

5. Печенкин, И.Г. Эволюция осадочного рудообразования / И.Г. Печенкин, В.Г. Печенкин. — М.: ВИМС, 2016. — 87 с.
6. Рудные месторождения Узбекистана / Отв. ред. И.М. Голованов. — Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2001. — 661 с.
7. Учкудукский тип урановых месторождений Республики Узбекистан / Х.К. Каримов, Н.С. Бобоноров, К.Г. Бровин и др. — Ташкент: Фан, 1996. — 334 с.
8. Холодов, В.Н. Рудогенерирующие процессы элизионных и инфльтрационных систем / В.Н. Холодов, Е.М. Шмариович // Геология рудных месторождений. — 1992. — № 1. — С. 3–22.
9. Экзогенные эпигенетические месторождения урана. Условия образования / С.Г. Батулин, Е.А. Головин, О.И. Зеленова и др. / Под ред. А.И. Перельмана. — М.: Атомиздат, 1965. — 324 с.
10. Xiang, Wei-dong Metallogenic characteristics and model of Dongsheng uranium deposit in Ordos basin, North China / Xiang Wei-dong, Fang Xi-heng, Li Tian-gang etc. // Uranium Geology. — 2006. — Vol. 22. — No 5. — P. 257–266.

© Печенкин И.Г., 2017

Печенкин Игорь Гертрудович // pechenkin@vims-geo.ru

УДК 553.496.411.078 (480+470.22)

Афанасьева Е.Н., Миронов Ю.Б. (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

ЗОЛОТОУРАНОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛАПЛАНДСКОГО ПОЯСА (БАЛТИЙСКИЙ ЩИТ)

*Рассмотрены структурно-вещественные особенности золотоуранового оруденения центральной части Лапландского пояса, в пределах которой выделены Куусамо-Пана-Куоляярвинский золотоурановый рудный район (Россия, Финляндия), а также Кемп-Торнио золотоурановый и Киттиля-Сиркку золоторудный районы (Финляндия). Выполнен сравнительный анализ структурно-вещественных характеристик и пространственно-временных закономерностей размещения золотоурановых рудных объектов российской и зарубежной частей Балтийского щита, включающий особенности рудовмещающих пород, рудоконтролирующих структур, типов околорудных метасоматитов, состав рудной минерализации. Сделан вывод о перспективах выявления в пределах Пана-Куоляярвинского прогиба золоторудных объектов различных рудных формаций. Даны рекомендации по дальнейшим работам. **Ключевые слова:** Балтийский щит, золото, месторождения Юомасуо, Пахтаваара, Ромпас, метасоматиты, рудопроявление Озерное, уран.*

Afanaseva E.N., Mironov Yu.B. (VSEGEI)

URANIUM AND GOLD MINERALIZATION IN THE CENTRAL PART OF THE LAPLAND BELT (THE BALTIC SHIELD)

Structural and compositional features of the gold-uranium mineralization in the Central part of the Lapland Belt are considered. The Kuusamo-Pana-Kuolajarvi gold-uranium ore district (Russia, Finland), Kemi-Tornio gold-uranium (Finland) and Kittilla-Sirkku gold ore district (Finland) were allocated. Comparative analysis of the structural and compositional features, spatial and temporal patterns of gold and uranium ore objects distribution of the Russian and foreign

*parts of the Baltic Shield was made. This concerns the ore-bearing rocks features, ore-controlling structures, the types of bearing-ore metasomatic rocks, the composition of the ore mineralization, etc. The conclusion about the prospects of detection within the Pana--Kuolajarvi Trough of gold ore objects of different ore formations, and recommendations for further work are given. **Keywords:** Baltic Shield, Yuomasuo, Pakhtavaara, Rompas deposits, gold, Ozernoye mineral occurrences, metasomatites, uranium.*

Лапландский рифтогенный пояс (Восточно-Карельская зона), разделяющий Карельскую гранит-зеленокаменную область и Беломорский подвижный пояс, окончательно сформировался в ходе свекофеннской коллизии между Карельским и Беломорским мегаблоками на рубеже 1,95–1,65 млн лет, которая сопровождалась поддвижением Карельского мегаблока под Беломорский мегаблок [5]. Есть основания полагать, что коллизия нашла отражение в региональной структурно-металлогенической зональности, распространившейся на весь Карельский кратон [1]. При этом, максимальное проявление дислокационного процесса имело место в пределах Восточно-Карельской структурной зоны, наиболее приближенной к области сопряжения Карельской гранит-зеленокаменной области, и Беломорского подвижного пояса, пространственно совпадающего с рифтогенным поясом. Максимальная деформированность пород Восточно-Карельской зоны отчетливо коррелируется с другими факторами, определяющими ее металлогеническую специализацию. Это шовная, краевая, долгоживущая мобильно проницаемая зона Карельского кратона, испытывавшая многократные тектонические и гидротермально-метасоматические преобразования. Она характеризуется максимальной полнотой и мощностью разрезов раннепротерозойских (палеопротерозойских) комплексов, широким развитием углеродистых и углеродсодержащих пород, интенсивным проявлением интрузивного магматизма. Восточно-Карельская зона трассируется глубинными разломами, которые создавали благоприятные условия для циркуляции рудоносных растворов [1, 3].

В геологическом отношении центральную часть Лапландского пояса составляют следующие раннепротерозойские (палеопротерозойские) структуры: Куусамо-Пана-Куоляярвинский прогиб, пояс Киттиля и пояс Пурапохиа, которые размещаются вокруг Центрально-Лапландского гранитоидного массива (рис. 1).

