

УДК 552.4+553.22+553.41 (470.21+470.22)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ КИЧАНСКОЙ СТРУКТУРЫ ТИКСШЕОЗЕРСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)

© 2017 г. А. А. Калинин¹, Б. Ю. Астафьев², О. А. Воинова³, Т. Б. Баянова¹, В. В. Хиллер⁴¹Геологический институт КНЦ РАН, 184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14, e-mail: kalinin@geoksc.apatity.ru²Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2³Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, 199106, г. Санкт-Петербург, Средний просп., 74⁴Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15

Поступила в редакцию 22.07.2016 г.; принята к печати 14.09.2016 г.

В Кичанской структуре Тикшеозерского зеленокаменного пояса установлены типичные для зеленокаменных поясов мира проявления железистых кварцитов, колчеданных существенно пирротиновых руд, арсенопирита, молибденита и золота. Проявления молибденита, арсенопирита и золота имеют наложенный характер и связаны с палеопротерозойскими свекофенскими метаморфо-метасоматическими процессами во вмещающих породах неогарнейского возраста. Так, время формирования арсенопиритовой минерализации по составу монацита оценено значением 1789 ± 47 млн лет, а возраст золоторудной минерализации, установленный по титаниту с включениями самородного золота, составил 1739 ± 15 млн лет. Первоочередной поисковый интерес в Кичанской структуре могут представить рудопроявления золота, приуроченные к метасоматически измененным амфиболитам и гнейсам с пирротин-арсенопиритовой минерализацией в зонах надвиговых тектонических нарушений. Золото тонкое (<0.1 мм), высокопробное (890–913), чаще всего это ксеноморфные зерна, реже встречаются идиоморфные шестигранные выделения. Золото образует включения и выделяется по трещинам в роговой обманке, плагиоклазе, титаните, кварце, часто оно приурочено к границе зерен арсенопирита и марказита с кварцем и силикатными минералами, а также отмечается в виде включений в пирротине и халькопирите.

Ключевые слова: Тикшеозерский зеленокаменный пояс, Кичанская структура, амфиболиты, скарноиды, молибден, золото

GEOLOGICAL STRUCTURE AND PERSPECTIVES FOR MINERALIZATION OF THE KICHANY STRUCTURE, TIKSHEOZERSKY GREENSTONE BELT (NORTHERN KARELIA)

Arkady A. Kalinin¹, Boris Yu. Astaf'ev², Ol'ga A. Voinova³, Tamara B. Bayanova¹,
Vera V. Khiller⁴¹Geological Institute, Kola Science Centre of RAS, 184209, Fersman st., 14, Apatity, Russia, e-mail: kalinin@geoksc.apatity.ru²Institute of Geology and Geochronology of the Precambrian of RAS, 199034, Makarov quay, 2, St. Petersburg, Russia³A.P. Karpinsky All-Russian Geological Institute (VSEGEI), 199106, Sredny av., 74, St. Petersburg, Russia⁴A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 620016, Akad. Vonsovsky st., 15, Ekaterinburg, Russia

Received 22.07.2016; accepted 14.09.2016

Mineral deposits in the Neoproterozoic greenstone belts in the Fennoscandian Shield, especially in its eastern (Russian) part, are not as numerous as in Archean belts of Canada, Australia, or Southern Africa. The goal of the present paper is to show with an example of Tiksheozersky belt, that Neoproterozoic greenstone belts in Northern Karelia and Kola Peninsula do contain ore occurrences, typical to greenstone belts in the world, therefore prospects of these geological structures for mineral deposits are not uncovered fully. Ore occurrences of jaspilite, massive sulfide pyrrhotite ore, molybdenite with uranium and graphite, arsenopyrite, and gold were found in the Kichany structure of the Tiksheozersky belt. Jaspilites and massive sulfide ores were considered as syngenetic to volcanic-sedimentary host rocks. Occurrences of molybdenite, arsenopyrite, and gold are epigenetic, controlled by zones of alteration. Zonality in ore-bearing altered rocks, peculiar properties of their chemical and mineral composition, as well as composition of rock-forming and ore minerals, were studied in detail. Age of processes of alteration was estimated with different geochronological methods. Dating of zircon grains from the molybdenite occurrence with LA-ICP-MS method showed two events 2600–2700 Ma (formation of host rocks) and 2100–1900 Ma (regional metamorphism) in their formation. Estimation of age of quartz-garnet-tourmaline metasomatite from arsenopyrite occurrence with composition of monazite gave 1789 ± 47 Ma, it corresponds to post-metamorphic event, probably connected with intrusions of tourmaline granites. Gold mineralization in quartz metasomatite and skarnoid has near the same age: titanite, which contains inclusions of gold, formed 1739 ± 15 Ma ago. Hence, occurrences of gold, arsenopyrite, and molybdenite formed in Neoproterozoic rocks during Palaeoproterozoic (Svecofennian) metamorphic-

metasomatic events. Gold mineralization is the most promising in the belt. Position of gold occurrences is controlled by thrust zones, gold concentrates in altered amphibolite with arsenopyrite-pirrotite mineralization.

