

ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ И УКРУПНЕНИЕ НАНОЗОЛОТА В ЗЕМНЫХ УСЛОВИЯХ (НА ПРИМЕРЕ АМУРО-ЗЕЙСКО-БУРЕЙНСКОГО БАССЕЙНА)

В.Г. Моисеенко, академик РАН

Институт геологии и природопользования ДВО РАН
(Россия, г. Благовещенск)

DOI: 10.24411/2500-1000-2020-11346

Аннотация. Расположение Амуро-Зейско-Буреинского бассейна на сопряжении двух глобальных подвижных поясов предопределило сложность генезиса этой структуры и для её расшифровки были использованы в качестве маркеров минералы – циркон и самородное золото, и элементы – уран и калий. Установлены особенности структуры Амуро-Зейско-Буреинского бассейна, показана связь рудообразования с энергией радиоактивных элементов. Концентрация и укрупнение золота с образованием месторождений чаще всего начинается под влиянием ^{238}U содержащегося, прежде всего в цирконах, а завершается под влиянием ^{40}K в составе адуляра и других минералов.

Ключевые слова: золото, уран, радиоактивность, образование месторождений, кварц, наноминералы.

В области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского тектонических поясов, а также смежных Сибирской и Северо-Китайской платформ в юрское время, начал формироваться Амуро-Зейско-Буреинский бассейн [1, 2], в котором четыре основные впадины: Ушумуно-Амурская, Зейская, Селемджинская и Буреинская, с площадью ~ 140 тыс. км² [3]. Границы бассейна на западе определяет вытянутый на 200 км «Аникинский порог» [4], на востоке Буреинский массив, на севере водораздел, отделяющий бассейн Амура от водотоков Лены и Уды, на юге покровы эффузивов и блоковые интрузивные поднятия, разделившие в антропогенный период сопряженные ранее бассейны Сунляо и Амуро-Зейско-Буреинский [3].

Расположение Амуро-Зейско-Буреинского бассейна на сопряжении двух глобальных подвижных поясов предопределило сложность генезиса этой структуры и для её расшифровки выбраны маркеры: два минерала – циркон и самородное золото, а из элементов уран и калий.

Циркон обладает необычной физической устойчивостью, химической инертностью и способностью расти во времени капсюлируя и, сохраняя геологическую летопись практически всего времени фор-

мирования Земли. Определив возраст циркона и количество в нем урана, исследователь может уточнять изменение энергии среды во времени и состав элементов в системе.

Фундамент бассейна в значительной мере сложен гранитоидами палеозойского, в меньшей мере мезозойского возраста и осадочными породами от палеозоя до юры, а в них фрагменты различных пород от архея до верхней юры. Гранитоиды фундамента обеднены Zr и U [5] в общем виде этот вывод согласуются с результатами группы исследователей (А.А. Сорокин и др.), опубликовавшими, наряду с возрастом гранитоидов, их химический состав, содержание Zr и U в породах и U в цирконах [6-8].

Сгруппировав эти результаты [6-8] в три группы магматических пород: ультраосновные, средние + основные и кислые, и соответствующие им три группы цирконов и сравнив средние содержания элементов в этих группах установлено, что в магматических породах фундамента бассейна от ультраосновных, через средние и основные, до кислых возрастает содержание Zr (от 33 до 175.9 г/т) и U (от 0.29 до 1.46 г/т). Эта закономерность объясняется сродством урана и циркония к кислороду и кремнию, но наложенные процессы выносили

часть U из минералов пород, кроме U закапсулированного в цирконах, где он сохранился, и содержание его в $ZrSiO_4$ колеблется от 469.7 до 744 г/т [6-8]. Следовательно, в цирконах гранитоидов фундамента содержание урана в 500 раз больше, чем в породах их содержащих и, несомненно, циркон хороший концентратор U, и уникальный хранитель геологической летописи.

В отличие от фундамента, основой которого являются магматические породы, в Амуро-Зейско-Буреинском бассейне преобладают осадочно-вулканогенные образования мелового периода при подчиненном развитии интрузивных пород и рыхлые отложения кайнозойской эры при небольшом количестве щелочных базальтов.

Интрузивные породы бассейна, в основном, развиты в пределах Умлекано-Огоджинской плутонической зоны, которая в субширотном направлении протяги-

вается от среднего течения реки Большой Невер – на западе, до Селемджинской впадины – на востоке. Гранитоиды Джиктандинского массива этой зоны имеют возраст 144 млн. лет [9] и содержат урана больше чем гранитоиды фундамента. Заметно обогащены U кислые щелочные эффузивы бассейна [3].

