

Научная статья

УДК 553.495'411(470.21/.22)

doi:10.52349/0869-7892_2024_100_147-164

**Золото-урановое оруденение
Балтийского щита****Е. Н. Афанасьева¹✉, Ю. Б. Миронов¹,
А. А. Петрова¹, А. В. Козлов²**

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия,
Elena_Afanasyeva@karpinskyinstitute.ru✉

²Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Авторами приведены сведения о структурно-вещественных особенностях и основных типах уранового и золото-уранового оруденения Балтийского щита. Рассмотрены особенности геологического строения, сведения о критериях и признаках оруденения, характеристика известных урановых, золото-урановых объектов, дана оценка прогнозных ресурсов. Особое внимание уделено характеристике гидротермально-метасоматических преобразований пород участка Озерный Куоляярвинского рудного узла, последовательности их проявления, а также стадийности образования рудной минерализации, составе золотой, урановой, сульфидной минерализации. Приведены данные о содержаниях золота и элементов спутников золота в рудоносных зонах рудопроявлений Озерное, Лагерное. Выполнен сравнительный анализ пространственно-временных закономерностей размещения золото-урановых объектов российской (рудопроявления Озерное, Лагерное, Алим-Курсуярви) и зарубежной частей Балтийского щита (месторождения Юомасуо, Конттиахо, Ромпас). Это дает основание для высокой оценки перспектив Куоляярвинского рудного узла на выявление золото-урановых месторождений. Приведены данные о возрасте рудовмещающих метасоматитов и урановой минерализации проявления Озерное, которые позволяют говорить о многостадийности формирования рудной минерализации. Предложены рекомендации по продолжению изучения раннепротерозойских структур, нацеленных на выявление масштабов золото-уранового оруденения и создание рудно-генетической модели его формирования.

Ключевые слова: Балтийский щит, золото, уран, проявления группы Ромпас, Пана-Куоляярвинский прогиб

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам за анализ статьи и рекомендации по повышению ее качества.

Для цитирования: Золото-урановое оруденение Балтийского щита / Е. Н. Афанасьева [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 147–164. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_147-164

Original article

UDC 553.495'411(470.21/.22)

doi:10.52349/0869-7892_2024_100_147-164



© Е. Н. Афанасьева, Ю. Б. Миронов,
А. А. Петрова, А. В. Козлов, 2024

**Gold-Uranium mineralization
in the Baltic Shield****E. N. Afanaseva¹✉, Yu. B. Mironov¹,
A. A. Petrova¹, A. V. Kozlov²**

¹All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia, elena_afanasyeva@karpinskyinstitute.ru✉

²Saint-Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The authors provide information on the structural and material features, as well as the main types of uranium and gold-uranium mineralization of the Baltic Shield. The paper specifies the geological composition, informs about the criteria and signs of mineralization, characterizes well-known gold-uranium objects, and assesses the predicted resources. The focus is on characteristics of hydrothermal-metasomatic transformations of the Ozerny site rocks in the Kuolajarvi ore cluster, their manifestation sequence, as well as the ore mineralization formation stages, composition of gold, uranium, and sulfide mineralization. There are data on the content of gold and elements of gold satellites in the ore-bearing zones of the Ozernoye and Lagernoye ore occurrences. The comparative analysis covers spatiotemporal patterns of the gold-uranium ore objects distribution in the Russian (Ozernoye, Lagernoye, Alim-Kursujarvi ore occurrences) and foreign parts of the Baltic Shield (Juomasuo, Konttiahio, Rompas deposits). This highly evaluates prospects of the Kuolajarvi ore cluster for identifying gold-uranium deposits. The data on the age of the ore-hosting metasomatic rocks and uranium mineralization of the Ozernoye occurrence evidence the multi-stage formation of the ore mineralization. It is recommended to continue studying the Early Proterozoic structures in order to identify the scale of gold-uranium mineralization and create an ore-genetic model of its formation.

Keywords: *Baltic Shield, gold, uranium, occurrences of the Rompas Group, Kuola-Panajarvi trough*

Acknowledgments: we are grateful to the reviewers for analyzing the article and recommendations to improve its content.

For citation: Gold-Uranium mineralization in the Baltic Shield / E. N. Afanaseva [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 147–164. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_147-164

ВВЕДЕНИЕ

Территория Балтийского (Фенноскандинавского) щита охватывает Кольско-Беломорский, Лапландско-Карельский, Свекофеннский, Готско-Дальсландский мегаблоки, а также разделяющие их шовные складчато-надвиговые зоны: Восточно-Карельскую, Раахе-Ладожскую и Транс-Сканданавскую (рис. 1). Эти долгоживущие структуры сложены интенсивно метаморфизованными вулканогенными, осадочно-вулканогенными образованиями разного состава, испытывавшими неоднократные преобразования под воздействием разновозрастных тектонических движений, гидротермально-метасоматических и экзогенных процессов, что нашло отражение в специфике рудогенеза.

В основу статьи положены результаты интенсивных и целенаправленных прогнозных, прогноз-металлогенических и поисковых работ, ранее проведенных на российской части Балтийского щита геологами различных организаций, а на зарубежной — специалистами финской, норвежской и шведской геологических служб, которые привели к открытию урановых месторождений различной рудно-формационной принадлежности: типа несогласия, «песчаниковых» (битумно-урановых), кварцево-галечных конгломератов, жильных (в классификации МАГАТЭ), а также многочисленных рудопроявлений, проявлений, аномалий [1–3].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Урановые, комплексные с ураном рудные объекты. Наиболее перспективными на выявление уранового и комплексного с ураном оруденения в пределах российской части Балтийского щита

являются зоны структурно-стратиграфического несогласия (далее — ССН) и зоны складчато-разрывных дислокаций (далее — СРД). Потенциал разных уровней ССН на выявление уранового оруденения различный: зоны предрифейского несогласия характеризуются высокими содержаниями урана, зоны предвендского ССН — низкими содержаниями урана со значительными запасами урановых руд, зоны раннепротерозойского ССН — низкими содержаниями урана [4].

Предрифейское ССН имеет наивысший потенциал, который определяется месторождением Карку, локализованным в Пашско-Ладожском грабене. Структурно-стратиграфическое несогласие обусловлено пологим залеганием рифейских осадочных образований на интенсивно дислоцированных породах архея и протерозоя. Рифейские отложения и породы фундамента интенсивно каолинизированы, хлоритизированы, карбонатизированы. Отмечаются многочисленные выделения сульфидов и битумов. Урановое оруденение приурочено к цементу песчаников; кроме того, урановая минерализация установлена также и в породах фундамента. Она представлена настураном и коффинитом. Содержание урана колеблется от 0,03 до 0,2–0,5 %, до 19 % [7]. В рудах отмечаются повышенные содержания Zn, Ag, Pb. Возраст оруденения — от 1400 до 200–190 млн лет. Апробированные ВИМСом [6] прогнозны ресурсы для Ладожского потенциально урановорудного района составляют 50 тыс. т урана (P_3), для Салминского рудного узла — 4 тыс. т (P_1) и также 4 тыс. т (P_2). Авторские прогнозны ресурсы для месторождения Карку составляют 6,7 тыс. т U (P_1), 50 тыс. т ($P_1 + P_2$) [6].

Рифейский прогиб известен также в пределах Беломорского мегаблока, где выделен Терскобережный потенциально урановорудный район.

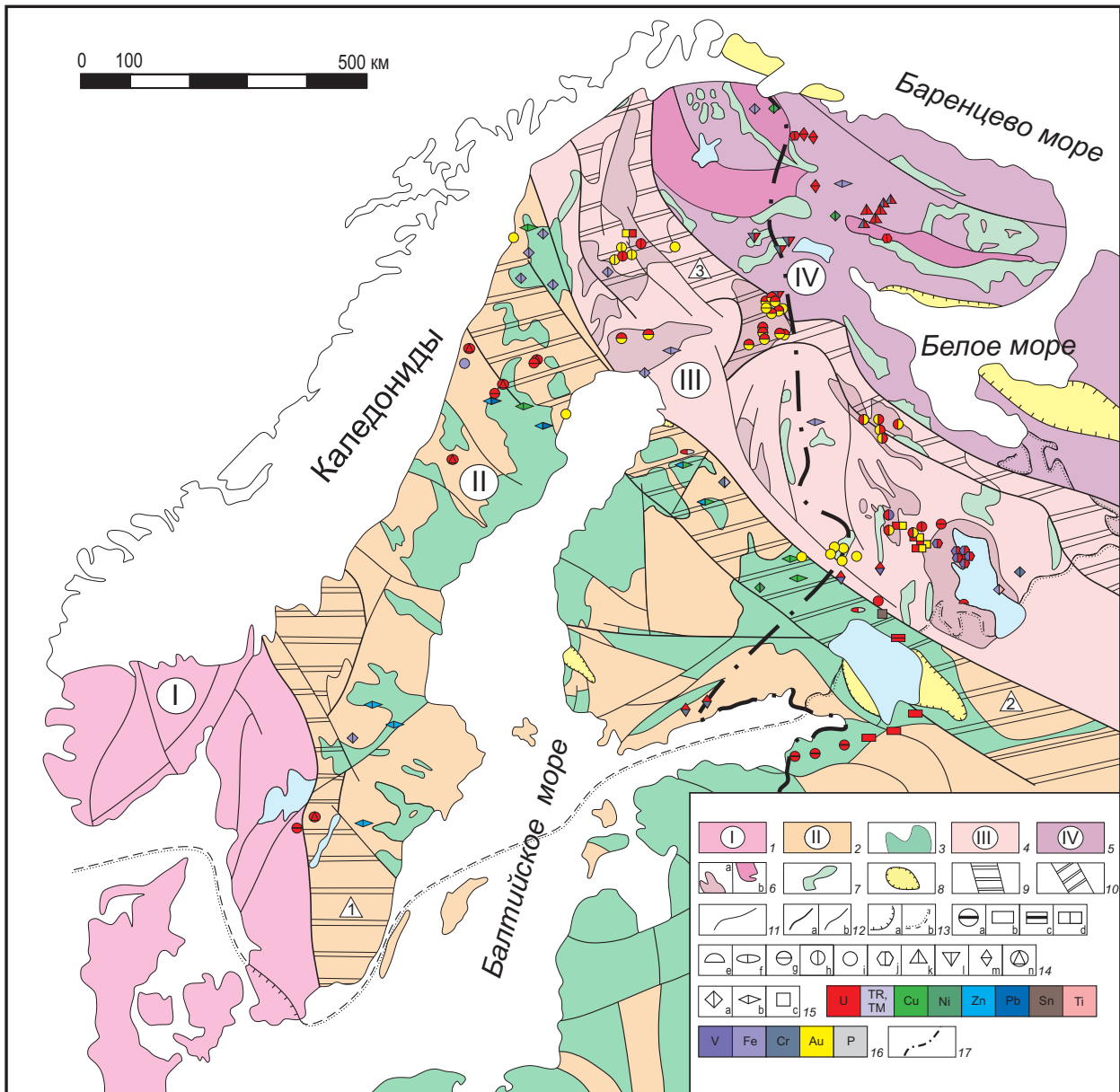
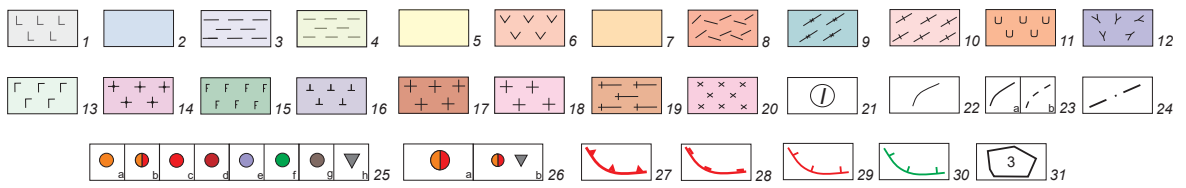
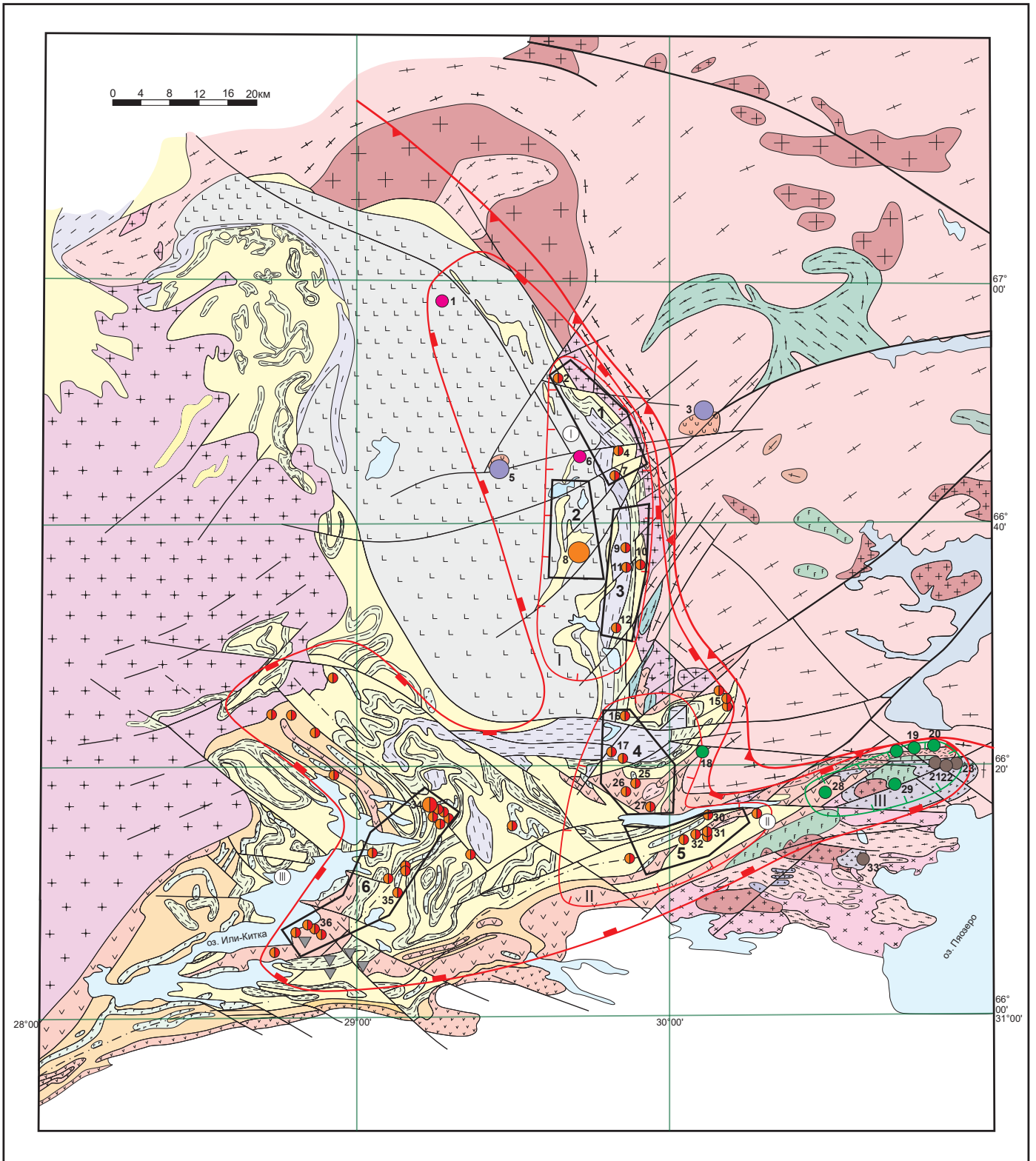