Металлогения центральной части Лапландского пояса определяется объектами разных рудных формаций, что определило выделение металлогенических таксонов с различной специализацией: Куусамо-Пана-Куоляярвинского (рис. 1, 2) и Кемп-Торнио золотоурановых с медью рудных районов [8] и Киттиля-Сиркку золоторудного района, вмещающего такие известные месторождения золота, как Суурикуусикко, Саатапора, Пахтаваара (рис. 1). Куусамо-Пана-Куоляярвинский рудный район объединяет меридиональный Куоляярвинский и субширотный Куусамо-Панаярвинский прогибы, отличающиеся временем заложения,

типом разреза, характером и интенсивностью проявления складчатых и складчато-разрывных нарушений.

Куоляярвинский прогиб вмещает малое месторождение золота Майское золото кварцевой малосульфидной формации, а также ряд проявлений золота, расположенных в пределах Янисваарской и Нилуттиярвинской тектонических зон (А.Г. Леонтьев и др., 1997). Золоторудные объекты представлены малосульфидными жилами, локализованными среди метаэффузивов основного и среднего составов сариолия. Мощность жил колеблется от 0,3–0,5 до 20 м. В 66 из 174 кварцевых жил зафиксировано золото с содержаниями десятые-сотые г/т; в 23 жилах содержания золота — от 0,1 до 1–2 г/т (А.Д. Даин и др., 1975, 1978). На месторождении Майское выделено две кварцево-жильные зоны северо-восточного простирания, прослеженные на 2,5–3 км на глубину до 60–80 м; мощность зон составляет 40–50 м. На месторождении выявлено 6 рудных тел. Рудная минерализация представлена пирротином, халькопиритом, пиритом, сфалеритом, галенитом; нередко отмечается видимое золото. Минералогическим анализом установлены кобальтин, пентландит, кубанит, халькозин, блеклая руда, магнетит. Содержания сульфидов составляют 0,5–1 % (до 3 %); жилы относятся к классу малосульфидных. Золото высокопробное. Золото неравномерное — от следов до 146 г/т, 263 г/т, 580 г/т; среднее содержание золота колеблется от 1,1 до 28 г/т; содержание Cu до 3 %, Pb — 0,3 %, Ag — 0,008 %, As — 0,15 %.

Помимо золоторудных в пределах Куоляярвинского прогиба известно также большое число урановых объектов (рудопроявления Лагерное, Озерное, Алакуртти и др.). Практически со всеми рудопроявлениями урана в пределах сопредельной структуры Куусамо в Финляндии связаны аномальные концентрации золота [11]. Характер гидротермально-метасоматических преобразований, сопровождаемых формированием урановой, золотоурановой минерализации и состав рудных минералов изучены на рудопроявлениях Озерное, Лагерное, Алакуртти, определяющих проявление альбититов и альбит-карбонатных метасоматитов. Рудные тела размещаются среди альбититов и альбит-карбонатных брекчий, выполняющих ядерные части рудоносных зон (рис. 3Б); в экзоконтактах тел альбититов выявлены зоны хлоритолитов мощностью 0,5–1 м, в состав которых входят хлорит, карбонат и биотит. Наибольшим распространением в пределах рудоносных зон пользуется уранинит (от 0,5–1 до 3 %), который образует идиоморфные (гипидиоморфные) зерна размером до 1–2 мм или скопления зерен в кальцитовом цементе альбит-карбонатных брекчий. Помимо уранинита в рудных зонах установлен браннерит в виде ксеноморфных выделений и крупных зерен неправильной формы, локализованных в карбонатном материале. При изучении состава урановых минералов из рудных зон рудопроявления Алакуртти установлен коффинит, развивающийся по микротрещинам в уранините. Прожилки, состоящие из срост-