В постмагматических цирконах U в среднем примерно в два раза больше чем в магматических, а в гидротермальных образованиях его многократно больше. Так в Октябрьском рудном поле (Селемджинская впадина) в осветленном граните в кварцевом прожилке по трещинам (рис. 1) в альбите (табл. 1, сп. 1) и кварце (сп. 2) отлагается циркон. Как правило, образуется несколько генераций циркона с последовательным увеличением содержаний Zr, Si и O, но синхронным уменьшением концентрации Fe и Ca (табл. 1, сп. 3, 4, 5).

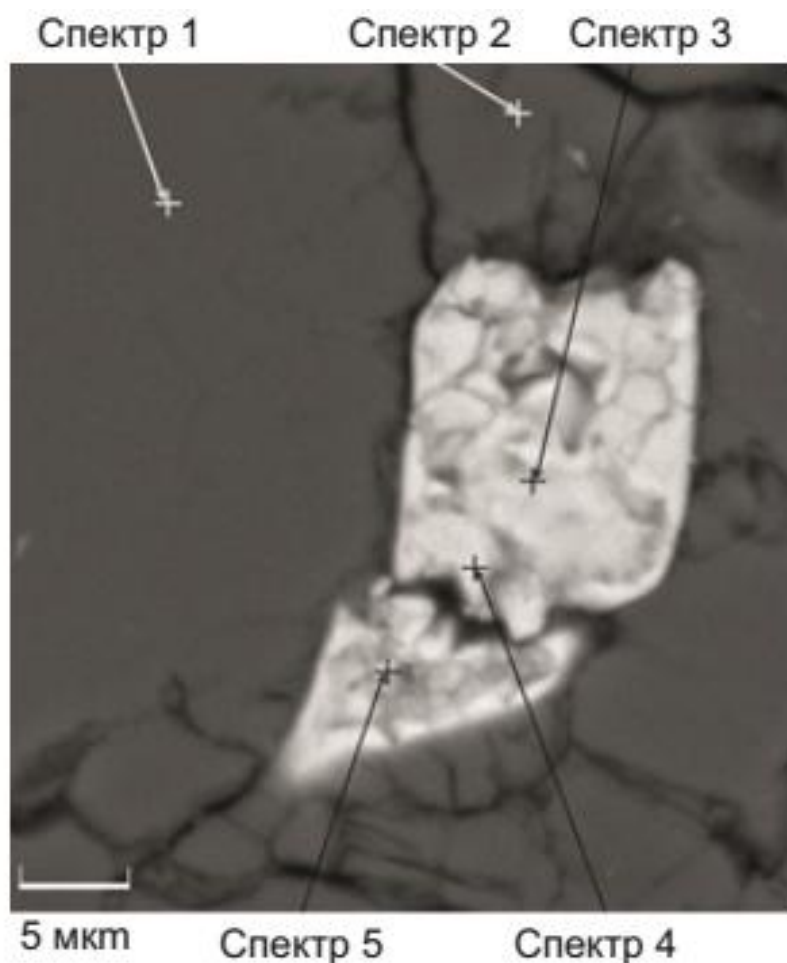


Рис. 1. По трещинам в альбите и кварце отлагаются урансодержащие цирконы, сопряженные с гранатами

Таблица 1. Содержание элементов в минералах

спектр	весовые %									
	O	Na	Al	Si	Ca	Fe	Zr	Hf	Th	U
1	48,79	8,51	10,60	31,87	0,24					
2	53,26			46,24						
3	32,87		0,96	13,44	1,16	0,74	40,78	5,88	2,72	1,45
4	33,42		0,41	14,09	0,35	0,37	43,83	6,62		0,91
5	33,99		0,25	14,49	0,025	0,02	47,21	3,86		0,16
	Атом %									
1	61,57	7,48	7,93	22,91	0,12					
2	66,67			33,33						
3	66,09		0,15	15,39	0,93	0,43	14,38	1,06	0,38	0,20
4	66,47		0,50	15,96	0,28	0,21	15,28	1,18		0,12
5	66,59		0,29	16,18	0,02	0,01	16,22	0,68		0,01

В альбите наблюдается небольшое количество каолинита. Учитывая, что каолинит образуется в экзогенных условиях, А.Г. Бетехтин изучил необычный парагенезис и пришел к выводу, что каолинизация происходит не только в процессе выветривания полевых шпатов в экзогенных условиях, но и при гидротермальном изменении альбита и адуляра [10].