Рис. 1. Тектоническая схема Фенноскандинавского щита

1–7 — мегаблоки: 1 — Дальсандский (I); 2, 3 — Свекофенский (II): 2 — гранитоиды, 3 — вулканогенные породы; 4 — Лапландско-Карельский (III); 5 — Кольско-Беломорский (IV); 6 — протерозойские структуры в пределах Лапландско-Карельского мегаблока (a), Кольско-Беломорского мегаблока (b); 7 — архейские зеленокаменные пояса; 8 — рифейские авлакогены; 9, 10 — межблоковые зоны: 9 — Транс-Скандинавская (I), 10 — Раахе-Ладожская (2) и Восточно-Карельская (3); 11 — литологические границы; 12 — разломы главные (a), второстепенные (b); 13 — структурно-стратиграфические несогласия: предрифейское (a), предвендское (b); 14 — типы урановых, золото-урановых, золоторудных месторождений и рудопроявлений: черносланцевый (a), предвендского несогласия (b), предрифейского несогласия (c), предраннепротерозойского (предятулийского) несогласия (d), песчаниковый (e), фосфоритовый (f), жильный (g), конгломератовый (h), золото-кварцевый, золото-сульфидно-кварцевый в березитах и лиственитах (i), метасоматический (j), интрузивный субщелочной (k), интрузивный карбонатитовый (l), ультраметаморфический (m), неустановленного типа (n); 15 — рядовая минерализация: медная, медно-никелевая, хромовая, железо-титановая в базитах и гипербазитах (a), медная, медно-никелевая, хромовая, железо-титановая в кристаллических сланцах (b), полиметаллически-оловорудная в скарнах (c); 16 — полезные ископаемые; 17 — государственная граница

Fig. 1. Tectonic diagram of the Fennoscandian Shield

1–7 — megablocks: 1 — Dalslandian (I); 2, 3 — Svecofennian (II): 2 — granitoids, 3 — volcanic rocks; 4 — Lapland-Karelian (III); 5 — Kola-Belomorian (IV); 6 — Proterozoic structures within the Lapland-Karelian megablock (a), Kola-Belomorian megablock (b); 7 — Archean greenstone belts; 8 — Riphean aulacogens; 9, 10 — interblock zones: 9 — Trans-Scandinavian (I), 10 — Raahе-Ladoga (2) and East Karelian (3); 11 — lithological boundaries; 12 — major (a), minor (b) faults; 13 — structural and stratigraphic unconformities: Pre-Riphean (a), Pre-Vendian (b); 14 — types of uranium, gold-uranium, gold ore deposits and ore occurrences: black shale (a), Pre-Vendian unconformity (b), Pre-Riphean unconformity (c), Pre-Early Proterozoic (Pre-Jatulian) unconformity (d), sandstone (e), phosphorite (f), vein (g), conglomerate (h), gold-quartz, gold-sulfide-quartz in beresites and listvenites (i), metasomatic (j), intrusive subalkaline (k), intrusive carbonatite (l), ultrametamorphic (m), of an unspecified type (n); 15 — ordinary mineralization: copper, copper-nickel, chromium, iron-titanium in basites and hyperbasites (a), copper, copper-nickel, chromium, iron-titanium in crystalline shales (b), polymetallic tin ore in skarns (c); 16 — mineral resources; 17 — state border



Апробированные ВИМСом прогнозные ресурсы для Терскобережного потенциально урановорудного района оценены в 10 тыс. т U (P₃), для Кицко-Юлицкого рудного поля — в 20 тыс. т [5]. Авторские прогнозные ресурсы урана по категории P₃ оценены в 63,9 тыс. т (P₁ + P₂), по категории P₂ — 9,387 тыс. т, по категории P₁ — 6,7 тыс. т [7]. Рудопроявления локализованы в пегматитах и кварц-полевошпатовых метасоматитах с наложенными низкотемпературными изменениями — хлоритизация, серицитизация, альбитизация (рудопроявление Кица) или в катаклазированных и брекчированных альбититах (рудопроявление Юлица).

Положение рудных объектов типа «предвездского несогласия» в региональном плане определяется сочленением плитного комплекса Русской плиты со структурами Балтийского щита, а также Балтийско-Мезенской разломно-блоковой зоной. Песчаники и гравелиты вендского базального горизонта перекрывают раннепротерозойские сланцы и гнейсы, прорванные специализированными на уран лейкогранитами. Аномальные концентрации урана зафиксированы как в песчаниках и граве-

литах базального горизонта, так и в породах коры выветривания. Урановая минерализация представлена настуромом и урановыми чернями; иногда отмечается коффинит. Она сопровождается пиритом, галенитом, молибденитом. Содержание урана колеблется от 0,03 до 0,1 % на мощность 0,5–3,5 м. Возраст образования основных урановых концентратов составляет 420–350 млн лет. Более молодой возраст (от 300 до 5 млн лет) свидетельствуют о перераспределении части урановорудных концентраций. Этот тип уранового оруденения представлен месторождениями Ратницкое, Рябиновское, Славянское. Апробированные ВИМСом [5] прогнозные ресурсы урана Невско-Волховского потенциально урановорудного района оцениваются в 312 тыс. т U (P₃).

Кроме того, на южном склоне Балтийского щита, в зоне его погружения под чехол фанерозойских вулканогенно-осадочных образований, выделен Прибалтийский потенциально урановорудный район с комплексными (U, Mo, V) месторождениями, локализованными в диктионемовых сланцах пакедорского горизонта ордовика (Котловское, Красносельское, Кайболовское и др.). Апробированные

Рис. 2. Схема Куусамо-Куола-Панаярвинского урановорудного района

1–10 — стратифицированные комплексы: 1–3 — людиковий: 1 — metabasalts, metaporphyrites, metaandesites, metaandesite-basalts; 2 — metasandstones, metaconglomerates, metasiltstones, metaaleurolites, metaaleuropelites, прослой метатuffов; 3 — metatuffs, metatuff lavas, сланцы биотит-амфиболовые, амфибол-биотит-полевошпатовые, часто углеродсодержащие; 4, 5 — ятулий: 4 — metaporphyrites с прослоями метатuffов, метамандельштейнов, метатuffов; 5 — кварцитопесчаники, кварциты, металеуrolиты, метаконгломераты и гравелиты с корой выветривания в основании; 6, 7 — сариолий: 6 — metaandesites, metaandesite-basalts, агломератные метатuffы; 7 — метапесчаники, кварциты, метаконгломераты; 8 — кварцевые метaporphyrites и метакератофиты сумия с полимиктовыми конгломератами в основании; 9 — гнейсы биотитовые, амфибол-биотитовые, амфиболиты лопия; 10 — амфиболовые, биотит-амфиболовые гнейсы нижнего архея; 11–20 — интрузивные комплексы: 11 — палеозой: ультраосновные и щелочные породы; 12–14: протерозой: 12 — метаоливиниты, метапироксениты, метаперидотиты; 13 — метагаббро, метагаббро-диабазы; 14 — граниты микроклиновые, плагиомикроклиновые; 15–20: архей: 15 — метагаббро, метагаббро-диабазы, ортоамфиболиты; 16 — метаперидотиты, метагаббро-нориты, метаоливиниты, метапироксениты (Олангская группа); 17 — микроклиновые граниты, гнейсо-граниты, мигматиты; 18 — граниты плагиомикроклиновые, гнейсо-граниты, мигматиты; 19 — граниты плагиоклазовые, микроклин-плагиоклазовые, гнейсо-граниты; 20 — диориты, гранодиориты, диорит гнейсы; 21 — крупные структуры: I — Куолярвинская, II — Панаярвинская, III — сланцевый пояс Куусамо; 22 — границы пород; 23 — разломы установленные (a), предполагаемые (b); 24 — shear-зоны; 25 — рудные объекты: Au (a); Au, U (b); U (c); Ni (d); Nb, Ta (e); Cu (f); Pt, Pd (g); Fe-сульфидные, Au-содержащие (h); 26 — месторождения (a); рудопроявления и проявления (b); рудные объекты: 1 — Кейгуварское; 2 — Апоярви; 3 — Вуориярви; 4 — Алимкурсурярви; 5 — Салланлатвинское; 6 — Куйваярвинское; 7 — Аллакурти; 8 — Майское; 9 — Озерное; 10 — Кварцитовое; 11 — Лагерное; 12 — Касиярви; 13 — Исо-Сиепи; 16 — Кауттио; 17 — Альбит-1; 18 — Нерисярви; 19 — Ципринга; 20 — Западное; 21 — Западное; 22 — Надежда; 23 — Восточное; 25 — Хейкин-ваара; 26 — Хейкин-ярви; 27 — Мянтыюкки; 28 — Васкивара; 29 — Нюдомолакша; 30 — Ляппеля; 31 — Корпела; 32 — Сувалампи; 33 — Кивакка; 34 — Юомасуо; 35 — Контиахо; 36 — Кувепваара; 27–30 — границы минерагенических таксонов: 27 — Восточно-Карельской структурно-металлогенической зоны; 28 — Куусамо-Куола-Панаярвинского урановорудного района; 29, 30 — рудных узлов: Алим-Курсурярвинского (I), Савоярви-Кауттиярвинского (II) урановорудных узлов; 30 — Олангского (III) медно-платинометаллического узла 31 — границы прогнозных площадей: 1 — Алимкурсурярви, 2 — Нилуттиярви, 3 — Савоярви, 4 — Южно-Панаярвинской, 5 — Или-Китка

