гранитах фундамента.

Возникла надежда, что выявленные рудные тела — это только верхняя часть жильного месторождения. Разведка зоны нарушений выявила здесь интенсивную грейзенизацию со всеми типичными для этого процесса минеральными выделениями и полное отсутствие следов урана. Но для самих гранитов оказалось характерным повышенное содержание урана ($Th/U < 4$). Такое соотношение могло быть вызвано кон-

таминацией нижнепалеозойских черных сланцев с повышенными содержаниями урана (рис. 3).

Если к этому добавить, что возраст самих руд занимает интервал от 20 до 0 млн лет, то сумма всех полученных фактов позволила восстановить следующую картину формирования данного месторождения.

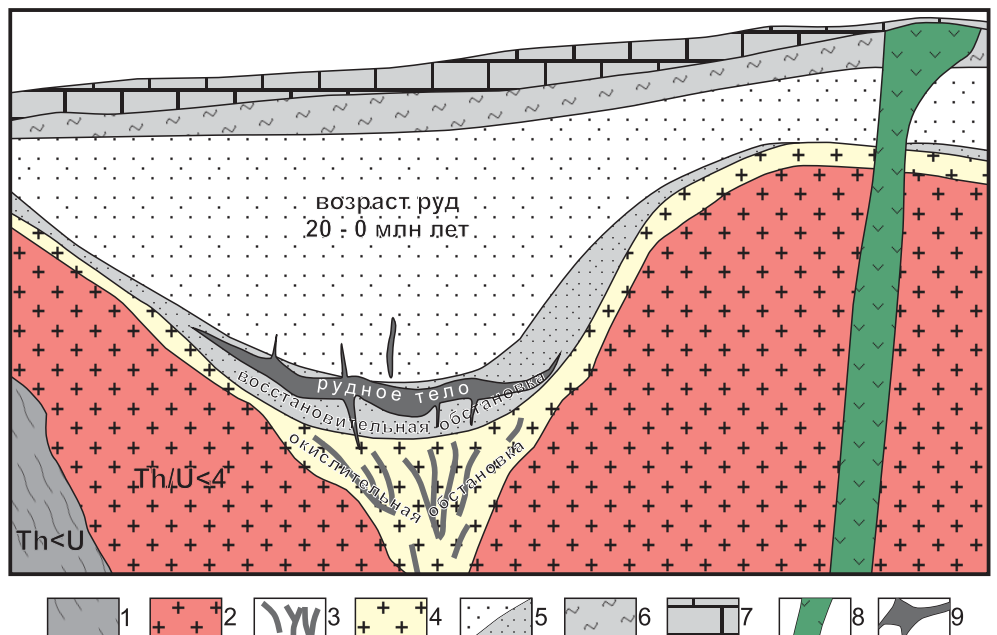


Рис. 3. Схема разреза вкrest руслового потока: 1 — нижнепалеозойские углеродистые сланцы, 2 — граниты верхнего палеозоя, 3 — линейная зона дробления и грейзенизации, 4 — кора выветривания, 5 — разномерные меловые пески, 6 — глины, 7 — известняки, 8 — третичные дайки, 9 — рудные тела