При большом содержании урана, циркон, сохраняя внешний облик кристалла, переходит в метамиктное состояние (из структурно упорядоченной формы в стеклообразное). По существу, метамиктиза-

ция – нарушение трехмерной периодичности в расположении атомов, а смещение их в цирконе вызывается α -частицами [11].

На другом участке в измененном граните в кварцевом прожилке отложились цирконы двух генераций (рис. 2, табл. 2, сп. 1, 2), с Hf, U, Th. Здесь также от первой к второй генерации в цирконах увеличивается содержание Zr, Si и O, но синхронно уменьшается Ca, Fe и Hf (табл. 2). Эти цирконы (сп. 1, 2) имеют изометричную форму (рис. 2), большое содержание U и далеко зашедшую метамиктизацию.

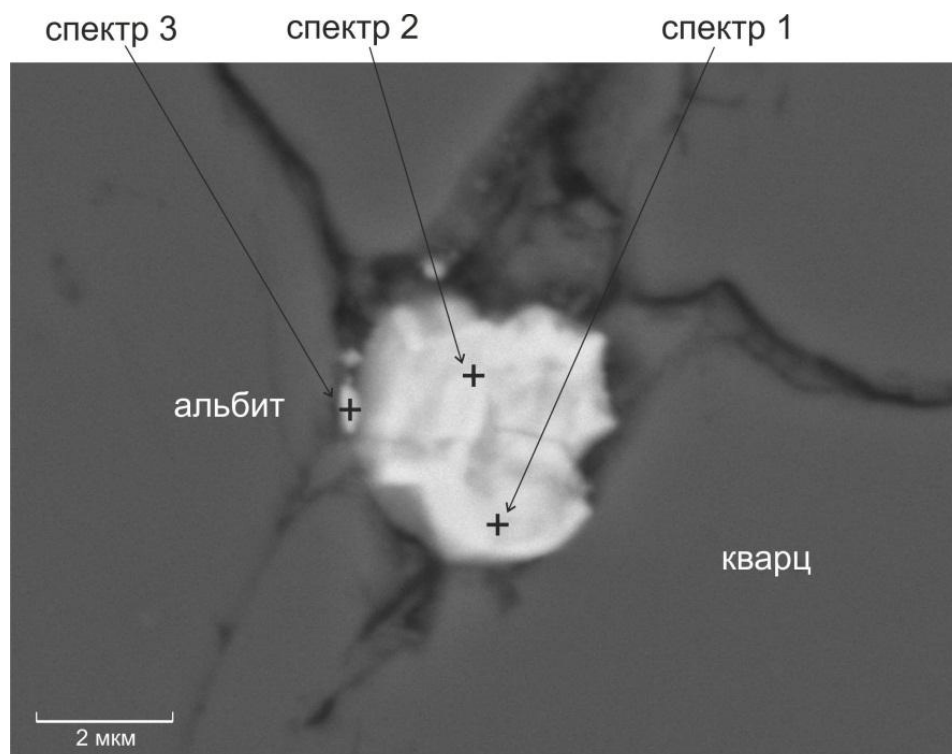


Рис. 2. По трещинам в альбите и кварце отлагаются урансодержащие цирконы двух генераций, данбурит с бадделейтом и каолинитом

Таблица 2. Содержание элементов в минералах

весовые, %											
Сп.	B	O	Na	Al	Si	Ca	Fe	Zr	Hf	Th	U
1		33.46		0.95	13.69	0.85	0.95	41.72	5.58	1.45	1.36
2		34.1		0.25	14.5	0.01	0.02	47.27	3.8		0.07
3	18.99	56.69	1.02	1.43	7.22	0.21	0.23	11.58*	2.21		0.42
атомные, %											
Сп.	B	O	Na	Al	Si	Ca	Fe	Zr	Hf	Th	U
1		66.34		1.13	15.47	0.67	0.53	14.50	0.99	0.20	0.18
2		66.68		0.29	16.12	0.01	0.01	16.21	0.67		0.01
3	30.26	61.05	0.76	0.91	4.43	0.09	0.07	2.19*	0.21		0.03

Примечание: *цирконий в бадделеите

В гидротермальных цирконах высокое содержание урана колеблется в интервале от 700 до 14500 г/т (табл. 1, 2), и коэффициент концентрации U в цирконах достигает 5088.

Третья генерация представлена данбуритом с боратами и продуктами распада метамиктизированного циркона превратившегося в бадделеит (ZrO_2) и кварц. В этой же стадии проявлен альбит, часть которого под влиянием α -частиц преобразовалась в каолинит, содержащий 46.54% кварца, 39.5% Al_2O_3 и 14% воды. В этом же образце на другом участке проявлена кварц-адуляровая стадия, где каолинит выступает уже не в роли примеси в руде, а в группе основных минералов совместно с адуляром и кварцем.