Keywords: Tiksheozersky greenstone belt, Kichany structure, amphibolite, skarnoid, molybdenum, gold

Acknowledgments

The authors are deeply grateful to Corresponding Member of the RAS Yu.G. Safonov (IGEM RAS), T.V. Kaulina, N.M. Kudryashov (GI KSC RAS), A.S. Voinov (SPb SU) for a productive discussion of the work, valuable advices and assistance in the preparation of the article.

Work was carried out in the framework, Project 0231-2015-0001.

Для цитирования: Калинин А.А., Астафьев Б.Ю., Воинова О.А., Баянова Т.Б., Хиллер В.В. (2017) Геологическое строение и перспективы рудоносности Кичанской структуры Тикшеозерского зеленокаменного пояса (Северная Карелия). *Литосфера*, 17(3), 102-126. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-102-126

For citation: Kalinina A.A., Astaf'ev B.Yu., Voinova O.A., Bayanova T.B., Khiller V.V. (2017) Geological structure and perspectives for mineralization of the Kichany structure, Tiksheozersky greenstone belt (Northern Karelia). *Litosfera*, 17(3), 102-126. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-102-126

ВВЕДЕНИЕ

Широко известно, что с зеленокаменными поясами архейского возраста связаны орогенические месторождения золота, месторождения железа в джеспилитах, редких металлов в пегматитах, меди и никеля в основных интрузивах и коматиитах, ряд других рудных месторождений. Особенно высокой рудоносностью отличаются зеленокаменные пояса Канады, Австралии и Южной Африки. Рудоносность архейских зеленокаменных структур Фенноскандинавского щита, в том числе расположенных в его восточной (русской) части, существенно ниже.

Цель настоящей статьи – на примере одной из зеленокаменных структур Тикшеозерского зеленокаменного пояса (ТЗП) показать, что раннеархейские пояса севера Карелии и юго-запада Мурманской области содержат проявления полезных ископаемых, типичные для зеленокаменных поясов мира и, следовательно, перспективы их рудоносности еще не раскрыты полностью.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КИЧАНСКОЙ СТРУКТУРЫ ТИКШЕОЗЕРСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА

Тикшеозерский зеленокаменный пояс расположен на юго-западе Мурманской области и в Северной Карелии, пояс прослеживается от пос. Зареченск примерно на 150 км в юго-восточном направлении до района губы Варалакша оз. Тикшеозеро при ширине выходов зеленокаменных пород до 15 км (рис. 1). ТЗП входит в Тикшеозерско-Парандовскую систему зеленокаменных поясов, которая участвует в строении пограничной области между Беломорским и Карельским аккреционно-коллизийными орогенами и является составной частью Ковдозерского микроконтинента (Глубинное строение..., 2010) (или Ковдозерского тектони-

ческого покрова согласно Ю.В. Миллеру с соавторами (2005). Зеленокаменные пояса Тикшеозерско-Парандовской системы на основании геологических, петрографических и геохимических данных рассматриваются в качестве палеоостроводужной структуры неоархейского возраста (Миллер и др., 2005; Глубинное строение..., 2010). Правомерность такой палеогеодинамической реконструкции подтверждается наличием пород бонинитовой серии в составе метавулканиитов Хизоварской и Иринегорской структур (Беляев, Пожиленко, 1997; Щипанский и др., 2001) и находкой офиолитов в пределах Иринегорской структуры ТЗП, детально описанной в работах А.А. Щипанского с соавторами (Щипанский и др., 2001; Розен и др., 2008). В работах (Кожевников, 2000; Бибикина и др., 2003; Глубинное строение..., 2010) зеленокаменные пояса Тикшеозерско-Парандовской системы классифицированы как аккреционные орогены с возрастом 2.84–2.76 млрд лет. Современный структурный рисунок зеленокаменных поясов обусловлен при этом интегральным эффектом последовательных деформаций не только неоархейского, но и палеопротерозойского возраста.