Fig. 2. Diagram of the Kuusamo-Kuola-Panajarvi uranium ore region

1–10 — stratified complexes: 1–3 — Ludicovi: 1 — metabasalts, metaporphyrites, metaandesites, metaandesite-basalts; 2 — metasandstones, metaconglomerates, metasiltstones, metaaleurolites, metaaleuropelites, metatuff interlayers; 3 — metatuffs, metatuff lavas, biotite-amphibole shales, amphibole-biotite-feldspar shales, often carbonaceous; 4, 5 — Jatuli: 4 — metaporphyrites with interlayers of metatuff lavas, metamandelsteins, metatuffs; 5 — quartzite-sandstones, quartzites, metasiltstones, metaconglomerates and gravelites with a weathering crust at the base; 6, 7 — Sariola: 6 — metaandesites, metaandesite-basalts, agglomerate metatuffs; 7 — metasandstones, quartzites, metaconglomerates; 8 — Sumian quartz metaporphyrites and metakeratophytes with polymictic conglomerates at the base; 9 — Lopian biotite gneisses, amphibole-biotite, amphibolites; 10 — Lower Archean amphibole, biotite-amphibole gneisses; 11–20 — intrusive complexes: 11 — Paleozoic: ultramafic and alkaline rocks; 12–14 — Proterozoic: 12 — metaolivinites, metapyroxenites, metaperidotites; 13 — metagabbro, metagabbro-diorites; 14 — microcline, plagiomicrocline granites; 15–20 — Archean: 15 — metagabbro, metagabbro-diorites, orthoamphibolites; 16 — microcline, plagiomicrocline granites; 17 — microcline granites, gneiss-granites, migmatites; 18 — plagiomicrocline granites, gneiss-granites, migmatites; 19 — plagioclase granites, microcline-plagioclase, gneiss-granites; 20 — diorites, granodiorites, diorite gneisses; 21 — large structures: I — Kuolajarvi, II — Panajarvi, III — Kuusamo Schist Belt; 22 — rock boundaries; 23 — established (a), inferred (b) faults; 24 — shear zones; 25 — ore objects: Au (a); Au, U (b); U (c); Ni (d); Nb, Ta (e); Cu (f); Pt, Pd (g); Fe-sulfide, Au-bearing (h); 26 — deposits (a); ore occurrences and occurrences (b); ore objects: 1 — Keiguvarskoye; 2 — Apoyarvi; 3 — Vuorijarvi; 4 — Alimkursujarvi; 5 — Sallanlatvinskoye; 6 — Kuivajarvi; 7 — Allakurti; 8 — Mayskoye; 9 — Ozernoye; 10 — Kvarsitovoye; 11 — Lagernoye; 12 — Kasijarvi; 13 — Iso-Siepijarvi; 16 — Kauttio; 17 — Albit-1; 18 — Nerisjarvi; 19 — Tspringa; 20 — Zapadnoye; 21 — Zapadnoye; 22 — Nadezhda; 23 — Vostochnoye; 25 — Heikinvaara; 26 — Heikinjarvi; 27 — Mantyjokki; 28 — Vaskivara; 29 — Nydomolaksha; 30 — Lappala; 31 — Korpela; 32 — Suvalampi; 33 — Kivakka; 34 — Juomasuo; 35 — Kontiaho; 36 — Kouvepvaara; 27–30 — Minerogenic taxon boundaries: 27 — East Karelian structural-metallogenic zone; 28 — Kuusamo-Kuola-Panajarvi uranium ore district; 29, 30 — ore clusters: Alim-Kursujarvi (I), Savojarvi-Kauttijarvi (II) uranium ore clusters, 30 — Olanga (III) copper-platinum cluster; 31 — area boundaries: 1 — Alim-Kursujarvi, 2 — Niluttjarvi, 3 — Savojarvi, 4 — Yuzhno-Panajarvi, 5 — Yli-Kitka

ВИМСом прогнозные ресурсы урана Прибалтийского потенциально урановорудного района составляют 10 тыс. т [5].

Метасоматический в черных сланцах тип уранового оруденения проявлен в пределах Онежского прогиба (Онежского рудного района). Рудовмещающими являются углеродсодержащие терригенные породы людиковия. Пространственное размещение рудных объектов контролируется линейными зонами СРД. 11 зон СРД было выявлено в Онежском прогибе, но только 4 из них изучены. Они представляют собой системы узких антиклиналей северо-западного простирания протяженностью от 30 до 100 км при ширине 2–4 км. Рудоносные интервалы, вмещающие комплексное оруденение, протягиваются на 2,0–2,5 км при ширине 500–600 м. Породы в пределах зон СРД интенсивно альбитизированы, карбонатизированы, биотитизированы. В Онежском прогибе выявлено пять месторождений (Средняя Падма, Космозеро, Царевка и др.) и девять рудопроявлений. Урановое оруденение представлено браннеритом, коффинитом, настураном. Среднее содержание урана составляет 0,15–0,25 % (до нескольких % на 1–3 м), оксида ванадия — 2,5–3,5 %. Апробированные ВИМСом прогнозные ресурсы урана Онежского потенциально урановорудного района оцениваются в 10 тыс. т [5].

Золото-урановые объекты. В последние годы появляется все больше данных, указывающих на наличие золоторудных концентраций на урановых месторождениях докембрийских щитов, в том числе Балтийского щита [1; 7–11]. Это тем более важно, что в настоящее время появилась необходимость поиска новых типов урановых месторождений, локализованных в различных геологических обстановках.

Наибольший потенциал с точки зрения золотого и золото-уранового оруденения связан со структурами Восточно-Карельской структурной зоны (рифтогенного пояса), разделяющей Беломорский и Лапландско-Карельский блоки (рис. 1). Длительная эволюция в процессе формирования пояса, от заложения и осадконакопления на раннекарельском этапе развития до свекофеннской орогении, наличие в разрезе углеродистых и углеродсодержащих пород, интенсивная складчатость и проявление гидротермально-метасоматических изменений в период свекофеннской тектоно-магматической активизации с образованием альбититов и альбит-карбонатных брекчий, уранинитовая минерализация, с которой связаны проявления золота, в совокупности могут определять перспективы открытия золоторудных объектов в пределах структур Восточно-Карельской зоны.

Восточно-Карельская структурная зона характеризуется высокой рудонасыщенностью; при этом каждая из входящих в ее состав структур обладает спецификой геологического строения, что отразилось на различной металлогенической специализации отдельных частей пояса. Куусамо-Панакуолярвинский прогиб (рис. 2), представляющий собой центральное звено Восточно-Карельской зоны, выступает в качестве одной из наиболее перспективных структур на обнаружение золото-урановых

рудных объектов, что позволяет рассматривать его в качестве урановорудного района.

В пределах Куусамо-Панакуолярвинского прогиба известно большое число урановых рудопроявлений, размещающихся на разных стратиграфических уровнях — Лагерное, Озерное, Алим-Курсуярви, Конттиахо, Юомасуо и т. д. (рис. 2). Как показали исследования Финской геологической службы [10; 11], а также работы последних лет на проявлениях Пана-Куолярвинского прогиба российской части Балтийского щита [7; 4; 12], практически со всеми рудопроявлениями и проявлениями урана связаны различные по масштабу рудные концентрации золота, что позволяет рассматривать их в качестве золото-урановых.

Зеленокаменный пояс Куусамо (Финляндия), центральную часть которого составляет Куусамо-Панакуолярвинский прогиб, вмещает свыше 10 мелких месторождений и рудопроявлений, несколько десятков проявлений золотой, золото-урановой минерализации (рис. 2). Наибольший интерес представляют Fe-Co-Au-U месторождения, типичными представителями которых являются месторождения Юомасуо и Конттиахо. Рудные тела локализируются среди сульфидсодержащих кварц-серицит-хлоритовых, кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых метасоматитов, окруженных широкими зонами альбитизации, которые выполняют ядерные части тектонических зон (месторождение Юомасуо), или среди альбитовых, альбит-карбонатных брекчий, содержащих жилы карбонатного, альбит-карбонатного состава (месторождение Конттиахо) [10; 11].

Месторождение Конттиахо локализовано в пределах shear-зоны среди альбититов и более поздних альбит-карбонатных брекчий. Процесс альбитизации проявлен среди серицитовых сланцев, кварцитов, кварцитопесчаников ятулия; он выступает в качестве рудоподготавливающего процесса при формировании уранового, золото-уранового оруденения. Процесс альбитизации сменяется этапом брекчирования альбититов до образования брекчий на карбонатном цементе. Месторождение Конттиахо представлено брекчиевыми рудами, локализованными в зонах хрупких деформаций. Co-Au-U минерализация на месторождении ассоциирована с карбонатными, кварцевыми, кварц-карбонатными метасоматитами, развитыми во внутренней части фронта альбитизации [10; 11]. Брекчированные руды представлены трубообразными телами округлой или овальной формы с диаметром от 0,5 до 15,0 м, прослеженными до глубины 30,0 м.

Запасы Au составляют 8 т (при содержании Au — от 0,5 до 10,0 г/т), Co — 0,1–0,3 %, Mo — до 0,8 %, U — 0,04–0,1 %. Помимо золота, месторождение может стать источником добычи меди и кобальта [11].

Пространственное положение оруденения на месторождении Юомасуо контролируется shear-зонами, в пределах которых интенсивно проявлены хлоритизация, амфиболитизация, серицитизация, биотитизация, окруженные широкими ореолами альбитизации, — рис. 3,а [10; 11]. Альбитизация относится к наиболее широко распростра-

ненному типу гидротермально-метасоматических изменений пород; зачастую наблюдается развитие почти чисто альбитовых пород с содержанием Na_2O — 6–11 %.

Рудные зоны обогащены Co, Au, U, Mo (\pm Cu). Рудная минерализация представлена пирротинном, пиритом, а также самородным золотом, теллуридами и висмутитами. Кроме того, отмечаются кобальтин, кобальтовый пентландит, халькопирит, уранинит, молибденит. Золото присутствует в виде тончайших включений в пирите, уранините, кобальтине. Отмечается совместное нахождение золота и урана в пределах единых shear-зон (рис. 3, b). Зерна самородного золота заключительной стадии или стадии мобилизации локализируются в микротрещинах уранинита совместно с теллуридами. Средние содержания основных элементов для месторождения Юомасу составляют: Co — 0,2 %, U — до 0,18 %, Au — до 6 г/т, Te — до 6–7 г/т.

По данным компании Dragon Mining Ltd (www.dragon-mining.com.au), проводившей поисково-оценочные работы на месторождениях зеленокаменного пояса Куусамо, запасы наиболее крупного из объектов — Fe-Co-Au-U месторождения Юомасу — на ноябрь 2011 г. составляли 9,58 т при среднем содержании 4,9 г/т Au. В целом запасы золота для месторождений этого типа оцениваются в 9–12 т [10; 11].