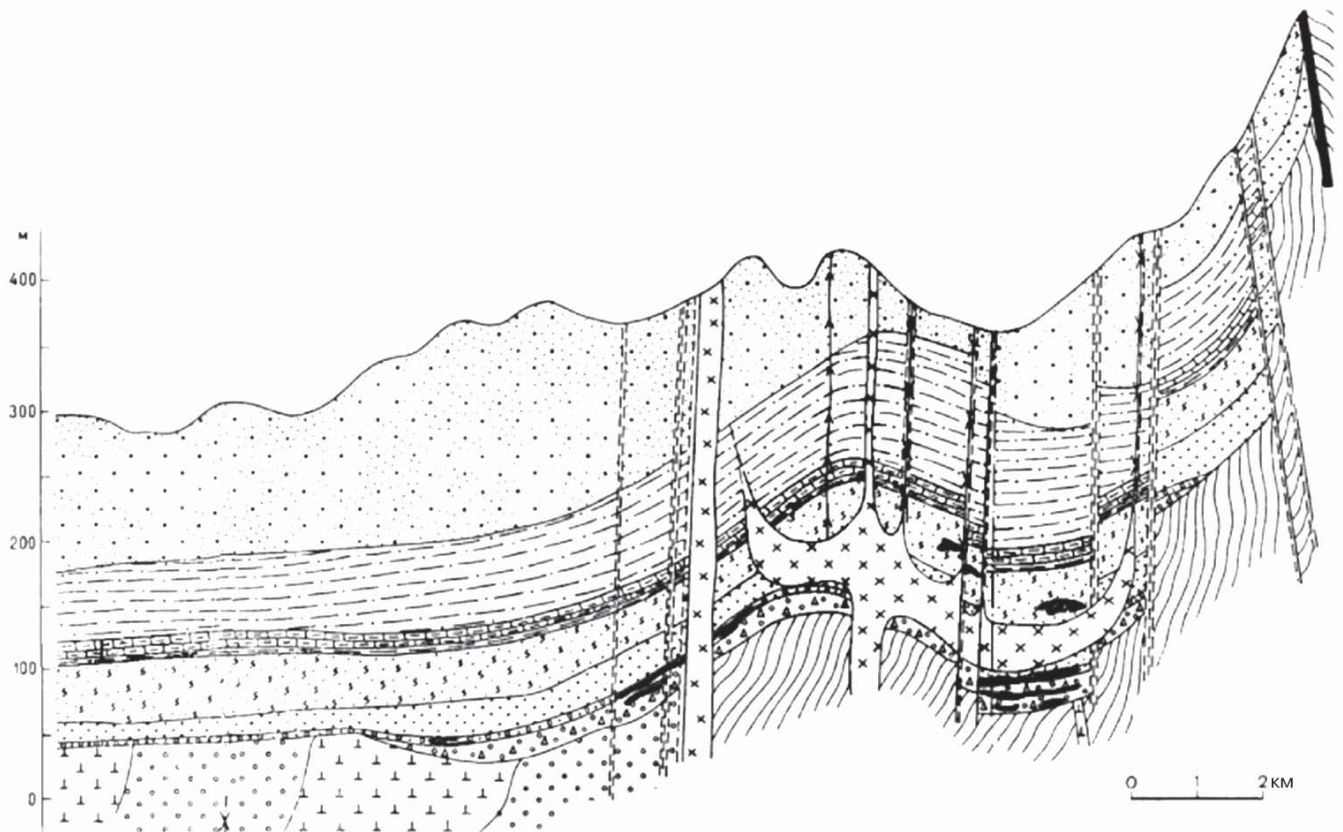


Рис. 4. Положение уран-циркониевых рудных тел (черное) в основании мезозойского чехла Стражского блока, Чехия [14]

Начало положили нижнепалеозойские черные сланцы с повышенным содержанием урана, контоминация которых гранитами привела к нарушению обычного для гранитов Th/U отношения. Пенеплен на границе палеозоя и мезозоя привел к развитию зон окисления площадных относительно малой мощности на ненарушенных гранитах, но резко увеличивающейся мощности в зонах дислокаций. В зонах окисления уран перешел в подвижную форму UO_2^{2+} . Нижние горизонты меловых песчаников, обогащенные органическим веществом, образовали восстановительные обстановки, соприкасающиеся с окислительными областями в древних корях выветривания. Создался типичный окислительно-восстановительный вертикальный барьер. Однако миграция урана и формирование рудных тел произошли значительно позже, после третичной активизации, проявившейся внедрением базальтовых даек со знаменитыми богемскими гранатами.

Таким образом, мы проследили целый ряд геологических событий от нижнего палеозоя до новейшего времени, которые создали возможность формирования урановых рудных тел. Все их можно отнести к «рудоподготовительным» процессам [10]. Само формирование рудных тел, которое можно рассматривать как процесс саморазвития, началось только после третичной тектономагматической активизации.