ТЗП состоит из отдельных тектонически совмещенных зеленокаменных структур – Каликорвинской, Кичанской, Мошинской, Иринегорской и Челозерской, разделенных тектоническими зонами и выходами гранитогнейсов (см. рис. 1). Основной объем наших исследований выполнен в пределах Кичанской структуры.

Кичанская структура ТЗП сложена неоархейскими (лопийскими) вулканогенно-осадочными породами комплексов плагиоамфиболитов и гнейсов (рис. 2) (Геологическая съемка..., 1996; Милькевич и др., 2003; Слабунов, 2008). Вулканогенно-осадочные толщи ТЗП делятся на нижнюю верхнеозерскую свиту мощностью около 200 м, перекрывающую ее хизоварскую (мощность до 1500 м) и завершающую разрез челозерскую свиты (мощ-

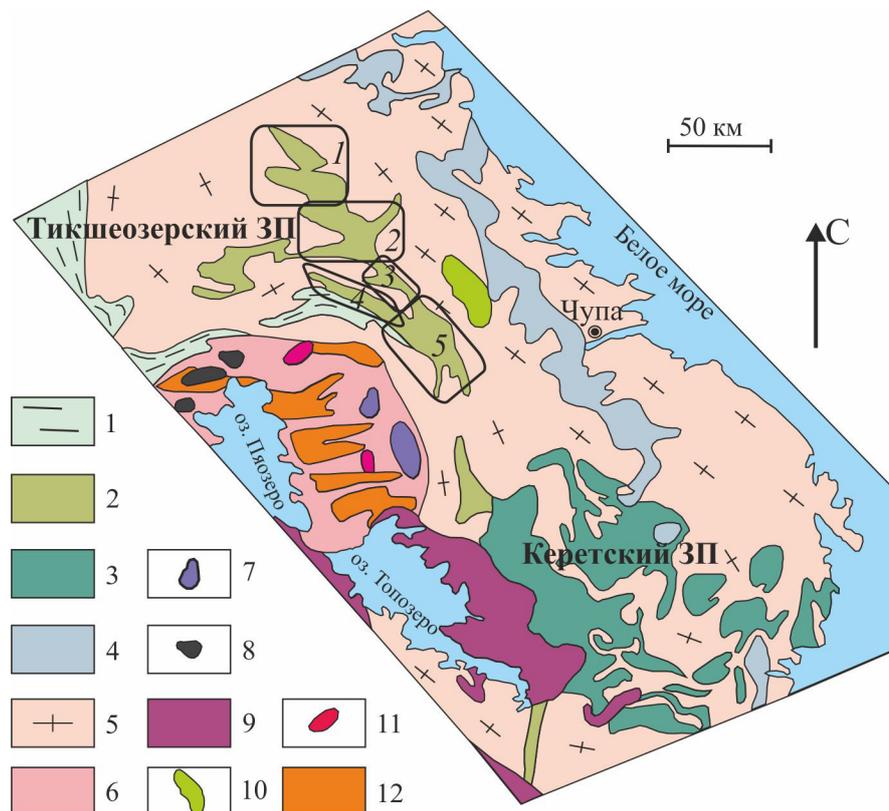


Рис. 1. Схема расположения Каликорвинской (1), Кичанской (2), Мошинской (3), Челозерской (4) и Иринегорской (5) структур Тикшеозерского зеленокаменного пояса (ЗП) по (Слабунов, 2008) с незначительными упрощениями и изменениями).

1 – палеопротерозойские (2.5–1.92 млрд лет) осадочные и вулканогенные образования; 2–3 – мезо- и неоархейские образования зеленокаменных поясов: 2 – с возрастом 2.78–2.74 млрд лет (Тикшеозерский зеленокаменный пояс и Хизоварская структура), 3 – с возрастом 2.88–2.84 млрд лет (Керетский ЗП); 4 – парагнейсы с редкими прослоями амфиболитов, Чупинский парагнейсовый пояс; 5 – мезо- и неоархейские образования (тоналитогнейсы, гнейсы, амфиболиты) Беломорского подвижного пояса (нерасчлененные); 6 – архейские образования Карельского неоархейского кратона (нерасчлененные); 7 – Елетьозерский щелочной комплекс (1745–1827 млн лет); 8 – расслоенные перидотит-габброноритовые интрузии Олангской группы (2.44–2.36 млрд лет), 9 – интрузивные чарнокиты и метачарнокиты тодозерского типа (\approx 2.45 млрд лет); 10 – субщелочные габброиды кундозерского типа; 11 – интрузивные чарнокиты пажминского типа (2.66 млрд лет); 12 – санукитоиды Северо-Карельского массива (2.72 млрд лет).