Интерес к золото-урановой минерализации в раннепротерозойских структурах резко возрос с открытием проявлений группы Ромпас (Финляндия), локализованных в пределах сланцевого

пояса Перапохиа (Финляндия) – рис. 4. Пояс Перапохиа является палеопротерозойским бассейном, сформированным на архейском фундаменте Балтийского щита (рис. 4). Характерная особенность пояса — 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 данными [9], для проявлений группы Ромпас характерно совместное нахождение золотоносных минералов с уранинитом и углеродистым веществом. Золото-урановая минерализация локализована в деформированных кварц-карбонатных жилах преимущественно меридионального простирания среди вулканитов основного состава. Границы жил с вмещающими породами резкие; вдоль жил отмечается развитие метасоматитов с локально проявленным обогащением биотитом. Отмечаются более поздние кальцитовые жилы, беспорядочно ориентированные по отношению к ранним кварц-карбонатным жилам. Вмещающие жилы породы биотитизированы с локально проявленными зонами интенсивной альбитизации. Кварц-карбонатные жилы деформированы в сложные складчатые структуры, будинированы с образованием лестничных структур. Распределение урана и золота в жилах крайне неравномерное, зачастую гнездообразное. Гнезда, вмещающие крупные (до 2 см) кристаллы уранинита, характеризуются

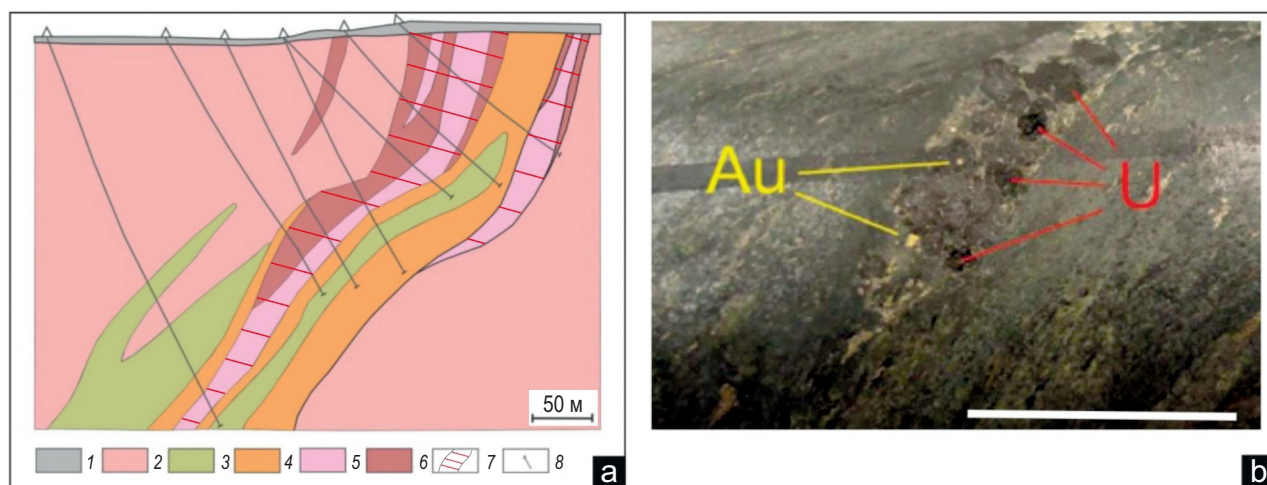


Рис. 3. Месторождение Юомасу (Финляндия)

a — геологический разрез: 1 — четвертичные образования, 2 — альбититы, 3 — хлорит-талк-амфиболовые породы (силл), 4 — альбит-амфибол-кварц-карбонатные породы, 5 — кварц-хлоритовые породы, 6 — кварц-серицитовые породы, 7 — рудоносные зоны, обогащенные Au, U, Cu, Co, 8 — скважины; **b** — совместное нахождение урана и золота в shear-зонах

Источник: **a** — по E. Vanhanen [11]; **b** — по E. Vanhanen [10]

Fig. 3. Juomasuo deposit (Finland)

a — geological section: 1 — Quaternary formations, 2 — albitites, 3 — chlorite-talc-amphibole rocks (sill), 4 — albite-amphibole-quartz-carbonate rocks, 5 — quartz-chlorite rocks, 6 — quartz-sericite rocks, 7 — ore-bearing zones enriched in Au, U, Cu, Co, 8 — wells; **b** — joint occurrence of uranium and gold in shear zones

Source: **a** — by E. Vanhanen [11]; **b** — by E. Vanhanen [10]

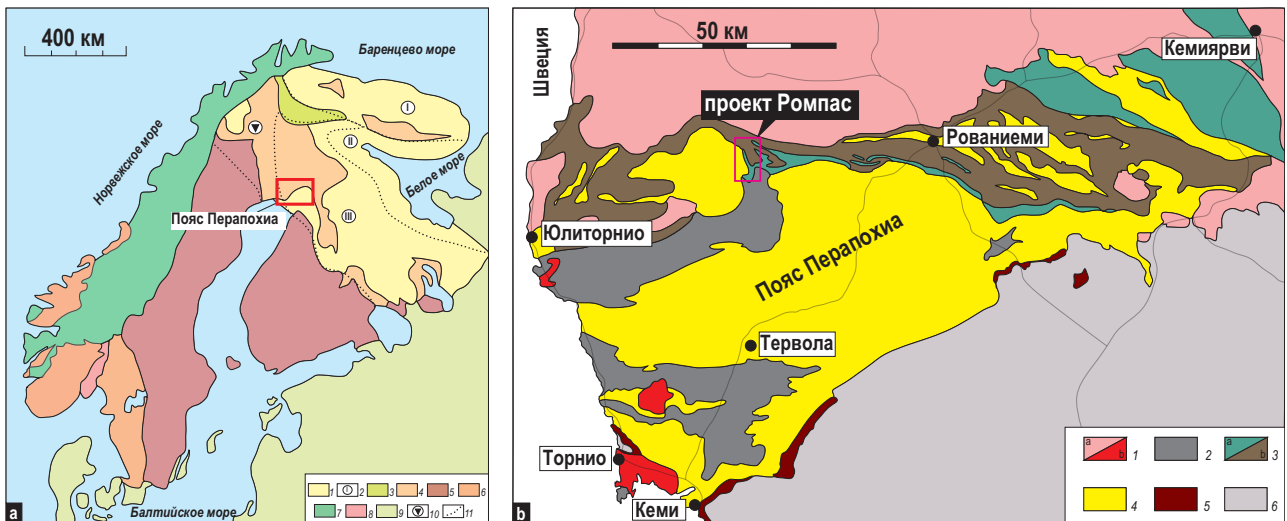


Рис. 4. Схема геологического строения сланцевого пояса Перапохиа с положением проявлений группы Ромпас

a — 1 — образования архейского возраста; 2 — архейские мегаблоки: I — Кольско-Мурманский, II — Беломорский, III — Карельский; 3 — Лапландский гранулитовый пояс; 4 — раннепротерозойский чехол; 5 — Свеккофеннский ороген; 6 — Свеконорвежский ороген; 7 — каледониды; 8 — грабен Осло; 9 — чехол Русской платформы; 10 — провинция Норботтелл; 11 — границы.

b — 1 — Центрально-Лапландский гранитоидный комплекс (1,8 млрд лет) (a), гранитоиды Хаапарантской свиты (1,88 млрд лет) (b); 2 — формация Мартимо (1,92 млрд лет); 3 — вулканиды (a), слюдяные сланцы, метаграувакки, черные сланцы (b); 4 — кварциты, доломиты, основные вулканиды и интрузивные образования; 5 — слоистые интрузии основного состава (2,44 млрд лет); 6 — Пудасъярвийский гнейсовый комплекс архейского возраста

Источник: [9]

Fig. 4. Diagram of the Peralopia Schist Belt geological structure, with the Rompas group occurrences located

a — 1 — Archean formations; 2 — Archean megablocks: I — Kola-Murmansk, II — Belomorian, III — Karelian; 3 — Lapland Granulite Belt; 4 — Early Proterozoic cover; 5 — Svecofennian orogeny; 6 — Sveconorwegian orogeny; 7 — Caledonides; 8 — Oslo Graben; 9 — Russian platform cover; 10 — Norbottell province; 11 — boundaries.

b — 1 — Central Lapland granitoid complex (1.8 bn years) (a), Haaparanta Formation granitoids (1.88 Ga) (b); 2 — Martimo Formation (1.92 Ga years); 3 — volcanites (a), mica schists, metagraywackes, black shales (b); 4 — quartzites, dolomites, basic volcanites and intrusive formations; 5 — layered intrusions of basic composition (2.44 Ga); 6 — Archean Pudasjarvi gneiss complex

Source: [9]

высокими содержаниями золота, которые локально достигают > 10 000 г/т, а также урана [8].

Крупнокристаллические порфиробластические зерна уранинита (с золотом и без такового) расположены в будинированных кварц-карбонатных жилах; мелкозернистые вкрапленники уранинита отмечаются как в ранних кварц-карбонатных жилах, так и в секущих кальцитовых жилах. С обоими типами уранинита тесно ассоциируют выделения углеродистого вещества — битума. Наличие золото-уранинитовой и золото-уранинит-битумной ассоциаций связывается с образованием и миграцией углеводородов и мобильностью урана в процессе формирования и эволюции сланцевого пояса Перапохиа [9].

Возраст уранового оруденения (по ураниниту) 1,95–1,90 млрд лет, что соответствует осаждению первичной (высокотемпературной) урановой минерализации [9]. Последующая перекристаллизация содержащих уранинит кварц-карбонатных жил (1,9–1,8 млрд лет) сопровождалась флюидом с концентрацией углеводородов вокруг зерен уранинита. Золото осаждалось в ходе последующего гидротермального процесса по микротрещинам в уранините совместно с другими рудными минералами и кальцитом или на поверхностях уранинита и битумов. Ремобилизация и переотложение урана в ходе этих гидротермальных

процессов привели к образованию вторичных зерен уранинита с возрастом 1,85–1,65 млрд лет. Самоходное золото ассоциирует с галенитом, алтаитом, хунчунитом, никелином, а также кобальтином, пиритом, пирротинитом, халькопиритом, молибденитом и титанитом.

В соответствии с опубликованными данными и по результатам собственных минералогических исследований по изучению образцов и аншлифов из рудных зон проявлений группы Ромпас (проведены В. В. Ляхницкой), отобранных сотрудниками экспедиции во время посещения ими проявлений группы данной [13], правомерно заключить, что золоторудная минерализация имеет отчетливую связь с урановой минерализацией, представленной преимущественно уранинитом. Золото локализуется в пустотах и микротрещинах в уранините (рис. 5, a), а также заполняет интерстиции между мелкозернистыми агрегатами рыхлых зерен уранинита, локализованных в крупнозернистом амфиболе (рис. 5, b).

Участок Озерный (рис. 6) Пана-Куолаярвинского прогиба характеризуется интенсивным проявлением гидротермально-метасоматических преобразований пород (альбитизации, последующего брекчирования, карбонатизации, окварцевания),

наличием рудопроявлений урана (Озерное, Лагерное, Кварцевое), в пределах рудных зон которых установлены аномальные и рудные концентрации золота, близостью структурно-вещественных обстановок локализации рудных объектов с месторождениями и проявлениями пояса Куусамо, а также с золото-урановыми проявлениями группы Ромпас (табл. 1), что дает основание для высокой оценки перспектив участка на выявление золотых, золото-урановых месторождений. При этом золоторудные концентрации могут быть связаны как с ураноносными альбититами и альбит-карбонатными метасоматитами, так и с кварц-сульфидными жилами. Есть основание полагать, 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.

Рудоносные зоны на рудопроявлениях Озерное и Лагерное по простиранию прослеживаются на 100–120 м (до 500 м) при мощности 20–30 м (до 60 м).

Рудные тела рудопроявления Озерное размещаются среди биотитовых, кварц-биотитовых, кварц-амфиболовых, кварц-плаггиоклаз-амфиболовых сланцев по вулканитам основного–среднего состава апаравинской свиты в узлах пересечения Нилуттиярвинской меридиональной зоны с поперечными и диагональными (северо-восточными) дизъюнктивами, определяющими проявление альбититов и альбит-карбонатных метасоматитов, выполняющих ядерные части рудоносных зон (табл. 1). Ранняя стадия гидротермально-метасоматических преобразований пород проявилась аль-

битизацией с образованием мономинеральных альбититов; максимальная интенсивность проявления альбитизации характерна для осевых частей разломных зон. Макроскопически альбититы представляют собой мелкозернистые породы красноватого цвета за счет тонкорассеянного гематита. В состав натриевых метасоматитов, помимо альбита, входят бурый биотит, карбонат (кальцит), доломит, пиррохлор, которые образуют раннюю ассоциацию. Хлорит замещает темноцветные минералы вмещающих пород (биотит, амфибол). Мощность тел альбититов составляет от 1–2 до 10 м. В экзоконтактах тел альбититов выявлены зоны хлоритолитов мощностью 0,5–1,0 м. В телах альбититов повсеместно отмечаются кальцитовые и доломитовые прожилки выполнения мощностью от 0,5 до 2,0–2,5 см, которые распределяются в телах альбититов неравномерно, тяготея к осевым частям этих тел, где породы приобретают брекчьеобразный облик. Как во вмещающих кальцитовых жилах альбититах, так и в самих жилах отмечается проявление вторичных низкотемпературных изменений, выражающихся прежде всего в замещении доломита или кальцита анкеритом. При этом вторичный анкерит развивается как на контакте зерен кальцита, так и по трещинам хрупкого разрушения, секущим полисинтетические двойники в кальците.