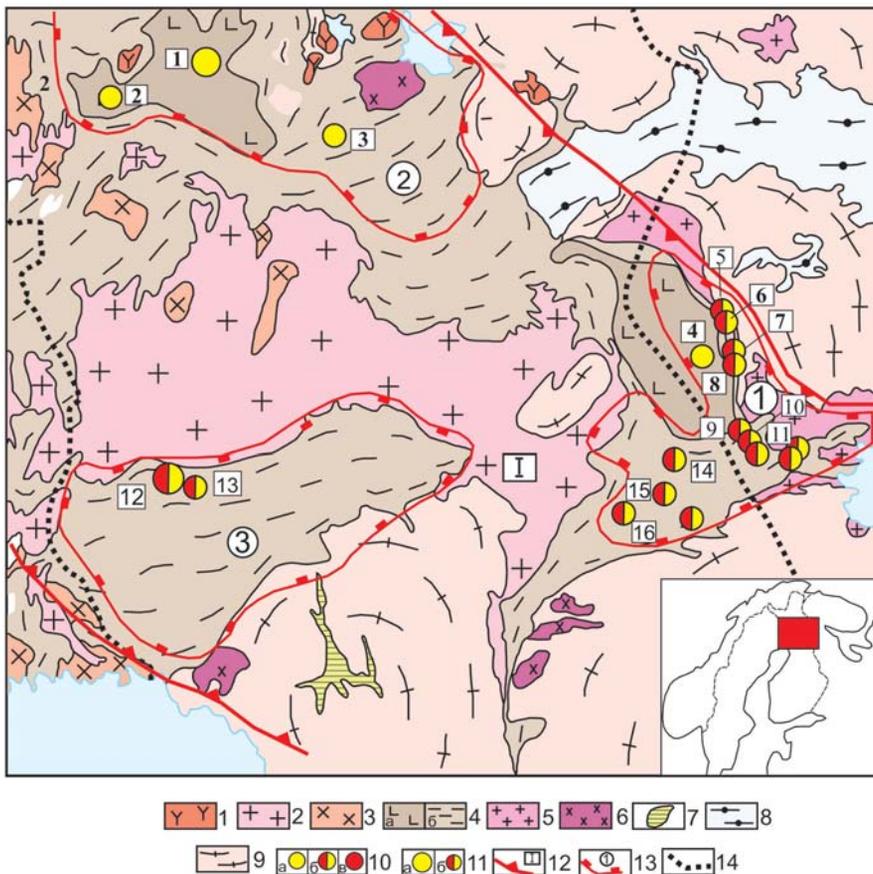


Рис. 1. Схема металлогенического районирования (на Au и U): 1–4 — ранний протерозой: 1 — граниты, гранодиориты, кварцевые монцитоны; 2 — граниты, пегматиты; 3 — гранодиориты, тоналиты, граниты, монцитоны; 4 — толеитовые базальты, риолиты, кремнистые сланцы (а), черные сланцы, граувакки, кварциты, песчаники, аркозовые Au песчаники, конгломераты, гравелиты (б); 5–9 — архей: 5 — граниты, пегматиты; 6 — граниты, гранодиориты, кварцевые диориты; 7 — коматиты, базальты, андезиты; 8 — слюдяные сланцы и гнейсы, амфиболовые гнейсы, амфиболиты; 9 — тоналиты, трондземиты, гранодиориты; 10–11 — рудные объекты: 10 — месторождения и рудопроявления золота (а), золота и урана (б), урана (в); 11 — крупные месторождения (а), малые месторождения и рудопроявления (б). Месторождения, рудопроявления и проявления: 1 — Суурикуусикко, 2 — Саатапора, 3 — Пахтаваара, 4 — Майское, 5 — Алим-Курсьярви, 6 — Алакуртти, 7 — Озерное, 8 — Лагерное, 9 — Хейкин-ярви, 10 — Майтуйоки, 11 — Ристаниеми, 12 — Ромпас, 13 — Палокас, 14 — Юомасуо, 15 — Конттиахо, 16 — Коуверваара. Металлогеническое районирование: 12 — Восточно-Карельская структурно-металлогеническая зона, 13 — рудные районы: 1 — Куусамо-Пана-Куоляярвинский (Au, U), 2 — Киттиля-Сиркку (Au), Кемпи-Торнио (Au, U, Cu), 14 — государственная граница

ков самородного золота, размером 0,03 мм с алтаитом, размером 0,025 мм также развиваются по микротрещинам в уранините (рис. 4 В). Зерна самородного золота установлены также в карбонатной брекчии в ассоциации с уранинитом, алтаитом, теллуридами висмута и никеля (мелонит). Золото по составу высокопробное; содержание Ag — от 0,01 до 6,9 %, содержание Au — 93,3–99,9 %.

В рудных зонах урановых проявлений выявлена разнообразная сульфидная минерализация (молибденит, пирит, халькопирит, галенит, реже сфалерит или пирротин), наиболее полно изученная на рудопрояв-

лении Озерное. Установлено три разновидности молибденита: тонкие пластинки (и их агрегаты) размером от 0,1 до 0,8–1 мм, сферолиты, размером до 3–4 мм и розеточные агрегаты. Молибденит находится в тесной ассоциации с уранинитом, развиваясь либо по трещинам, либо образуя срастания с уранинитом. Помимо молибденита в рудоносных зонах установлено присутствие пирита двух генераций: ранний — в виде мелких зерен или идиоморфных вкрапленников и поздний — в форме прожилков, заполняющих микротрещины в магнетите, халькопирите или уранините. В состав рудной минерализации входят сфалерит,