Fig. 1. Position of Kalikorvinskaya (1), Kichanskaya (2), Moshinskaya (3), Chelozerskaya (4), and Irinegorskaya (5) structures of the Tikhoezersky greenstone belt after (Slabunov, 2008) with insignificant simplification and modification.

1 – Paleoproterozoic (2.5–1.92 Ga) volcanic and sedimentary complexes; 2–3 – Meso- and Neoproterozoic rocks of greenstone belts: 2 – with age 2.78–2.74 Ga (Tikhoezerskii greenstone belt and Khizovarskaya structure), 3 – with age 2.88–2.84 Ga (Keret'sky greenstone belt); 4 – paragneiss with rare layers of amphibolite, the Chupinskii paragneiss belt; 5 – Meso- and Neoproterozoic rocks (tonalitic gneiss, gneiss, amphibolite) of the Belomorian mobile belt; 6 – Archean rocks of the Karelian Neoproterozoic craton; 7 – Elet'ozerskii alkaline complex (1.75–1.83 Ga); 8 – layered gabbro-norite-peridotite intrusions (2.44–2.36 Ga); 9 – charnokite and metacharnokite of the Topozerskii type (\approx 2.45 Ga); 10 – subalkaline gabbro of the Kundozerskii type; 11 – intrusive charnokite of the Pazhminsky type (2.66 Ga); 12 – North Karelian sanukitoid massif (2.72 Ga).

ность до 2000 м) (Астафьев и др., 2009). В работах Р.И. Милькевич с соавторами (2003, 2007) эти стратиграфические подразделения соответствуют нижней, средней и верхней толщам. Вмещающие структуру биотит-полевошпатовые и двуслюдяные гранитогнейсы ТТГ-ассоциации отнесены к котозерскому подкомплексу беломорского плутонометаморфического комплекса также лопийского возраста (Корсакова и др., 2000).

Верхнеозерская свита в Кичанской структуре представлена чередованием гранатовых и полевошпатовых роговообманковых амфиболитов, меланократовых биотит-амфиболовых, гранат-амфиболовых гнейсов, лейкократовых биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов и сланцев, при этом меланократовые породы слагают свыше 90% разреза толщи (рис. 3а). Первичная природа амфиболитов отвечает толейтовым и кома-