Процесс альбитизации предшествовал рудообразованию, которое наступило лишь после этапа катаклаза и брекчирования альбититов. Крупные идиоморфные длиннопризматические или таблитчатые индивиды рассеяны трещинами различной ориентировки, по которым развиваются прожилки кальцита и доломита. Альбит-карбонатные и карбонатные метасоматиты приурочены к центральным

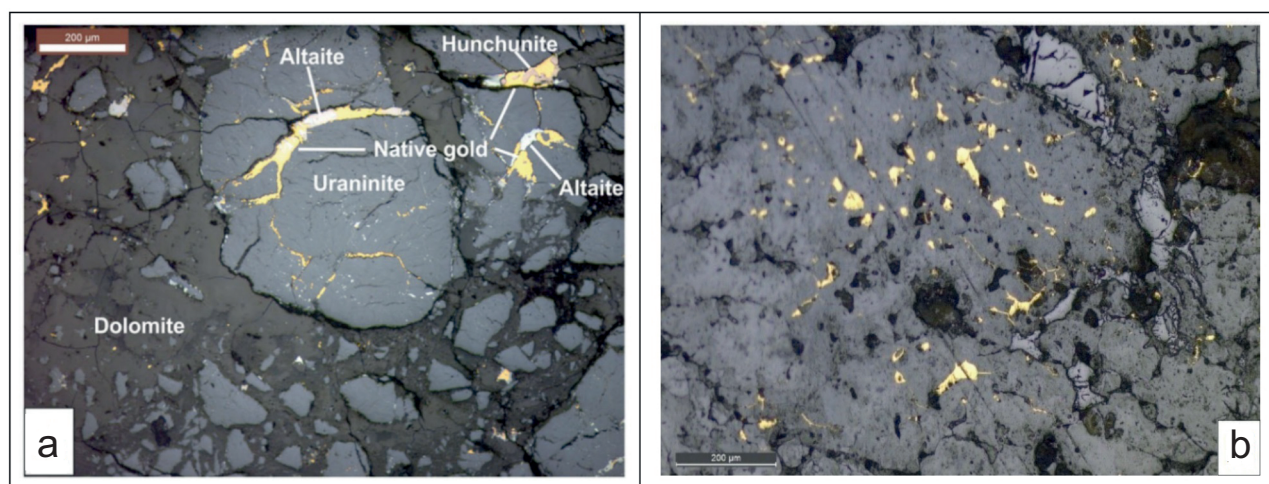


Рис. 5. Проявления группы Ромпас (Финляндия)

a — развитие золота, хунчуннита (Au_2Pb), алтаита ($PbTe$) по микротрещинам в уранините; *b* — развитие золота в интерстициях между мелкими субагрегатами уранинита

Источник: *a* — по F. Molnár [et al.] [8]

Fig. 5. Manifestations of the Rompas group (Finland)

a — development of gold, hunchunite (Au_2Pb), altaite ($PbTe$) along microcracks in uraninite; *b* — development of gold in interstices between small subaggregates of uraninite

Source: *a* — by F. Molnár [et al.] from [8]

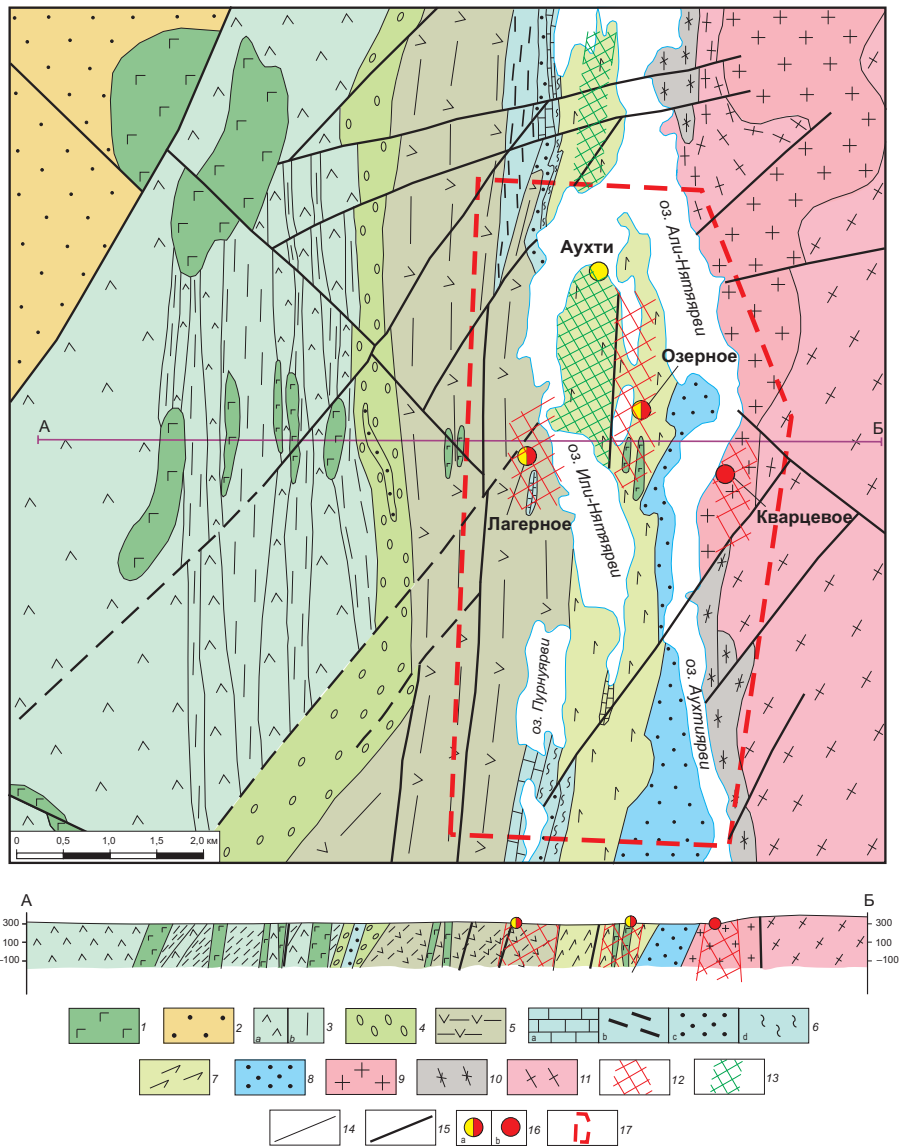


Рис. 6. Схема геологического строения участка Озерный

1–5 — верхний карелий: 1 — долериты и габродолериты; 2 — кварциты, кварцитопесчаники кайларской свиты; 3–5 — лудиковий: 3 — апарьевская свита: метавулканы основного и среднего состава (а), кварц-биотитовые, кварц-биотит-амфиболовые сланцы (b); 4 — полимиктовые конгломераты ноукоярвинской свиты; 5 — амфиболовые, кварц-биотит-амфиболовые, кварц-плагиоклаз-биотитовые сланцы, туфосланцы кясиярвинской свиты; 6–8 — нижний карелий, ятулий: 6 — юрхамаярвинская свита: известняки доломитовые, тремолит- и актинолитсодержащие с линзами хлорит-биотитовых сланцев (а); пачка переслаивания биотитовых, кварцполевошпатовых филлитовидных сланцев с прослоями углеродистых и углеродсодержащих (черных) сланцев (b); кварциты серицитовые, кварцитопесчаники (c); песчаники, кварцитопесчаники и серицитовые сланцы по ним (d); 7 — метадиабазы, метагаббро, кварц-амфиболовые, биотитовые, биотит-амфиболовые, нилуттиярвинской свиты; 8 — кварциты, кварцитопесчаники, металавролиты ниваярвинской свиты; 9, 10 — комплекс реоморфических гранитов (верхний архей): 9 — микроклиновые и плагиомикроклиновые, биотитовые граниты; 10 — гнейсы биотитовые, биотит-амфиболовые, амфиболовые с прослоями лептитов челозерской свиты; 11 — кестеньгский мигматит-плагиогранитовый комплекс (верхний лопий): гранито-гнейсы и гнейсо-граниты; 12 — зоны гидротермально-метасоматических изменений; 13 — зоны прожилкового окварцевания; 14 — геологические границы; 15 — разрывные нарушения; 16 — рудопоявления золото-уранового (а) и уранового (b) оруденения; 17 — участок детальных работ «Озерный»

Fig. 6. Diagram of the Ozerny area geological structure

1–5 — Upper Karelian: 1 — Dolerites and gabbro-dolerites; 2 — Kailari Formation quartzites, quartzite sandstones; 3–5 — Ludicovi: 3 — Apajarvi Formation: metavolcanites of basic and intermediate composition (a), quartz-biotite, quartz-biotite-amphibole schists (b); 4 — Noukojarvi Formation polymictic conglomerates; 5 — Kasjarvi Formation amphibole, quartz-biotite-amphibole, quartz-plagioclase-biotite schists, tuff schists; 6–8 — Lower Kareli, Jatuli: 6 — Yurhamajarvi Formation: dolomite limestones, tremolite- and actinolite-containing with lenses of chlorite-biotite shales (a); interbedded member of biotite, quartz-feldspar phyllitic shales with interlayers of carbon and carbonaceous (black) shales (b); sericite quartzites, quartzite-sandstones (c); sandstones, quartzite-sandstones and sericite shales on them (d); 7 — Niluttjarvi Formation metadiabases, metagabbros, quartz-amphibole, biotite, biotite-amphibole; 8 — Nivajarvi Formation quartzites, quartzite-sandstones, metasiltstones; 9, 10 — Upper Archean rheomorphic granite complex: 9 — microcline and plagiomicrocline, biotite granites; 10 — Chelozero Formation biotite, biotite-amphibole, amphibole gneisses with interlayers of lepidites; 11 — Upper Lopian Kestenga migmatite-plagiogranite complex: granite-gneisses and gneiss-granites; 12 — zones of hydrothermal-metasomatic alterations; 13 — zones of veinlet silicification; 14 — geological boundaries; 15 — faults; 16 — ore occurrences of gold-uranium (a) and uranium (b) mineralization; 17 — Ozerny site of detailed works

Сравнительная характеристика проявленности рудоконтролирующих факторов рудных объектов Куусамо-Панакюляярвинского прогиба (Северная Карелия), поясов Куусамо и Перапохиа (Финляндия)

Table 1. Comparative analysis of ore-controlling factors visibility in the ore objects of the Kuola-Panajarvi trough (Northern Karelia), Kuusamo and Parapohia belts (Finland)

Факторы	Россия	Финляндия	
Примеры месторождений	Озерное, Лагерное, Альбит-1, Алим-Курсуярви	Юомасуо, Хангаслампи, Конттиахо, Пахъясваара	Проявления группы Ромпас
Тип месторождений	U, Au-U, с Cu, Mo, Co в альбитовых, карбонат-альбитовых метасоматитах (Озерное, Лагерное); в совмещенных карбонат-альбитовых и карбонатных метасоматитах (Альбит-1)	Fe-Co-Au-U в альбитовых, карбонат-альбитовых метасоматитах (Конттиахо), Fe-Co-Au-U в кварц-серицитовых, кварц-хлоритовых метасоматитах с альбитовыми метасоматитами (Юомасуо)	Au-U минерализация в кварц-карбонатных жилах среди альбитизированных биотитовых и амфиболитовых 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, метавулканиды
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, габбродолеритов, амфиболитизированных габбродолеритов, лейкогаббро	Лейкогаббро, горнблендиты, граниты, лейкограниты	Дайки и силлы основного состава; турмалиносодержащие 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, рutil, теллуриды, висмутиды, молибденит	Уранинит, самородное золото, хунчунит, галенит, алтаит и никелин, мальдонит, молибденит, кобальтин, пирротин, пентландит, пирит и халькопирит
Текстурные особенности руд	Прожилковые, прожилково-вкрапленные	Прожилковые	Вкрапленные

частям тел альбититов, где образуют прожилки мощностью до 15–20 см, а также обособления, отделенные от альбититов тонкой зоной развития вторичного розеточного хлорита с аномально-зелеными цветами интерференции и биотита. Кальцит в жилах характеризуется изометричными формами зерен и наличием полисинтетических двойников. Отмечаются включения мелкочешуйчатого (0,03–0,05 мм) хлорита, заполняющего веерообразные «остаточные» полости в кальците. Зачастую по кальциту развивается актинолит. Игольчатые формы выделения актинолита свидетельствуют о метасоматической природе его образования в условиях быстрого роста.

Следующая стадия гидротермально-метасоматических изменений пород связана с проявлением магнезиально-железистого метасоматоза. Это выра-

жается в образовании метасоматических микропрожилков мелкозернистого (0,01–0,03 мм) вторичного карбоната (железистого анкерита) в агрегате железистого кальцита. Анкерит также развивается в оторочках жил раннего кальцита в карбонат-альбитовом метасоматите.