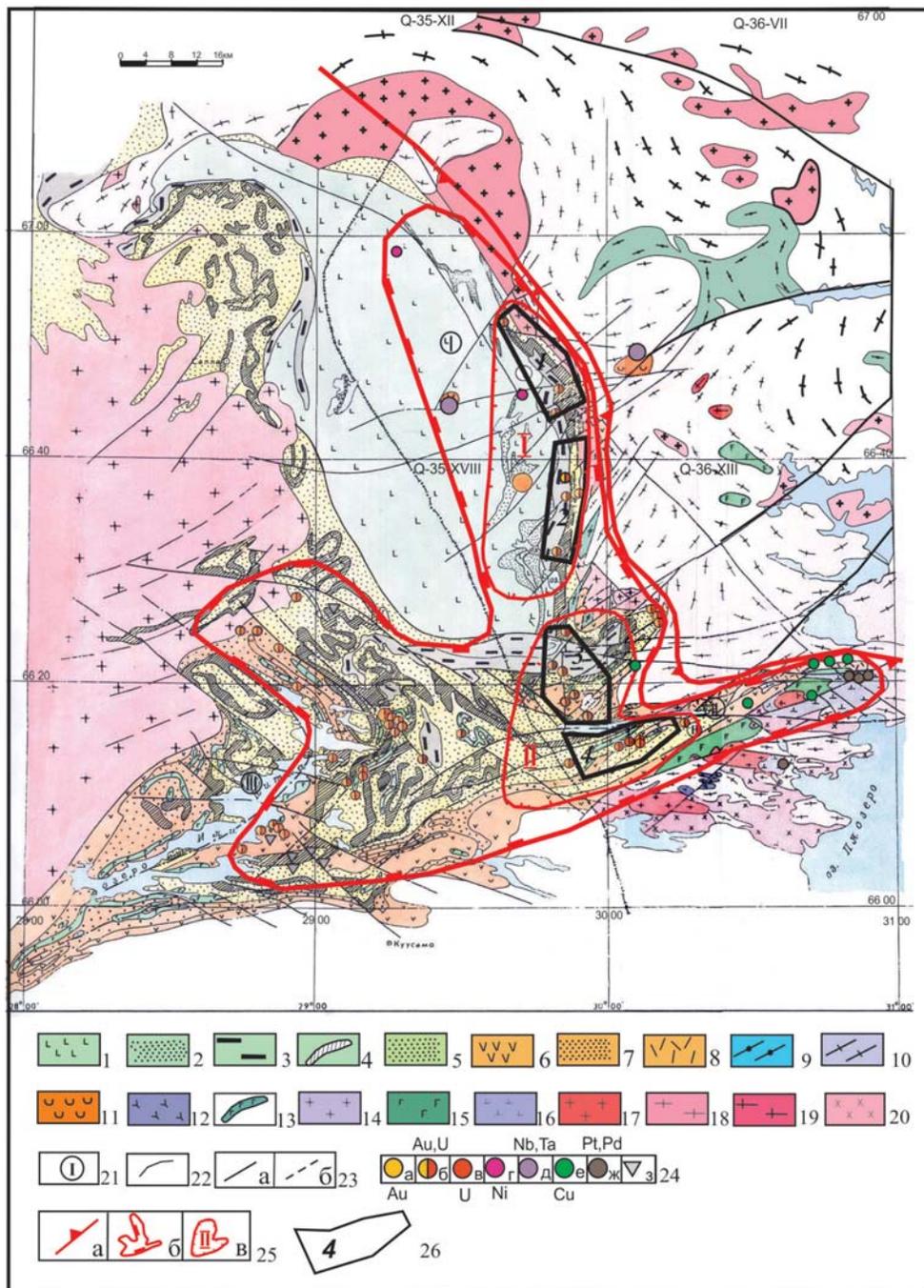


Рис.2. Схема геологического строения Куусамо-Пана-Куоляярвинского рудного района.

Стратифицированные комплексы. 1–3 — людиковый: 1 — metabазальты, метапорфириты, метаандезито-базальты; 2 — метапесчаники, метаконгломераты, метаалевролиты с прослоями метатиффов; 3 — метатиффы, метатиффолавы, сланцы амфиболовые, биотит-амфиболовые, асто углеродсодержащие; 4–5 — ятулий: 4 — метапорфириты с прослоями метатиффолав, биотитовые, амфибол-биотитовые сланцы; 5 — песчаники, кварцито-песчаники, кварциты; 6–7 — сариолий: 6 — метаандезиты, метаандезито-базальты, метатиффы, метатиффобрекчии, 7 — метапесчаники, кварциты, конгломераты; 8 — кварцевые порфиры, кератофиры сумия; 9 — гнейсы биотитовые, амфибол-биотитовые, амфиболиты лопия; 10 — амфиболовые, биотит-амфиболовые гнейсы, плагиогнейсы саамия. **Интрузивные комплексы:** 11 — ультраосновные и щелочные породы палеозоя; **ранний протерозой:** 12 — метаоливиниты, метапироксениты, метаперидотиты; 13 — метагаббро, метагаббро-долериты; 14 — граниты микроклиновые, плагиомикроклиновые; 15 — метагаббро, метагаббро-диабазы, ортоамфиболиты; 16 — нориты, габбро-нориты, пироксениты; 17 — граниты микроклиновые, гранодиориты; 18 — граниты, гнейсо-граниты, мигматиты; 19 — граниты плагиоклазовые, гнейсо-граниты; 20 — диориты, гранодиориты; 21 — **структуры:** I — Куоляярвинская, II — Панаяярвинская, III — пояс Куусамо; 22 — границы пород; 23 — разломы установленные (а), предполагаемые (б); 24 — рудные объекты: Au (а), Au, U (б), U (в), Ni (г), Nb, Ta (д), Cu (е), Pt, Pd (ж), Fe-сульфидные, Au-содержащие (з); 25 — металлогеническое районирование: Восточно-Карельская структурно-металлогеническая зона (а), Куусамо-Пана-Куоляярвинский золото-урановорудный район (б), рудные узлы: I — Алим-Курсуярвинский, II — Савоярви-Каунтияярвинский (в); 26 — прогнозные площади: 1 — Алимкурсуярви, 2 — Нилуттияярвинская, 3 — Савоярвинская, 4 — Южно-Панаяярвинская

логеническая зона (а), Куусамо-Пана-Куоляярвинский золото-урановорудный район (б), рудные узлы: I — Алим-Курсуярвинский, II — Савоярви-Каунтияярвинский (в); 26 — прогнозные площади: 1 — Алимкурсуярви, 2 — Нилуттияярвинская, 3 — Савоярвинская, 4 — Южно-Панаяярвинская

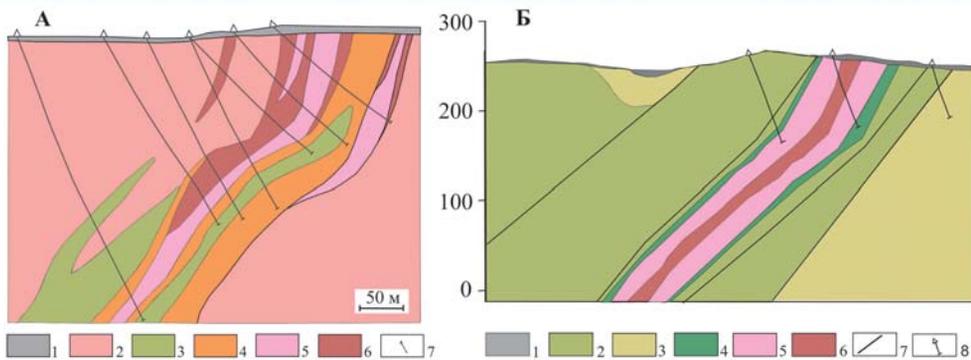


Рис. 3. Разрезы через рудоносные зоны: **А** — месторождение золота Юомасуо (Финляндия) [11], **Б** — рудопроявление урана Озерное (Карелия). **А:** 1 — четвертичные образования; 2 — альбитовые породы; 3 — хлорит-талк-амфиболовые породы; 4 — альбит-амфибол-кварц-карбонатные породы; 5 — кварц-хлоритовые породы, вмещающие Со-оруденение; 6 — кварц-серицитовые породы, вмещающие Au, Au-U оруденение; **Б:** 1 — четвертичные образования; 2 — кварц-плагиоклаз-актинолитовые, кварц-биотит-актинолитовые сланцы; 3 — кварциты, кварцито-песчаники, метаалевролиты; 4 — хлоритолиты; 5 — альбититы; 6 — альбит-карбонатные метасоматиты, вмещающие золото-урановое оруденение; 7 — разломы; 8 — скважины

образующий идиоморфные зерна, зачастую в оторочке молибденита, а также галенит, входящий в состав микропрожилков в уранините или браннерите, халькопирит, реже пирротин.