В составе ядра калия изотоп ^{40}K – радиоактивен и, несмотря на то, что его доля в ядре всего 0.0117%, он является лидером по количеству распадов в секунду в земной коре, а уран занимает второе место. Обусловлено это тем, что кларк урана в земной коре меньше кларка калия в 7193 раза [3], Но при этом надо учитывать, что энерговыделение от β^- -распада изотопа ^{40}K (1.31107 МэВ) меньше в 3.26 раза, чем от α -распада ^{238}U (4.2697 МэВ) [12]. Однако калия в приповерхностной части земной коры многократно больше, чем урана и это определяет его лидерство не только по числу распадов, но и по влиянию его радиоактивности на рудообразование [3]. Изотопы ^{238}U и ^{40}K обеспечивают энергией процессы концентрации и укрупнения золота и, несомненно, влияют на образование месторождений благородного металла.

Гидротермальные цирконы отличаются от магматических не только высоким со-

держанием в них урана, но и формой выделений. В гранитах цирконы – обычно, это удлиненные хорошо ограненные кристаллы, а гидротермальные, чаще всего изометричные, метамиктные комковидные агрегаты, сложенные наноразмерными кристалликами разных генераций.

В земной коре из минералов первое место занимают полевые шпаты (альбит, адуляр). В фундаменте бассейна альбита, как правило, больше чем адуляра, но по устойчивости альбит сильно уступает адуляру, он быстрее выветривается и превращается в каолин. Основное количество освободившегося натрия паводками выносятся в океан и в бассейне во времени увеличивается модуль калия. Максимальное отношение $K/Na = 10$ характерно для Чалгановского месторождения кварц-каолин-адуляровых песков, балансовые запасы которых на период утверждения их в 1065 г составляли 64780 тыс. тонн. Каолинизация горных пород и руд в восстановительных условиях широко проявлена почти на всей территории бассейна и геологические ресурсы прогнозируемых месторождений кварц-каолин-адуляровых песков составляют 1200000 тыс. т [3].

Не только в осадочных породах бассейна, но и в магматических образованиях во времени наблюдается увеличение, как общего количества щелочей, так и опережающее увеличение доли калия. Так в фундаменте в интрузивных породах $Na > K$, в бассейне их количество сопоставимо, а в эффузивных и осадочных образованиях $K > Na$ и во времени, от мелового периода через всю кайнозойскую эру возрастает модуль калия.

Отличительной чертой Амуру-Зейско-Буреинского бассейна в кайнозойскую эру является сильная обводненность, значительная часть его территории была заболочена, и интенсивно шло образование осадочных пород озерно-болотного типа. В бассейне образовалось несколько глинистых водонепроницаемых слоев, сформировались восстановительные подземные воды артезианского типа. Минералообразование шло при недостатке кислорода, органическое вещество постепенно обогащалось углеродом и в меловой период в бассейне образовались месторождения каменного угля Огоджинское и Ургальское, а в кайнозойскую эру большое количество месторождений бурого угля. Общие запасы и апробированные прогнозные ресурсы угля составляют 66.6 млрд. т. Наряду с образованием месторождений в бассейне произошло обогащение различных горных пород рассеянным углеродом, который определяет восстановительную среду минералообразования.

Обильно насыщенные углеродом горные породы способствовали образованию в меловой период коренных, а в кайнозойскую эру многочисленных россыпных месторождений золота. Добыча благородного металла в Амуру-Зейско-Буреинском бассейне началась в 1858 г и за 150 лет добыто 1089.97 т, с учетом числящихся 387.4 т запасов и 102 т ресурсов, всего учтенного золота 1579.4 т.

Уже очевидно, что наноразмерного золота в бассейне в несколько раз больше видимого благородного металла. Видимое и наноразмерное золото, вплоть до 10 нм, чаще всего взаимосвязано с кварцем и тесная связь с кварцем и локализация в нем благородного металла объясняется, прежде всего, сходством энтропий этих двух

элементов при низких температурах минералообразования [3]. Скорость диффузии Au в кварце самая низкая и при гидротермальных процессах оно будет стремиться отложиться в кварце, а при метаморфизме – перейти из других минералов в кварц. Кварц – наиболее благоприятный минерал для отложения золота и является своего рода броней, препятствующей рассеянию Au в период образования месторождений и при метаморфизме самородных золотин.