По результатам работ, нацеленных на изучение особенностей рудообразования на рудопоявлении Озерное, установлены две стадии образования рудной минерализации, разделенные сульфидной подстадией: (1) молибден-урановая в альбит-карбонатных метасоматитах и (2) теллуридно-селенидно-благороднометаллическая в анкеритовых, кварц-анкеритовых гидротермалитах [7].

Первая рудная (молибден-урановая) стадия связана с альбититами, альбит-карбонатными метасоматитами с кальцитовыми прожилками выполнения

среди альбит-карбонатных метасоматитов; вторая теллуридно-селенидно-благороднометалльная стадия — с проявлением наложенных низкотемпературных анкеритовых (с кварцем) изменений. Более поздняя рудная стадия проявлена кварц-сульфидными жилами с самородным золотом (месторождение Майское). В эту стадию включены две генерации золоторудной минерализации: слабозолотоносная сфалерит-пирротин-халькопиритовая и продуктивная золотоносная теллуридно-галенитовая.

Урановая минерализация на рудопроявлении Озерное представлена главным образом уранинитом, а также браннеритом, локализованным в кальцитовом цементе альбит-карбонатных брекчий центральных частей рудоносных зон; помимо уранинита и браннерита в раннюю рудную ассоциацию входит коффинит. Зерна уранинита находятся в окружении кальцита; по периферии развит альбит с прожилками доломита и анкерита. Зачастую вмещающие урановую минерализацию породы брекчированы до образования альбит-кальцитовой брекчии, в которую погружены зерна уранинита.

В рудоносных зонах рудопроявления Озерное широко развита разнообразная сульфидная минерализация (молибденит, галенит, пирит, реже пирротин). Молибденит развит в виде тонкопластинчатых и розеточных агрегатов и отдельных пластинок в доломит-кальцитовом метасоматите. Золотая минерализация по составу, морфологии и особенностям локализации аналогична установленной на месторождениях группы Ромпас (рис. 7, а). Уранинит из рудных зон рудопроявления Озерное разбит густой системой разноориентированных микротрещин, по которым развиваются прожилки, состоящие из сростков самородного золота с алтаитом размером 0,03 мм (рис. 7, б, 8, а).

Зерна самородного золота установлены также в карбонатной брекчии в ассоциации с уранинитом, алтаитом, теллуридами висмута и мелонитом. Золото выделяется в виде зерен неправильной формы в сростании с алтаитом — рис. 8, б. Алтаит представляет собой зерна ярко-белого цвета размером до 0,1 мм, которые развиты в виде ксеноморфных кристаллов (рис. 8, б) или заполняют промежутки между плоскостями спайности в молибдените. Зерна мелонита размерами 0,015–0,2 мм образуют сростания с алтаитом; в состав мелонита входят: Те — до 82 %, Ni — 15,6 %. Со — 2 %. Золото по составу высокопробное; содержание серебра — от 0,01 до 6,9 %, содержание золота — 93,3–99,9 %.

Близкая к описываемой ассоциация рудных минералов характерна для рудоносных зон рудопроявления Алакуртти, расположенного к северу от рудопроявления Озерное, где зерна браннерита рассечены микротрещинами, по которым развиваются алтаит и галенит; последний наблюдается также во вмещающих рудные тела альбит-карбонатных метасоматитах. На рудопроявлении Озерное выявлены также жилы кварцевого с сульфидами состава, аналогичные по формам выделения сульфидов и условиям формирования кварцевых жил месторождения Майское. Сульфидная минерализация в них представлена скоплениями (до 10 %)

крупнозернистого халькопирита, по трещинам в котором развивается гипидиоморфный пирит.

Содержания U в борзодовых пробах из альбит-карбонатных метасоматитов рудоносных зон рудопроявления Озерное достигают 0,1 % на 0,5 м, Mo — 0,2 % на 0,7 м, Ag — 0,44 г/т, Bi — 14,5 г/т на 0,7 м. Содержание Au в штучных пробах из альбититов и альбит-карбонатных метасоматитов достигает 1 г/т, в борзодовых пробах — 0,1 г/т на 0,7 м, 0,5 г/т на 0,5 м. Содержание золота в штучных пробах из сульфидно-кварцевых жил рудопроявления Озерное достигает 20,5 г/т; помимо золота есть Cu — 2,72 %, Ag — 3,11 г/т. Содержание Au в борзодовых пробах из сульфидно-кварцевой жилы достигает 0,7 г/т на 1 м. Содержание золота во вторичных ореолах рассеяния достигает от 0,1 до 1,0 г/т и более. Аномальные содержания золота сопровождаются аномалиями Ag, Cu, Co, Mo, As. В штучных пробах из катаклазированных и брекчированных альбититов рудопроявления Лагерное содержание Au достигает 1,18 г/т; в карбонатных и амфибол-карбонатных с альбитом метасоматитах ядерной части рудоносной зоны Au — 5,51 г/т.

Формирование минерализации происходило в течение длительного отрезка времени: от палеопротерозоя до палеозоя. Rb-Sr возраст формирования альбититов оценен в 1754 ± 39 млн лет, U-Pb методом — 1627 ± 42 млн лет, что отвечает эпохе свекофеннской складчатости [14]. Возраст браннерита, определенный U-Pb методом, составляет 385 ± 2 млн лет, что соответствует проявлению палеозойской активизации [14].

Перспективы выявления уранового, золото-уранового оруденения в пределах Куусамо-Панакюляярвинского прогиба и в структурах, близких к нему по структурно-вещественным обстоятельствам, не ограничиваются собственно рудопроявлениями Озерное и Лагерное. Вскрытый скважинами, пробуренными АО «Северо-Западное ПГО» к северу от рудопроявлений Озерное и Лагерное, раннепротерозойский разрез характеризуется большой гетерогенностью, обусловленной чередованием метаморфизованных раннепротерозойских metabазальтов, метаандезито-базальтов, метатрахандезито-базальтов, подчиненно — метадацитов, метаплагиориодацитов в ассоциации с интрузивными телами ультрабазитов, дайками карбонатитов и «молодыми» дайками плагиодацитов.

Среди вскрытых скважинами пород отмечается интенсивное проявление трещиноватости, дробления и брекчирования, контролирующих проявление различных метасоматитов, которые отнесены к следующим потенциально рудоносным гидротермально-метасоматическим формациям: 1 — альбититы, 2 — эйситы, 3 — листовениты, 4 — аргиллизиты и 5 — анкеритовые гидротермалиты, по минеральному составу близкие к формации гумбеитов.

В одной из скважин (№ 5, интервал 62–65 м) выявлены зоны метасоматических изменений, крайне похожие на альбититы рудоносных зон рудопроявлений Лагерное и Озерное. В телах альбититов проявлены секущие их и вмещающие

породы — метасоматические прожилки анкерита. В альбитите отмечается большое количество рудных минералов, тяготеющих к зоне контакта с амфиболитами. Рудная минерализация представлена преимущественно пиритом с включениями халькопирита. Альбититы выступают в качестве поискового признака близости рудоносных зон. С проявлением более поздних низкотемпературных анкеритовых изменений может быть связано золотое оруденение.

В керне изученных скважин широким распространением пользуется фациальная разновидность эйситов с устойчивым минеральным парагенезисом: кварц (10–20, до 50 %) + доломит (50–80 %) + альбит (10–15 %) + биотит или флогопит (10–30 %) + клинохлор. Эйситы проявлены преимущественно в виде жил и прожилков выполнения, минеральный состав которых определяется различными соотношениями карбоната (доломит, кальцит), кварца, альбита, биотита или флогопита.

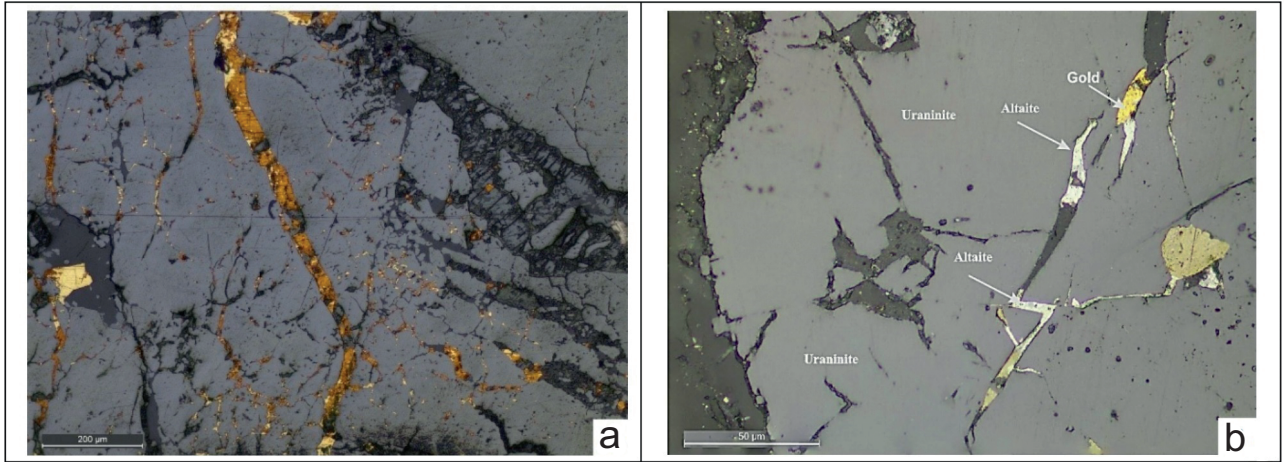


Рис. 7. Характер Au-U минерализации

a — на проявлениях группы Ромпас (Финляндия); *b* — на рудопроявлении Озерное (Карелия)

Fig. 7. Nature of Au-U mineralization

a — Rompas group occurrences (Finland); *b* — Ozernoye ore occurrence (Karelia)

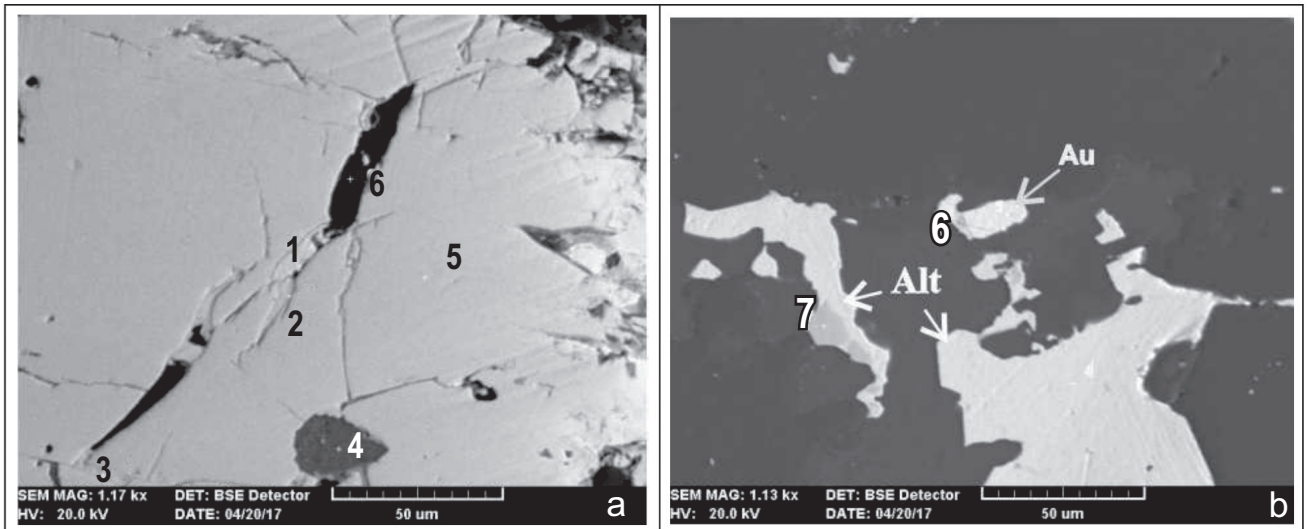


Рис. 8. Рудопроявление урана Озерное

a — уранинит-золоторудная ассоциация в микротрещинах в уранините: 1 — золото, 2, 3 — алтаит, 4 — халькопирит, 5 — уранинит. Фото аншлифа 7725/4-1; *b* — уранинит-золоторудная ассоциация с алтаитом (6) и мелонитом (7) в карбонатной брекчии. Фото шлифа 7725/4-2

Fig. 8. Ozernoye uranium ore occurrence

a — uraninite-gold ore association in microcracks in uraninite. 1 — gold, 2, 3 — altaite, 4 — chalcopyrite, 5 — uraninite. Polished section photo 7725/4-1; *b* — uraninite-gold ore association with altaite (6) and melonite (7) in carbonate breccia. Thin section photo 7725/4-2

Прожилки выполнения располагаются в основном параллельно сланцеватости, реже занимает секущее положение по отношению к сланцеватости. Рудная минерализация, представленная преимущественно пиритом, халькопиритом, пирротинном, тяготеет к зонам развития эйситовых прожилков выполнения мощностью от 0,3–0,5 до 10–15 см.