На рудопроявлениях Озерное, Лагерное и Алакуртти выявлены также кварцевые с сульфидами жилы, аналогичные по составу, формам выделения сульфидов и условиям формирования кварцевым жилам месторождения Майское. Рудная минерализация в нерадиоактивных кварцевых жилах рудопроявления Озерное представлена большими скоплениями (до 10 %) крупнозернистого халькопирита (до 5 мм), пиритом, а также мелкой вкрапленностью галенита.

Альбит-карбонатные метасоматиты рудоносных зон характеризуются аномальными содержаниями урана, достигающими в штучных пробах 0,25 % (рудопроявление Лагерное), 1,75 % (рудопроявление Кясиярви); в бороздовых пробах содержания урана достигают 0,06 % на 0,8 м (рудопроявление Лагерное), 0,1 % на 0,5 м (рудопроявление Озерное), 0,36 % на 1 м (рудопроявление Кварцевое), 2,12 % на 0,8 м (рудопроявление Алакуртти). Аномальные содержания урана сопровождаются, как было установлено на рудопроявлении Озерное, повышенными и аномальными содержаниями Мо до 0,19 %, Ag — 0,44 г/т, Вi до 14,5 г/т (на 0,5 м). Содержания золота в штучных пробах из альбититов достигают 5,5 г/т, в бороздовых пробах из альбит-карбонатных метасоматитов — 0,1 г/т на 0,5 м, 0,5 г/т на 0,5 м. Содержания золота в штучных пробах из сульфидно-кварцевых жил рудоносных зон достигают 20 г/т, в бороздовых пробах колеблются от 0,025 — 0,064 г/т (на 1 м) до 0,21 г/т на 1 м, 0,42 г/т на 1 м, 0,7 г/т на 1 м. Они сопровождаются аномальными содержаниями меди — до 250 г/т на 1 м, 2 420 г/т на 1 м.

Субширотный Куусамо-Панаярвинский рифтогенный прогиб на российской части Балтийского щита вмещает рудопроявления урана (Хейкин-ярви, Майтйюоки, Ристаниemi и др.), локализованные в породах нижней части раннепротерозойского разреза, относи-

мых к панаярвинской свите сариолия (рис. 2). Пространственное размещение этих рудных объектов контролируется куполовидной Ракку-тунтури антиклинальной структурой. Рудопроявления размещаются на крыльях антиклинали, а также вдоль осложняющих ее зон расщепления и брекчирования. На наиболее хорошо изученном участке рудопроявления Хейкин-ярви выявлено 18 рудных тел линзовидной формы, прослеживающихся по простиранию на 4–5 (до 10 м) при мощности 0,5–1,5 м. Рудные тела ло-

кализированы в зонах проявления слюдистых, слюдисто-карбонатных метасоматитов. Рудная минерализация представлена уранинитом, кобальтовым пиритом, пирротинном. Рудные минералы располагаются вдоль швов катаклазитов, милонитов, либо вдоль границ кварцевых прожилков. Содержание золота в слюдистых метасоматитах составляет 0,01–0,02 г/т, при аномальных содержаниях Мо до 400 г/т, U до 0,18 %, Pb до 630 г/т. По данным А.М. Ахмедова содержания золота в серицитовых кварцитах достигают в отдельных штучных пробах 0,62 г/т, при повышенных содержаниях Со, Вi, Мо, U (А.М. Ахмедов и др., 2000 г.). На проявлениях Ристаниemi и Майтйюоки, размещающихся в южном крыле антиклинали Ракку-тунтури, аномальные содержания золота (до 0,1 г/т) и элементов спутников золота Си (до 0,1 %), Со (до 200 г/т), Ag (до 2 г/т) ассоциированы с сульфидсодержащими талк-карбонат-биотит-хлоритовыми метасоматитами.

Зарубежную часть рифтогенного прогиба (структура Куусамо) выполняют раннепротерозойские (палеопротерозойские) вулканогенно-осадочные образования, представленные андезитами, андезито-базальтами, базальтами, серицитовыми кварцитами, серицитовыми сланцами и кварцитами, метаморфизованными в зеленосланцевой фации метаморфизма (рис. 2). Широким развитием пользуются гранитоидные интрузии свекофеннского возраста, а также мафические дайки и силлы. Характерная особенность — широкий фронт альбитизации, захвативший как осадочные, так и вулканогенные породы, который к центральной части рудоносных зон сменяется серицитовыми, кварц-серицитовыми, кварц-хлоритовыми метасоматитами. В пределах структуры Куусамо выявлены месторождения двух основных типов: 1. Fe-Co-Au (Коувервара, Кантолахти и др.); 2. Fe-Co-Au-U (Конттиахо, Юомасуо и др.).

Наибольший интерес представляют Fe-Co-Au-U месторождения, типичными представителями которых являются месторождения Юомасуо и Конттиахо. Пространственное размещение месторождения Юомасуо

контролируется пластичными shear-зонами, в пределах которых отмечается развитие хлорит-талк-амфиболовых, альбит-амфибол-кварц-карбонатных, кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых метасоматитов, окруженных широкими зонами альбитизации (рис. 3А) [11]. Месторождение Конттиахо локализуется среди альбититов, альбититовых брекчий, содержащих жилы карбонатного, альбит-карбонатного составов.