В областях сочленения древних кор выветривания с кристаллическими породами фундамента часто наблюдаются эпигенетические скопления рудных ми-

нералов. Так, в основании мезозойского чехла Стражского блока (Чехия) отмечены многочисленные уран-циркониевые (*гидроокиси циркония*) рудные тела (рис. 4), а в породах фундамента установлены корродированные зерна циркона [14]. Коррозия зерен циркона — явление достаточно редкое; вероятно, это результат воздействия агрессивных для циркона древних почвенных процессов или щелочно-карбонатных растворов. Тем не менее, пространственное совмещение корродированных зерен циркона в фундаменте и скопления гидроокиси циркония в перекрывающих толщах говорит об агрессивности древних кор выветривания, и возможности их влияния на поведение элементов в более поздних геологических образованиях.

С этих позиций особого внимания заслуживают месторождения структурно-стратиграфического несогласия, в которых мощные древние коры выветривания могут вносить существенный вклад в комплекс рудоподготовительных процессов. К тому же, приведенный материал показывает, что месторождения структурно-стратиграфического несогласия могут иметь самый разный возраст от докембрийского до современного.

Подводя итог, следует подчеркнуть, что формирование месторождения — это не последовательное внедрение где-то зародившихся рудоносных флюидов, а длительный, сложный процесс саморазвития участков земной коры со специфической геологической историей.

Рудоподготовительные процессы, предшествующие непосредственному этапу рудообразования, но определяющие возможность формирования рудных тел, могут занимать значительные (в геологическом масштабе) промежутки времени, и в них могут активно участвовать как эндогенные, так и экзогенные процессы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, Г.В. Урановые месторождения и провинции типа несогласия / Г.В. Афанасьев, Ю.Б. Миронов, Э.М. Пинский // Региональная геология и металлогения. — 2014. — № 60. — С. 52–59.
2. Вернадский, В.И. Избранные сочинения / В.И. Вернадский. — Т. 1. — М.: Изд-во АН СССР, 1954. — 696 с.
3. Вернадский, В.И. Эволюция видов и живое вещество (Доклад, читанный на заседании Ленинградского общества естествоиспытателей 5 февраля 1928 г.) / В.И. Вернадский // Природа. — 1928. — № 3. — С. 227–250.
4. Казанский, В.И. Эволюция уранового рудообразования / В.И. Казанский, Н.П. Лаверов, А.И. Тугаринов. — М.: Атомиздат, 1978. — 208 с.
5. Коржинский, Д.С. Основы метасоматизма и метамагматизма / Д.С. Коржинский. — М.: Наука, 1993. — 239 с.
6. Лаверов, Н.П. Условия образования крупных полихронных месторождений урана (на примере северной Австралии) // Итоги науки техники. Сер. Рудные месторождения / Н.П. Лаверов, С.Ф. Винокуров. — М.: ВИНТИ, 1988. — Т. 21. — 164 с.
7. Наумов, Г.Б. Природа воды гидротермальных растворов / Г.Б. Наумов, Т.К. Беркелиев, О.Ф. Миронова. — Записки РМО. — Ч. СХLI. — № 5. — 2012. — С. 75–88.
8. Наумов, Г.Б. Метасоматическая природа гидротермальных рудообразующих растворов / Г.Б. Наумов, Т.К. Беркелиев, О.Ф. Миронова // Минералогический журнал. — 2012. — Т. 34. — № 2. — С. 100–111.
9. Наумов, Г.Б. Урановое пятиметалльное месторождение Шлема-Альберода (ФРГ): пример самоорганизующейся гидротермальной системы / Г.Б. Наумов, Б.П. Власов, В.Н. Голубев, О.Ф. Миронова // Геология рудных месторождений. — 2017. — № 1. — С. 3–16.
10. Наумов, Г.Б. Геохимическая роль и место рудоподготовительных процессов в моделях эпигенетического рудообразования / Г.Б. Наумов, Н.П. Ермолаев, З.М. Моторина и др. // Генетические модели эндогенных рудных формаций. — Т. 1. — Новосибирск: Наука, 1983. — С. 34–42.
11. Пакульнис, Г.В. Месторождения урана типа «несогласия» района Атабаска (Канада) / Г.В. Пакульнис, М.В. Шумилини // Минеральное сырье. — № 17. — М.: ВИМС, 2005. — 102 с.
12. Рябчиков, И.Д. Термодинамика флюидной фазы гранитных магм / И.Д. Рябчиков. — Л.: Наука, 1975. — 232 с.
13. Ферсман, А.Е. Избранные сочинения / А.Е. Ферсман. — Т. IV. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 558 с.
14. Čadeck, J. Podmínky akumulací kovů v sedimentech // Ústřední ústav geologický / J. Čadeck, J. Syka, I. Vavřín, T. Veselý. — Praha, 1975.