По данным аналитических исследований, в ряде штучных проб, отобранных в зонах развития эйситов, установлены содержания золота — от геохимических аномалий (0,18–0,35 г/т) до уровня рудных концентраций (0,99–14,0 г/т). В аншлифах, отобранных из рудоносных эйситов, установлены выделения самородного золота. Зерна золота размером свыше 5 мкм чаще всего включены в жильные породообразующие минералы или локализируются на границе жильных минералов.

Низкотемпературные анкеритовые метасоматиты являются наиболее поздними гидротермалитами, развитыми по всем разновидностям кристаллических пород, включая тела гипербазитов и плагиодацитов.

В ассоциации с анкеритом встречаются тонкощуйчатая магнезиально-железистая слюда, серицит, смектиты. По минеральному составу они близки к формации гумбеитов, однако даже при развитии в породах кислого состава не был обнаружен адуляр, что, возможно, связано с низкой интенсивностью их проявления.

Таким образом, по результатам работ разных лет, направленных на изучение рудоносности, в том числе золотоносности Куусамо-Панакуолярвинского прогиба в его пределах установлены следующие рудные ассоциации (табл. 2): (1) мезотермальная (уранинит)-торит-браннеритовая ассоциация, связанная с альбититами гастингситовой фации, развитая в пределах рудных зон рудопроявлений Лагерное, Алакерттинское, Алим-Курсуярви; (2) мезотермальная молибденит-уранинит-браннеритовая ассоциация, связанная с альбититами биотит-клинохлоровой фации, выявленная на рудопроявлении Озерное. В составе этой ассоциации преобладает уранинит,

развитый в виде отдельных зерен и их скоплений; наблюдается браннерит в виде ксеноморфных выделений в альбит-карбонатной породе, отмечается настуран. Наряду с урановой формируется сульфидная минерализация, включающая молибденит, пирит, халькопирит, галенит. Молибденит зачастую наблюдается в виде мелких включений в уранините или образует самостоятельные зерна сферолитоподобной формы. К рудным ассоциациям относятся также: (3) мезотермальная золото-пирит-пирротин-халькопиритовая ассоциация в кварцевых жилах выполнения во вмещающих альбититовых породах. На рудопроявлениях Озерное, Лагерное, Алакертти выявлены кварцевые с сульфидами жилы, аналогичные по составу, формам выделения сульфидов и условиям формирования кварцевых жил месторождения Майское; (4) мезотермальная золото-пирит-пирротин-халькопиритовая ассоциация, связанная с метасоматитами биотит-клинохлор-альбит-доломит-кварцевого состава, которые отнесены нами к эйситам. В штучных пробах из керна скважин, пробуренных в центральной части рудного узла, к северу от участка Озерное–Лагерное, установлены содержания золота от аномальных (0,18–0,35 г/т) до уровня рудных концентраций (0,99–14,0 г/т); (5) эпитеермальная золото-селенидно-теллуридная ассоциация, связанная с кварц-майкит-анкеритовыми метасоматитами, имеющими наложенный характер по отношению к рассмотренным выше рудным ассоциациям, связанным с альбититами и эйситами.

Прогнозные ресурсы золота Куолярвинского рудного узла оценивались по категории P₃ в 60 т. Они сосредоточены в пределах трех площадей, соответствующих рудным полям — Алим-Курсуярвинской (90 км²), Майской (100 км²), Нилуттиярвинской (85 км²) — рис. 2. В 2018 г. В рамках проведения ГДП-200 прогнозные ресурсы золота Куолярвинского рудного узла оценены по категории P₃ в 18 т. Наблюдаемое несоответствие связано, вероятно, с неполным учетом особенностей рудоносности территории исследований по сравнению с объектами-аналогами группы Ромпас, сопредельной территории Финляндии.

Таблица 2

Рудные ассоциации Куолярвинского рудного узла

Table 2. Ore associations of the Kuolajarvi ore cluster

Рудная ассоциация	Рудовмещающие образования (минеральные парагенезисы)	Примеры рудных объектов
Мезотермальная (уранинит)-торит-браннеритовая	Альбититы гастингситовой фации (Пл ₅₋₁₀ + Гаст + До)	Рудопроявления Лагерное, Алакерттинское
Мезотермальная молибденит-браннерит-уранинитовая	Альбититы биотит-клинохлоровой фации (Пл ₅₋₁₀ + Би _{зел} + Хл _{А3} + До)	Рудопроявление Озерное
Мезотермальная золото-пирротин-халькопиритовая	Кварцевые жилы выполнения	Рудопроявления Озерное, Лагерное, Алакерттинское, Алим-Курсуярви
Мезотермальная золото-пирит-пирротин-халькопиритовая	Эйситы (Кв + Пл ₀₋₅ + До ± Би _{зел} ± Хл _{А3} ± Хл _{АС})	Пункты минерализации в скважинах 5, 6, 7
Эпитеермальная золото-селенидно-теллуридная	Кварц-майкит-анкеритовые метасоматиты (Анк ± Мк ± Кв)	Рудопроявления Озерное, Лагерное(?), Алакерттинское(?)

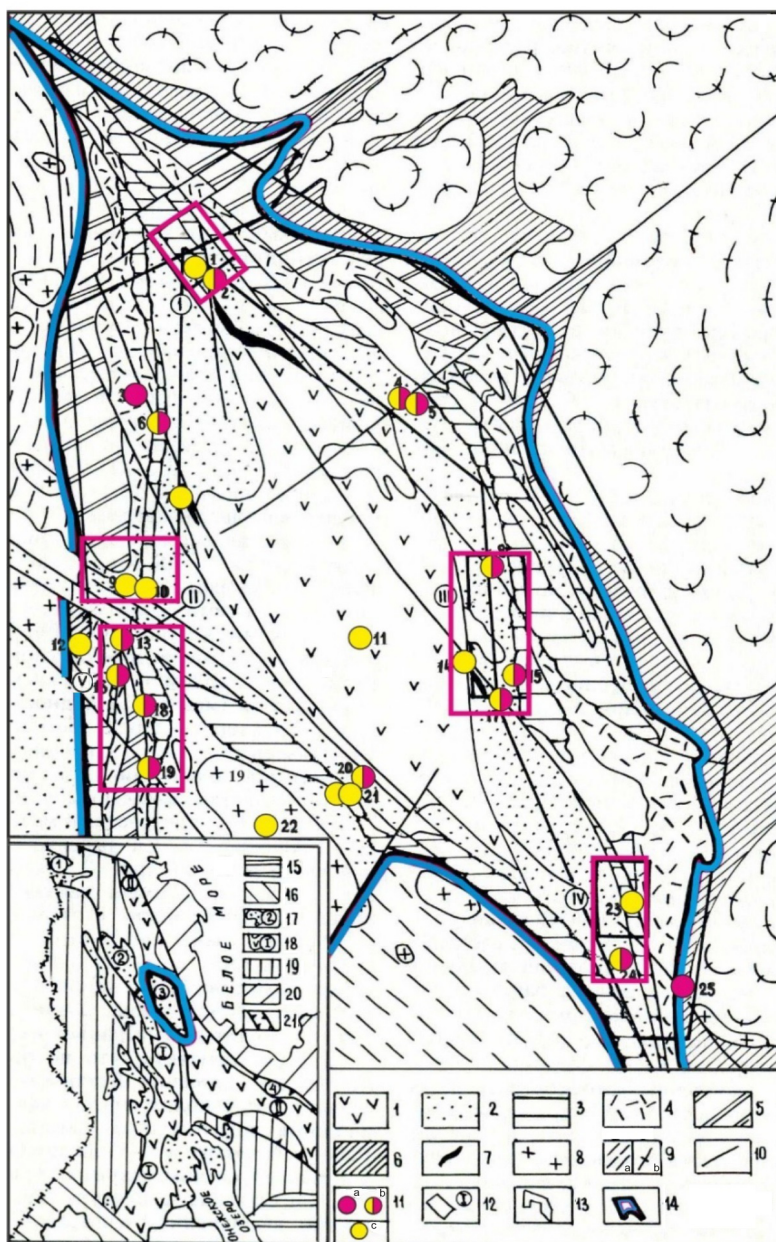


Рис. 9. Лехтинская структура. Схема геологического строения с положением участков, перспективных на золото, золото-урановое оруденение

1, 2 — ятулий: вулканогенные (1), терригенно-осадочные (2) образования; 3 — вулканогенные, осадочно-вулканогенные породы сариолия; 4 — вулканы кислого состава сумия; 5 — вулканы основного-среднего состава сумия(?); 6 — сланцы разного состава лопия; 7 — долериты, габбро-долериты; 8 — граниты; 9 — плагиограниты, мигматит-граниты (a), тоналиты, диориты, гранодиориты (b); 10 — разломы; 11 — рудопоявления и проявления: урановые (a), золото-урановые (b), золотые (c); участки, перспективные на обнаружение золотого, золото-уранового оруденения: Колгева (I), Хохлозеро (II), Риговарака (III), Пайозеро (IV), Железные Ворота (V); 13 — контур Лежевской площади, в пределах которой проводились поисковые работы на золото (2009 г.); 14 — контур Лехтинской раннепротерозойской структуры; 15 — платформенный чехол; 16 — Свекофенский складчатый пояс; 17-19 — Карельская гранит-зеленокаменная область: 17 — ятулий, суйсарий, вепсий нерасчлененные, 18 — сумий, сариолий нерасчлененные, 19 — комплекс архейского основания; 20 — Беломорская гранулит-гнейсовая область; 21 — границы Восточно-Карельской структурной зоны

Источник: по Е. Н. Афанасьевой [и др.] [15]

Fig. 9. Lekhta structure. Geological structure diagram, with promising areas of gold, gold-uranium mineralization located

1, 2 — Jatuli: volcanogenic (1), terrigenous-sedimentary (2) formations; 3 — Sariolian volcanogenic, sedimentary-volcanic rocks; 4 — Sumian felsic volcanites; 5 — Sumian(?) mafic-intermediate volcanites; 6 — Lopian shales of different composition; 7 — dolerites, gabbro-dolerites; 8 — granites; 9 — plagiogranites, migmatite-granites (a), tonalites, diorites, granodiorites (b); 10 — faults; 11 — ore occurrences and occurrences of uranium (a), gold-uranium (b), gold (c); promising areas of gold and gold-uranium mineralization: Kolgevara (I), Khokhlozero (II), Rigavaraka (III), Payozero (IV), Iron Gates (V); 13 — outline of the Lezhevskaya area, which involved prospecting work for gold in 2009; 14 — outline of the Lekhta Early Proterozoic structure; 15 — platform sedimentary cover; 16 — Svecofennian Fold Belt; 17-19 — Karelian granite-greenstone region: 17 — Jatuli, Suisari, Veps undissected, 18 — Sumi, Sarioli undissected, 19 — Archean basement complex; 20 — Belomorskaya granulite-gneiss region; 21 — boundaries of the East Karelian structural zone

Source: by E. N. Afanaseva [et al.] from [15]

Лехтинская структура, расположенная в пределах Восточно-Карельской зоны, к юго-востоку от Куусамо-Панакуолярвинской структуры, также перспективна на золотое, золото-урановое оруденение (рис. 9). Структура характеризуется широким развитием потенциально перспективных на золото вулканитов кислого состава сумия, среднего состава сариолия, интенсивным проявлением складчатых и сопряженных с ними разрывных нарушений, проявлением золотоконтролирующих минеральных ассоциаций: пирит-кварц-биотитовых в вулканитах кислого состава сумия, парагенезисов с карбонатом и мусковитом в туфогенно-осадочной тоще сариолия, мусковитовых, серицит-мусковитовых в ятулийских песчаниках и гравелитах ятулия.