Рудные тела размещаются среди кварц-серицит-хлоритовых пород, кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых метасоматитов, выполняющих ядерные части тектонических зон (месторождение Юомасу) или альбитовых, альбит-карбонатных брекчий (месторождение Конттиахо). Рудные зоны обогащены Co, Au, U, Mo (\pm Cu). Сульфидная минерализация на месторождениях представлена кобальтином, пирротинном, пиритом, халькопиритом, молибденитом, галенитом, урановая минерализация — уранинитом, обычно образующим крупные идиоморфные зерна размером до 0,5 см. Уранинит характеризуется довольно постоянным составом; он почти всегда содержит Pb. Характерным является наличие вокруг зерен уранинита радиоактивного растрескивания, вызванного распадом уранинита. Трещины затем заполняются вторичными урановыми минералами. Галенит также заполняет микротрещины в уранините. Золото наблюдается в виде микровключений в пирите, пирротине, а также в кобальтине и молибдените. Зерна самородного золота заключительной стадии или стадии мобилизации локализуются в микротрещинах в уранините совместно с теллуридами. Преобладающий размер зерен золота составляет более 10 мк. На месторождении Юомасу золото размещается на границе кварца и карбоната или в промежутках между сульфидами, карбонатом и силикатами. Мелкие зерна золота были установлены как микровключения в карбонате или кварце. Отмечается совместное нахождение золота и урана в пределах единых shear-зон (рис. 4 А). В большинстве случаев золото образует сростания с различными по составу теллуридами. Золото высокопробное (95,4–97,1 wt% Au, 1,1–4,3 wt% Ag); содержание Se — исключительно высокое (1,8 wt%), Te — низкое (<0,14 wt%). В минерализованных зонах были установлены зерна калаверита ($AuTe_2$) с содержанием Au — 42,83 wt%, Te — 55,71 wt% [8]. Кроме того,

в рудных зонах были выявлены такие минералы теллура и висмута, как алтаит (PbTe), образующий ксеноморфные зерна в трещинах в уранините, а также теллуридо-висмутит (BiTe), мелонит (NiTe), кобальт-никелевый теллурид — (CoNi)Te, фрохергит (FeTe), маттагамит — (Co, Fe)Te₂, а также такие специфичные минералы как кавазулит (Bi₂Te₂Se) и теллуриды Co и Pb (CoPbTeS) [9].

Уран и свинец являются одними из самых постоянных минералов, между которыми установлена значимая корреляционная связь. Содержания Th ниже 30 г/т. Th/U отношение меньше 1 во внешних частях минерализованных зон, но может быть очень высоким (> 100) в руде. Содержания Mo колеблются в широких пределах, от 100 до 500 г/т, Ag и Zn — очень низкие (5 г/т и 19 г/т соответственно). Средние содержания Co (на месторождении Юомасу) составляют 0,2 %, золота — 6 г/т. Содержание золота достигает 117 г/т; золото, совместно с ураном, теллуром и селеном размещается в зонах развития серицитовых, кварц-серицитовых и хлорит-серицитовых метасоматитов, выполняющих ядерные части рудоносных зон. Запасы золота на месторождении Юомасу составляют 9,58 Au т, при средних содержаниях 4,9 г/т Au в руде.

К западу от Куусамо-Пана-Куоляярвинского рудного района расположен раннепротерозойский сланцевый пояс Перапохиа с золотоурановыми проявлениями группы Ромпас, входящими в состав Кеми-Торнио золотоуранового рудного района (рис. 1).

При изучении урановорудных объектов Куоляярвинского прогиба за модель прогнозируемого оруденения были приняты золотоурановые проявления группы Ромпас, локализованные в пределах сланцевого пояса Перапохиа (Финляндия), характерная особенность которого — широкое развитие вулканитов основного состава, черных и слюдяных сланцев и граувакк, проявление позднеорогенного (1,84–1,80 млрд лет) и посторогенного (1,79–1,76 млрд лет) гранитоидного магматизма, наличие многочисленных кварц-карбонатных жил с аномальными содержаниями золота. В соответствии с опубликованными данными [6] и по результатам собственных минераграфических наблюдений при изучении аншлифов из рудных зон проявлений группы Ромпас правомерно заключить, что



Рис. 4. Характер золотоурановой минерализации на объектах Карелии и Финляндии: А — Месторождение Юомасу (Финляндия). Совместное нахождение урана и золота в shear-зонах [10]. Б — Месторождение Ромпас (Финляндия). Формы выделения золота в уранините. В — Рудопроявление урана Озерное (Карелия). Развитие золота с алтаитом по микротрещинам в уранините

Сравнительная характеристика проявленности рудоконтролирующих факторов рудных объектов Куола-Панаярвинского прогиба (Северная Карелия), поясов Куусамо и Перапиха (Финляндия)