Амуру-Зейско-Буреинский бассейн – природная фабрика, в которой нарабатываются рыхлые отложения двух типов: первые представлены песчанистыми (основа) образованиями, с широким спектром пород от конгломератов до тонкозернистых песков, вторые – разного рода глины, среди минералов которых доминирует каолин, а по размерам господствуют наночастицы. Бассейн по сравнению с земной корой обогащен O, Si, Al, S, K, Sr, Ba, Rn и Ra, и обеднен Fe, элементами его группы, а также Mg, Zr, S, Se и Li.

Рудообразование на месторождениях золота чаще всего начинается под влиянием ^{238}U сконцентрированном в цирконах и в других минералах, а завершается под влиянием ^{40}K в адуляре и других минералах. Непрерывный приток энергии от ^{238}U и ^{40}K обеспечивает рудообразование «движущей силой» определяющей концентрацию и укрупнение золота.

В целом в саморазвивающемся Амуру-Зейско-Буреинском бассейне на примере элементов O-Si-Zr и U-Au-K, а также минералов кварц-самородное золото видно стремление к взаимосвязи компонентов системы и направленное развитие в сторону уменьшения энтропии.

Библиографический список

1. Горнов П.Ю. Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Подгорный В.Я. Геотермические разрезы земной коры области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов и смежных платформ // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. № 5. – С. 630-647.
2. Иванов А.В., Рассказов С.В. и др. Раннеюрский возраст и средне-позднеюрское тектоническое экспонирование гранитоидов выступа фундамента в северной части Амуру-Зейской впадины: Rb-Sr и K-Ar изотопные данные // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22. № 4. – С. 83-92.
3. Моисеенко В.Г. Периодические системы элементов и кларков элементов // Вестник Амурского Отделения РМО. – 2018. – 62 с.

4. Руженцев С.В., Некрасов Г.Е. Тектоника Агинской зоны (Монголо-Охотский пояс) // Геотектоника. – 2009. – № 1. – С. 39-58.
5. Моисеенко В.Г. Периодическая система кларков элементов // Вестник Амурского Отделения РМО. – 2016. – 46 с.
6. Сорокин А.А., Кудряшов Н.М. Кембрий-ордовикская диорит-гранодиорит-гранитная ассоциация Мамынского террейна (Центрально-Азиатский складчатый пояс): U-Pb геохронологические и геохимические данные // Доклады Академии наук. – 2017. – Т. 472. № 3. – С. 326-332.
7. Сорокин А.А., Кудряшов Н.М., Цзинь Ли. U-Pb геохронология гранитоидов Октябрьского комплекса Мамынского террейна (Приамурье) // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23. № 5. – С. 54-67.
8. Бучко И.В., Сорокин А.А., Кудряшов Н.М. Позднепалеозойские габброиды Малохинганского террейна (Восточная часть Центрально-Азиатского складчатого пояса): возраст, геохимия, тектоническая позиция // Тихоокеанская геология. – 2013. – Т. 32. № 3. – С. 44-54.
9. Стриха В.Е., Моисеенко В.Г., Рублев А.Г. Новые данные о возрасте монцодиорит-гранитовой ассоциации Умлекано-Огоджинской вулcano-плутонической зоны (Верхнее Приамурье) // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 394. – № 4. – С. 537-539.
10. Бетехтин А.Г. Минералогия. – М.: Государственное издательство геологической литературы, 1950. – 956 с.
11. Козловский Е.А. Горная энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1991. – 541 с.
12. Audi G., Kondev F.G., Wang M., Huang W.J. and Naimi S. (2017) The NUBASE2016 evaluation of nuclear properties. Chin. Phys. C, 41, 030001.

EFFECT OF RADIOACTIVITY ON CONCENTRATION AND ENLARGEMENT OF NANO-GOLD IN TERRESTRIAL CONDITIONS (BY EXAMPLE OF THE AMUR-ZEYA-BUREYN BASIN)

V.G. Moiseenko, *Academician RAS*
Institute of Geology and Natural Management FEB RAS
(Russia, Blagoveshchensk)

***Abstract.** The location of the Amur-Zeysk-Bureinsky basin on the conjugation of two global mobile belts predetermined the complexity of the genesis of this structure and minerals – zircon and native gold, and elements – uranium and potassium - were used as markers for its decoding. Features of the structure of the Amur-Zeysk-Bureinsky basin were established, the connection of ore formation with the energy of radioactive elements is shown. The concentration and enlargement of gold with the formation of deposits most often begins under the influence of ^{238}U contained, primarily in zircons, and ends under the influence of ^{40}K in the composition of adular and other minerals.*

***Keywords:** gold, uranium, radioactivity, deposit formation, quartz, nanominerals.*