Проявления золотой, урановой и золото-урановой минерализации размещаются на разных стратиграфических уровнях, среди метасоматически измененных конгломератов и гравелитов ятулия (Риговарака, Кичу-Лампи и др.), базальных конгломератов (Железные Ворота) и вулканитов среднего состава (Колгевара, Хохлозеро-1 и др.) сариолия, вулканитов кислого состава сумия (Чуруж, Пайозеро), интрузивных пород основного состава (Хохлозеро-2, Шуезеро и др.).

В пределах Лехтинской структуры выделены участки, перспективные на выявление золотого, золото-уранового оруденения, — Колгеварский, Хохлозерский, Риговаракский, Пайозерский, Железноворотинский — рис. 9. Рудные объекты в пределах Колгеварского и Хохлозерского участков приурочены к ядерным частям антиклинальных складок, осложненных зонами рассланцевания и брекчирования, и размещаются среди вулканитов среднего состава сариолия на контакте с песчаниками ятулия (рудопроявление Колгевара) или с кварцевыми порфирами и кератофирами сумия (рудопроявление Хохлозера). Содержание золота в метасоматически измененных вулканитах достигают 2,0–2,5 г/т, в жилах сульфидно-кварцевого состава, составляющих центральные части рудоносных зон, 4,0–4,5 г/т. Золото-урановые проявления Риговаракского участка локализованы в зонах катаклаза и милонитизации, прослеживающихся по простиранию на 50–100 м при мощности от 0,5 до 1,5 м и развитых среди кварцевых конгломератов и гравелитов ятулия. Рудная минерализация представлена самородным золотом и уранинитом. Содержания золота колеблются от 0,2–0,4 до 2,0–2,5 г/т, достигая в единичных пробах 16–17 г/т; содержания урана составляют 0,007 % на мощность 0,4–0,6 м. Золотопроявления Пайозерского участка размещаются среди вулканитов кислого состава сумия и локализованы преимущественно в приконтактных частях субвулканических интрузий. Содержание золота в метасоматически измененных вулканитах кислого состава достигает 4–6 г/т, в кварцевых, сульфидно-кварцевых жилах — 43 г/т.

Авторские прогнозные ресурсы золота по категории P_3 составляют: 18,8 т (участок Хохлозерский), 15,7 т (участок Колгеварский), 10,1 т (участок Риговаракский), 7,2 т (участок Пайозерский) (рис. 9); прогнозные ресурсы урана для Лехтинской структуры,

по данным ГП «Невскгеология», оцениваются по категории P_3 в 15 тыс. т (В. В. Титов, 1999). Полученная количественная оценка ресурсов золота на золотых и золото-урановых объектах требует уточнения в ходе дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе комплексного анализа имеющихся данных можно сделать вывод, что наиболее перспективными на выявление уранового и комплексного уранового оруденения в пределах российской части Балтийского щита являются зоны предрифейского структурно-стратиграфического несогласия и зоны складчато-разрывных дислокаций. К структурам, наиболее перспективным на выявление промышленных месторождений урана, относятся Паша-Ладожский грабен и Онежский прогиб.

Золото-урановые объекты сегодня играют ключевую роль в формировании минерально-сырьевой базы золота и урана в пределах докембрийских щитов, в том числе и Балтийского щита. Прогнозные ресурсы золота на объектах этого типа составляют около 30 % от общих прогнозных ресурсов восточной части Балтийского щита [4]. Связь золота и урана на рудных объектах не всегда очевидна; чаще всего они совмещены в пространстве, но разорваны во времени, как это наблюдается на проявлениях Озерное и Лагерное. Временная последовательность формирования золотого и уранового оруденения должна изучаться в ходе дальнейших исследований.

Для решения вопроса практической значимости золото-уранового оруденения разных типов необходимо продолжить изучение Куусамо-Панакуолярвинского прогиба, Лехтинской и других раннепротерозойских структур, которые являются частью шовной, наиболее проницаемой и рудонасыщенной Восточно-Карельской рифтогенной зоны, других структурно-вещественных обстановок Балтийского щита, на основе проведения ревизионных, тематических и поисковых работ, нацеленных на изучение масштабов золото-уранового оруденения и создания рудно-генетической модели его формирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьева Е. Н., Миронов Ю. Б. Металлогения урана Балтийского щита // Разведка и охрана недр. 2015. № 10. С. 82–88.
2. Уран Балтийского щита: пространственно-временные закономерности размещения / Е. Н. Афанасьева [и др.] // Международная конференция «Геохимия урана 2003». Нанси, Франция, 2003. С. 27–29.
3. Грушевой Г. В., Миронов Ю. Б., Иванова Т. А. Ураноносность чехла Русской платформы // Региональная геология и металлогения. 2007. № 32. С. 28–39.
4. Металлогенический потенциал урана Северо-Западного региона Российской Федерации / В. А. Михайлов [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2007. № 32. С. 20–27.
5. Урановорудный потенциал России 2015–2035 гг. / Г. А. Машковцев [и др.] // Минеральное сырье. Вып. 33. М. : ВИМС, 2017. 118 с.

6. Металлогения урана Онежско-Ладжской провинции / В. А. Михайлов [и др.] // Региональная геология и металлогения. 1999. № 8. С. 65–81.

7. Кушнеренко В. К. Перспективы промышленной ураноносности Северо-Западного региона Российской Федерации // Научно-практический семинар «Проблемы сырьевого обеспечения атомной отрасли». СПб., 2004. С. 32–41.

8. Особенности уран-золоторудных проявлений группы Ромпас и объекта Палокас (Северная Финляндия) / Н. А. Гребенкин [и др.] // Разведка и охрана недр. 2015. № 5. С. 11–17.

9. Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralization at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland / F. Molnár [et al.] // Mineralium Deposita. 2016. Vol. 51. P. 681–702. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0636-6>.

10. Vanhanen E. Cobalt, gold and uranium-bearing mineralization and their relation to deep fractures in the Kuusamo. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland, 1998. P. 91–97.

11. Vanhanen E. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au (U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland, 2001. 283 p.

12. Этапы формирования урановой минерализации Салла-Куоляярвинской зоны (Северная Карелия): геологические и изотопно-геохронологические данные / А. А. Калинин [и др.] // Записки РМО. 2015. Т. 144, № 2. С. 99–108. URL: https://disk.yandex.ru/i/fitD_ifX4EHxfQ (дата обращения: 11.10.2024).

13. Афанасьева Е. Н., Миронов Ю. Б. Перспективы выявления золото-урановых месторождений в пределах Куоляярвинского прогиба (Северная Карелия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: сб. тезисов докладов IX Междунар. науч.-практ. конф. М., 2019. С. 68–69.

14. Миронов Ю. Б., Афанасьева Е. Н. Золото-урановая минерализация в районе Куусамо-Панаярви (Фенноскандинавский щит) // 13-е SCA совещание. Нанси, Франция, 2015. Т. 5. С. 1843–1845.

15. Афанасьева Е. Н., Миронов Ю. Б. Потенциал золото-уранового оруденения Балтийского щита и перспективы его реализации // Разведка и охрана недр. 2022. № 8. С. 46–53.

2. Uranium of the Baltic Shield: Spatiotemporal patterns of placement / E. N. Afanasyeva. *International Conference "Geochemistry of Uranium 2003"*. Nancy, France; 2003, P. 27–29. (In Russ.).

3. Grushevoy G. V., Mironov Yu. B., Ivanova T. A. Uranium potential of the Russian platform cover. *Regional Geology and Metallogeny*. 2007; (32): 28–39. (In Russ.).

4. Uranium potential of the Northwestern region of the Russian Federation / V. A. Mikhailov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2007; (32): 20–27. (In Russ.).

5. Uranium ore potential of Russia 2015–2035 / G. A. Mashkovtsev [et al.]. *Mineral Stock*. Iss. 33. Moscow: VIMS; 2017. 118 p. (In Russ.).

6. Uranium metallogeny of the Onega-Ladoga province / V. A. Mikhailov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 1999; (8): 65–81. (In Russ.).

7. Kusherenko V. K. Prospects for industrial uranium content in the northwestern region of the Russian Federation. *Scientific workshop "Problems of raw material supply for the nuclear industry"*. St. Petersburg; 2004, pp. 32–41. (In Russ.).

8. Peculiarities of the uranium-gold occurrences at Rompas Group and Palokas site (Northern Finland) / N. A. Grebenkin [et al.]. *Prospect of Mineral Resources*. 2015; (5): 11–17. (In Russ.).

9. Association of gold with uraninite and pyrobitumen in the metavolcanic rock hosted hydrothermal Au-U mineralization at Rompas, Peräpohja Schist Belt, northern Finland / F. Molnár [et al.]. *Mineralium Deposita*. 2016; 51: 681–702. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0636-6>.

10. Vanhanen E. Cobalt, gold and uranium-bearing mineralization and their relation to deep fractures in the Kuusamo. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland; 1998. P. 91–97.

11. Vanhanen E. Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au (U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland. Espoo, Finland: Geological Survey of Finland; 2001. 283 p.

12. Stages in formation of uranium mineralization in the Salla-Kuolajarvinskaya zone (Northern Karelia): geological and isotope geochronological data / A. A. Kalinin [et al.]. *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society)*. 2015; 144 (2): 99–108. URL: https://disk.yandex.ru/i/fitD_ifX4EHxfQ (accessed 11.10.2024). (In Russ.).

13. Afanasyeva E. N., Mironov Yu. B. Prospects for identifying gold-uranium deposits within the Kuolajarvinsky trough (North Karelia). Proceedings of the IX International scientific conference "Scientific and methodological basis for forecasting, prospecting, and evaluating deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals". Moscow; 2019. P. 68–69. (In Russ.).

14. Mironov Yu. B., Afanasyeva E. N. Gold-Uranium mineralization in the Kuusamo-Panajarvi region (Fennoscandian Shield). *13th SCA Meeting*. Nancy, France. 2015; 5: 1843–1845. (In Russ.).

15. Afanaseva E. N., Mironov Yu. B. Potential of gold-uranium mining of the Baltic Shield and prospects for its implementation. *Prospect of Mineral Resources*. 2022; (8): 46–53.

REFERENCES

1. Afanaseva E. N., Mironov Yu. B. Uranium metallogeny of the Baltic Shield. *Prospect of Mineral Resources*. 2015; (10): 82–88. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_24274754_76545236.pdf (accessed 11.10.2024). (In Russ.).

Елена Николаевна Афанасьева

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0006-6546-3841>
Scopus Author ID 57817229000
SPIN-код РИНЦ 5011-4689
Elena_Afanasyeva@karpinskyinstitute.ru

Elena N. Afanaseva

PhD (Geology and Mineralogy)
Leading Researcher

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0006-6546-3841>
Scopus Author ID 57817229000
RSCI SPIN-code 5011-4689
Elena_Afanasyeva@karpinskyinstitute.ru

Юрий Борисович Миронов

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор, заведующий отделом

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0003-6307-7531>
SPIN-код РИНЦ 1684-4186
yuri_mironov@karpinskyinstitute.ru

Анастасия Александровна Петрова

Геолог первой категории, аспирант

Всероссийский научно-исследовательский геологический
институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0006-2914-6064>
anastasiya_petrova@karpinskyinstitute.ru

Александр Владимирович Козлов

Доктор геолого-минералогических наук,
доцент, заведующий кафедрой геологии
и разведки месторождений полезных ископаемых

Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия

ORCID 0000-0002-8759-4088
Scopus ID 10042352300
ResearcherID AAC-8847-2020
SPIN-код РИНЦ 2298-4976
akozlov@spmi.ru

Yuriy B. Mironov

DSc (Geology and Mineralogy), Head of Department

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0003-6307-7531>
RSCI SPIN-code 1684-4186
yuri_mironov@karpinskyinstitute.ru

Anastasiya A. Petrova

First Category Geologist, Postgraduate Student

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0006-2914-6064>
anastasiya_petrova@karpinskyinstitute.ru

Aleksandr V. Kozlov

DSc (Geology and Mineralogy),
Associate Professor, Head, Department of Geology
and Exploration of Mineral Deposits

Saint-Petersburg Mining University,
Saint Petersburg, Russia

ORCID 0000-0002-8759-4088
Scopus ID 10042352300
ResearcherID AAC-8847-2020
RSCI SPIN-code 2298-4976
akozlov@spmi.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 12.08.2024
Одобрена после рецензирования 02.11.2024
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 12.08.2024
Approved after reviewing 02.11.2024
Accepted for publication 28.12.2024