Факторы	Россия			Финляндия	
	Примеры месторождений	Озерное, Лагерное, Альбит-1, Алим-Курсуярви	Юомасуо, Хангаслампи, Конттиахо, Пахтаваара	Группа объектов Ромпас	
Тип месторождения	U, Au-U, с Cu, Mo, Co в альбитовых, карбонат-альбитовых метасоматитах (Озерное, Лагерное), в совмещенных карбонат-альбитовых карбонатных (Альбит-1)	Fe-Co-Au-U в альбитовых, карбонат-альбитовых метасоматитах (Конттиахо), Fe-Co-Au-U в кварц-серицитовых, кварц-хлоритовых метасоматитах, сопряженных с альбитовыми метасоматитами (Юомасуо)	Au-U минерализация в кварц-карбонатных жилах среди альбитизированных биотитовых и амфиболовых сланцев		
Литологические (вмещающие породы)	Биотитовые, амфибол-биотитовые углеродистые и углеродсодержащие сланцы ятулия и людиковия	Серицитовые кварциты, сланцы, хемогенные кварциты ятулия, углеродсодержащие сланцы людиковия	Карбонатные породы, черные и слюдяные сланцы протерозойского возраста; степень метаморфизма — зеленосланцевая фация		
Структурные (рудоконтролирующие структуры)	Зоны глубинных разломов (Озерное, Лагерное); зоны складчатых и сопряженных с ними разрывных нарушений, антиклинальные складки (Алим-Курсуярви)	Зоны брекчий (Конттиахо); зоны пластических деформаций (shear-зоны) (Юомасуо)	Зоны складчатых нарушений, сопряженные с зонами сдвиговых деформаций		
Гидротермально-метасоматические (тип изменений)	Альбитизация, альбит-карбонатные метасоматиты	Биотитизация, хлоритизация, серицитизация, альбитизация, карбонатизация	Биотитизация с локальными зонами сильной альбитизации, карбонатизация; возникновение асфальтенов		
Магматические	Дайки долеритов, габбро-долеритов; амфиболитизированных габбро-долеритов, лейкогаббро	Лейкогаббро, горнблендиты; граниты, лейкограниты	Дайки и силы основного состава; турмалин-содержащие позднеорогенные и посторогенные граниты		
Рудная минерализация	Уранинит, браннерит, золото, алтаит, мелонит, молибденит, пирит, пирротин, кобальтин, Со-пентландит, халькопирит	Пирротин, пирит, магнетит, кобальтин, Со-пентландит, халькопирит, уранинит, ильменит, золото, рутил, теллуриды, висмутиды, молибденит	Уранинит, самородное золото, хуньчунит, галенит, алтаит и никелин, мальдонит, молибденит, кобальтин, пирротин, пентландит, пирит и халькопирит		
Текстурные особенности руд	Прожилковые, прожилково-вкрапленные	Прожилковые	Вкрапленные		

золоторудная минерализация имеет отчетливую связь с урановой минерализацией, представленной преимущественно уранинитом. Золото локализуется в пустотах и микротрещинах в уранините (рис. 4 Б), а также заполняет интерстиции между мелкозернистыми агрегатами рыхлых зерен уранинита, локализованных в крупнозернистом амфиболе. Совместно с золотом развиваются такие минералы золота, как алтаит, мальдонит и хуньчунит, а также галенит, которые выполняют трещины в уранините или образуют тонкую вкрапленность в карбонатных породах в непосредственной близости с уранинитом. Зерна самородного золота размером до 2 мм имеют высокую пробность со средними масс. % $Ag = 1,0 \pm 0,5$ и $Cu = 0,5 \pm 0,3$. Все золоторудные объекты рудоносных зон Ромпас локализованы в ореолах повышенной радиоактивности.

На территории Финляндии на северо-западном продолжении Куусамо-Пана-Куолярвинского прогиба размещается ряд золоторудных месторождений, в том числе такие известные, как Суурикуусикко и Пахтаваара, входящие в состав Киттиля-Сиркку золоторудного района (рис. 1). Самым представительным является месторождение золота Суурикуусикко. Месторождение локализовано среди метасоматически измененных (альбитизация, карбонатизация, сульфидизация) графитистых сланцев, туффитов формации

Порконен, залегающих среди толеитовых базальтов; на месторождении широко развиты дайки альбитизированных фельзитов. Пространственное размещение рудных тел, представляющих собой субвертикальные пластовые залежи, контролируется субмеридиональной зоной разломов, прослеженных по простиранию на 10 км, при ширине от 1 до 60 м. Рудная минерализация носит прожилково-вкрапленный характер; она представлена пиритом, арсенопиритом, графитом; отмечаются также мальдонит и самородный висмут. В кристаллической решетке арсенопирита находится 93 % золота. Запасы руды на месторождении составляют 8,3 млн т, золота — 50,6 т с содержанием 6,1 г/т, при бортовом содержании 1 г/т [4].

К юго-востоку от месторождения Суурикуусикко расположено месторождение золота Пахтаваара с действующим на сегодняшний день и производящим золото предприятием. Две рудные зоны вмещают рудные тела, локализованные в тальк-хлоритовых, актинолитовых с кварцевыми жилами метасоматитах среди метакоматиитов [7]. Образование золота происходило на заключительной стадии минералообразования. Видимое золото локализуется на контакте жил кварца и метасоматически измененных коматиитов. Содержания золота колеблются в широких пределах. Запасы золота оцениваются в 12 т при средних содержаниях 4,0 г/т [4].

Проведенный сравнительный анализ критериев и признаков уранового, золото-уранового оруденения (табл. 1), в частности, характер и последовательность проявления гидротермально-метасоматических преобразований пород, рудный парагенезис, состав и характер проявления урановой и ассоциированной с ней золотой минерализации Пана-Куоляярвинской структуры в целом сопоставимы с таковыми для поясов Куусамо и Парапохиа сопредельной Финляндии, вмещающих такие известные месторождения как Юомасуо, Пахтаваара, проявления группы Ромпас, что выдвигает эту территорию в разряд перспективных на обнаружение золотого и золото-уранового оруденения.