© Наумов Г.Б., 2019

Наумов Георгий Борисович // gbnaumov@yandex.ru

УДК 553.41:553.065.3+552.086 (571.620)

Трушин С.И.¹, Кириллов В.Е.², Иванов В.В.³, Полин В.Ф.³ (1 — ОАО «Полиметалл УК», 2 — ОАО «Ресурсы Албазино», Хабаровск, 3 — Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток)

ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ВУЛКАНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КИРАНКАН-АВЛЯЯКАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ЗАПАДНОЕ ПРИОХОТЬЕ)

Киранкан-Авляяканский рудный узел расположен в южной части Аяно-Майского района Хабаровского края, включает Авляяканское, Киранканское и Кундумийское эпitherмальные золотосеребряные месторождения. Ору-

*денение имеет позднемеловой возраст и связано с завершающими фазами кислого вулканоплутонизма Охотско-Чукотского вулканического пояса. Золотая и серебряная минерализация приурочены к кварцевым и кварц-адуляровым жилам в ореолах пропилитов и кварц-серицитовых метасоматитов. Особенностью рудоносных зон является их размещение в породах двух структурных этажей (архейский фундамент и вулканогенные образования). **Ключевые слова:** месторождения золота и серебра, эпitherмальные, вулканогенная формация, Приохотье.*

Trushin S.I.¹, Kirillov V.E.², Ivanov V.B.³, Polin V.F.³ (1 — Poly-metal of UK, 2 — Albazino resources, 3 — Far East Geological Institute of the Russian Academy of Sciences)

GOLD AND SILVER MINERALIZATION OF THE VOLCANOGENIC DEPOSITS IN THE KIRANKAN AND AVLAYAKAN ORE CLUSTER (THE WESTERN OKHOTSK REGION)

*Kirankan and Avlayakan ore cluster is located in the southern part of Ayano-May District of Khabarovsk Territory. It includes Avlayakan, Kirankan and Kundumy epithermal gold and silver deposits. The Late Cretaceous ore mineralization associated with the final acidic volcanic plutonism of the Okhotsk Chukchi volcanic belt. Gold and silver mineralization is located in the quartz and quartz-adularia veins in halos of propylites and quartz-sericite metasomatites. The location in rocks of two structural units (Archean foundation and volcano-genic formations) is one of the main mineralization peculiarity. **Keywords:** gold and silver deposits, epithermal, volcano-genic formation, Okhotsk region.*

Введение

Россыпная золотоносность территории Киранкан-Авляяканского рудного узла была установлена в начале XX в., поиски и разведка промышленных россыпей здесь проводились в 1930–1950 годах. В ходе этих работ было выявлено Авляяканское рудопроявление золота, дальнейшее изучение которого позволило перевести его в разряд месторождений. В 1977–1982 гг. в районе проводилась геологическая съемка масштаба 1:50 000, в результате которой были выявлены новые перспективные золотосеребряные рудопроявления (Киранканское, Кундумийское, Мевачанское). В результате оценочных и разведочных работ ПГО «Дальгеология», артелей «Восток» и «Амур», компании «Silver Bear Resources» в 1984–2018 гг. Киранканское и Кундумийское рудопроявления переведены в разряд мелких промышленных месторождений; в последние годы Киранканское и Авляяканское месторождения активно обрабатывались ОАО «Полиметалл».

В литературе [6] имеются лишь краткие сведения по Авляяканскому месторождению, по другим объектам Киранкан-Авляяканского рудного узла опубликованные данные отсутствуют.

Методы анализа

В настоящей статье для Авляяканского и Кундумийского месторождений приводится расширенная информация по геологии и вещественным характе-