В результате комплексного анализа всего объема данных проведена прогнозная оценка территории с выделением площадей, обладающих лицензионной привлекательностью и требующих постановки в их пределах крупномасштабных поисковых работ (рис. 2). Для этих площадей была проведена оценка прогнозных ресурсов на золото по кат. P₃ по методу аналогий (Е.Н. Афанасьева и др., 2004 г.). По совокупности критериев и признаков золотого оруденения наиболее перспективной на золото является Нилуттиярвинская площадь (70 км²), объединяющая известные рудопроявления урана Озерное, Лагерное, Алакуртти и др. Прогнозные ресурсы золота по кат. P₃ для Нилуттиярвинской площади оценены в 19 т (Е.Н. Афанасьева и др. 2004), урана (для всего Куоляярвинского прогиба) в 69 т (ГП «Невскгеология, 1999). Нилуттиярвинская площадь характеризуется интенсивным проявлением гидротермально-метасоматических преобразований пород (альбитизации, последующего брекчирования, карбонатизации, окварцевания), наличием рудопроявлений урана, в которых в пределах рудных зон установлены аномальные и рудные содержания золота, близостью структурно-вещественных обстановок локализации рудных объектов с месторождениями и проявлениями пояса Куусамо, а также на золото-урановых проявлениях группы Ромпас, что дает основание достаточно высоко оценить перспективы площади на выявление золоторудных объектов. При этом золоторудные концентрации могут быть связаны как с ураноносными альбит-карбонатными метасоматитами, так и с кварц-сульфидными жилами. Есть основание предполагать, что формирование урановых и связанных с ними золоторудных концентраций является результатом проявления единого многостадийного рудоформирующего процесса, обусловленного переносом и концентрацией рудного вещества в единых рудоносных зонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева, Е.Н. Структурная зональность протерозоид Карелии: Автореф. канд. диссертации / Е.Н. Афанасьева. — СПб., 1996. — 21 с.
2. Афанасьева, Е.Н. Комплексное золотоурановое оруденение восточной части Балтийского щита / Е.Н. Афанасьева, Ю.Б. Миронов // Золото Фенноскандинавского щита: Матер. междунар. конф. — 2013. — С. 9–12.
3. Афанасьева, Е.Н. Металлогения урана Балтийского щита / Е.Н. Афанасьева, Ю.Б. Миронов // Уран: геология, ресурсы, производство: Тезисы третьего междунар. симпозиума. — М., 2013. — С. 21–23.
4. Коровкин, В.А. Недрa Северо-Запада Российской Федерации / В.А. Коровкин, Л.В. Турылева, Д.Г. Руденко и др. — СПб., 2003. — 461 с.

5. Минц, М.В. Ранний докембрий северо-востока Балтийского щита: палеогеодинамика, строение и эволюция континентальной коры / М.В. Минц, В.Н. Глазнев, А.Н. Конилов и др. — М., 1996. — 277 с.
6. Ferenc, Molnar Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralization at Rompas, Perapohja Schist Belt, Northern Finland / Molnar Ferenc, Oduro Harry, Nick D.J. Cook // Miner Deposita. — № 51. — P. 681–702.
7. Korhikoski, E. 1992. Geology and geochemistry of the metakomatiite-hosted Pahtavaara gold deposit in Sodankylä, Northern Finland, with emphasis on hydrothermal alteration / E. Korhikoski / Geological Survey of Finland, Bulletin 360. 96.
8. Mironov, Yu. Gold-Uranium mineralization in the Kuusamo-Paanajarvi Ore District (Fennoscandian Shield) / Yu. Mironov, E. Afanaseva / Mineral resources in a sustainable world. 13th SGA Biennial Meeting. Nancy, 2015. — 1843–1845.
9. Pankka, Y. Early Proterozoic Au-Ce-U mineralization in the Kuusamo district, North-Eastern Finland / Y. Pankka, E. Vanhanen / Precambrian Research, 58. — H. 387–400.
10. Pohlolainen, E. Norm-related Mineral Development in Finland / E. Pohlolainen, H. Tuovinen, Sorjonen-Ward P. — 2016.
11. Vanhanen, E. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au (U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Shield Belt, North-Eastern Finland / E. Vanhanen — 2001. — 227 p.

© Афанасьева Е.Н., Миронов Ю.Б., 2017

Афанасьева Елена Николаевна // Elena_Afanaseva@vsegei.ru
Миронов Юрий Борисович // Yuri_Mironov@vsegei.ru

УДК 550.83.04:550.812:553.078

**Петров В.А., Минаев В.А., Устинов С.А.,
Полуктов В.В., Андреева О.В. (ИГЕМ РАН)**

ОЦЕНКА ПУТЕЙ И ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МИГРАЦИИ РУДОНОСНЫХ РАСТВОРОВ МЕТОДАМИ СТРУКТУРНОЙ ПЕТРОФИЗИКИ И МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

*С точки зрения фундаментальных и прикладных аспектов геологической науки и практики одной из наиболее важных задач является реконструкция пространственно-временной связи между деформациями массивов пород, их флюидной проницаемостью и минералообразованием в трещинно-поровом объеме зоны рудоотложения. В связи с этим возникает необходимость разработки новых подходов к установлению целого ряда параметров, определяющих динамику протекания процессов мобилизации, переноса, отложения и переотложения рудного вещества. **Ключевые слова:** гранитоиды, месторождение урана, флюидные потоки, гидротермальные растворы, петрофизический анализ, микроструктурный анализ.*

Petrov V.A., Minaev V.A., Ustinov S.A., Poluektov V.V., Andreeva O.V. (IGEM RAS)

EVALUATION OF WAYS AND FLUIDODYNAMIC CONDITIONS OF MIGRATION OF ORE-SOLUBLE SOLUTIONS BY STRUCTURAL PETROPHYSICS AND MICROSTRUCTURE ANALYSIS

From the position of fundamental and applied aspects of geological science and practice, one of the most important task is the reconstruction of the space-time relationship between deformations of rock massifs, their fluid permeability and mineral formation in the fractured-pore volume of the ore deposition zone. In this regard, there is a need to develop new