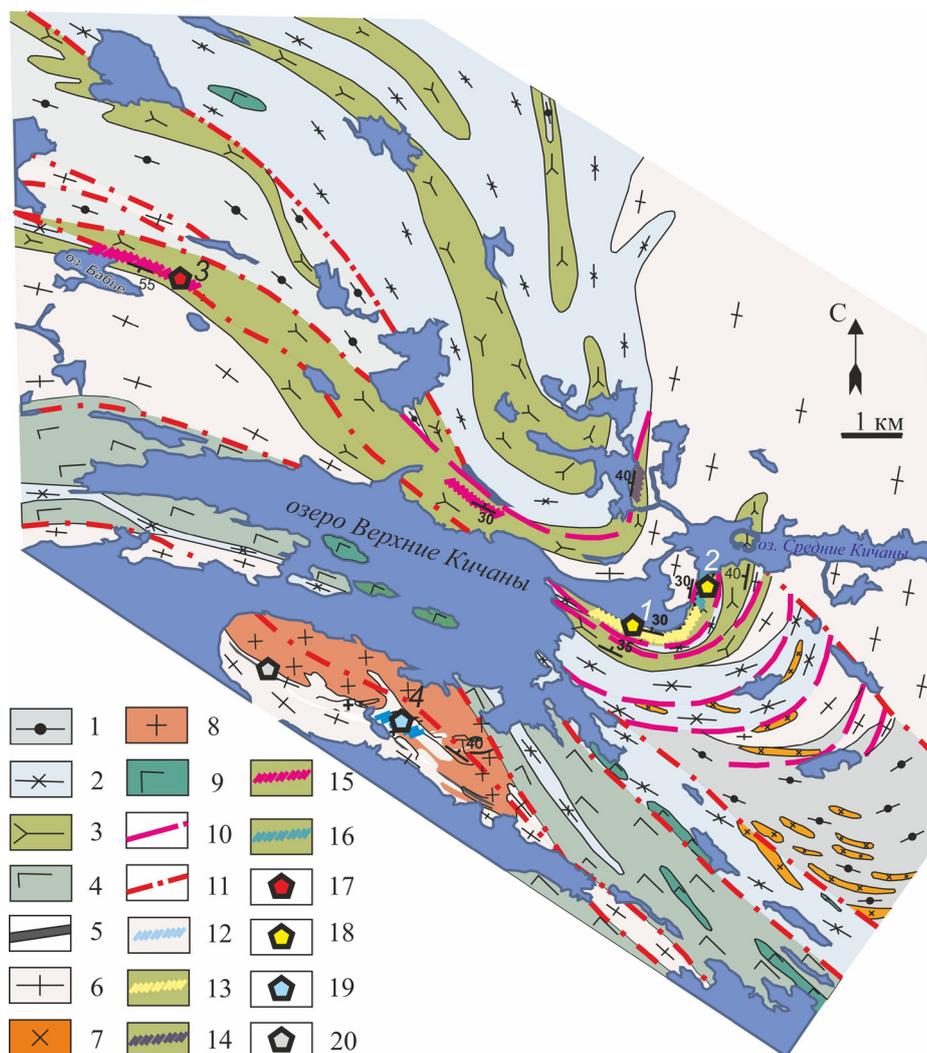


Рис. 2. Схема геологического строения Кичанской структуры Тикшеозерского зеленокаменного пояса.

1–2 – хизоварская свита: 1 – кианит-биотитовые и кианит-гранат-биотитовые гнейсы с редкими прослоями и линзами плагиоамфиболитов, 2 – лейкократовые биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы с прослоями и линзами плагиоамфиболитов; 3 – верхнеозерская свита – полевошпатовые и гранатовые амфиболиты с прослоями и линзами коматиитов, биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов; 4–5 – челозерская свита: 4 – плагиоамфиболиты, гранатовые плагиоамфиболиты, амфибол-биотитовые и биотит-амфиболовые гнейсы, 5 – биотитовые и двуслюдяные сланцы, железистые кварциты; 6 – биотитовые плагиомиоклиновые гнейсограниты и гнейсы Беломорского пояса; 7 – пегматоидные и крупнозернистые турмалиновые плагиомиоклиновые двуслюдяные граниты (PR?), 8 – плагиомиоклиновые огнейсованные граниты (AR); 9 – габбро, габбронориты (друзиты) окуневогубского комплекса; 10 – линии надвигов; 11 – прочие разрывные нарушения; 12–16 – участки интенсивного метасоматического преобразования пород: 12 – микроклин-кварцевых и кварцевых метасоматитов, 13 – скаполит-эпидот-кварцевых, диопсидовых метасоматитов, 14 – турмалин-амфибол-кварцевых метасоматитов, 15 – турмалин-амфибол-гранат-кварцевых метасоматитов, 16 – скарноидов и кварцевых метасоматитов; 17–20 – проявления рудной минерализации: 17 – арсенопиритовой, 18 – пирит-пирротиновой и пирротин-арсенопиритовой с золотом, 19 – уран-молибденовое и графитовое проявления, 20 – железистых кварцитов.

Fig. 2. Sketch geological map of the Kichanskaya structure of the Tiksheozersky greenstone belt.

1–2 – Khizovarskaya Formation: 1 – biotite-kyanite and biotite-garnet-kyanite gneisses with rare lenses and layers of amphibolites, 2 – leucocratic biotite and biotite-garnet gneisses with rare lenses and layers of amphibolites; 3 – Verkhneozerskaya Formation: feldspar and garnet amphibolite with layers and lenses of komatiite, biotite and biotite-garnet gneiss; 4–5 – Chelozerskaya Formation: 4 – amphibolite, garnet amphibolite, biotite-amphibole, and amphibole-biotite gneisses, 5 – biotite and bi-micaceous schists, jaspilites; 6 – biotite plagiomicrocline granite-gneiss and gneiss of the Belomorian belt; 7 – pegmatitic and coarse-grained tourmaline plagiomicrocline bi-micaceous granite (PR?); 8 – plagiomicrocline gneissic granite (AR); 9 – gabbro and gabbronorite of the Okunyovogubsky complex; 10 – thrusts; 11 – other faults; 12–16 – areas of intensive alteration: 12 – quartz-microcline and quartz metasomatic rocks, 13 – quartz-epidote-scapolite and diopside rocks, 14 – quartz-amphibole-tourmaline rocks, 15 – quartz-garnet-amphibole-tourmaline rocks; 16 – quartz metasomatite and skarnoid; 17–20 – ore occurrences: 17 – arsenopyrite mineralization, 18 – pyrrhotite-pyrite and arsenopyrite-pyrrhotite mineralization with gold, 19 – molybdenite-uranium and graphite occurrences, 20 – jaspilites.

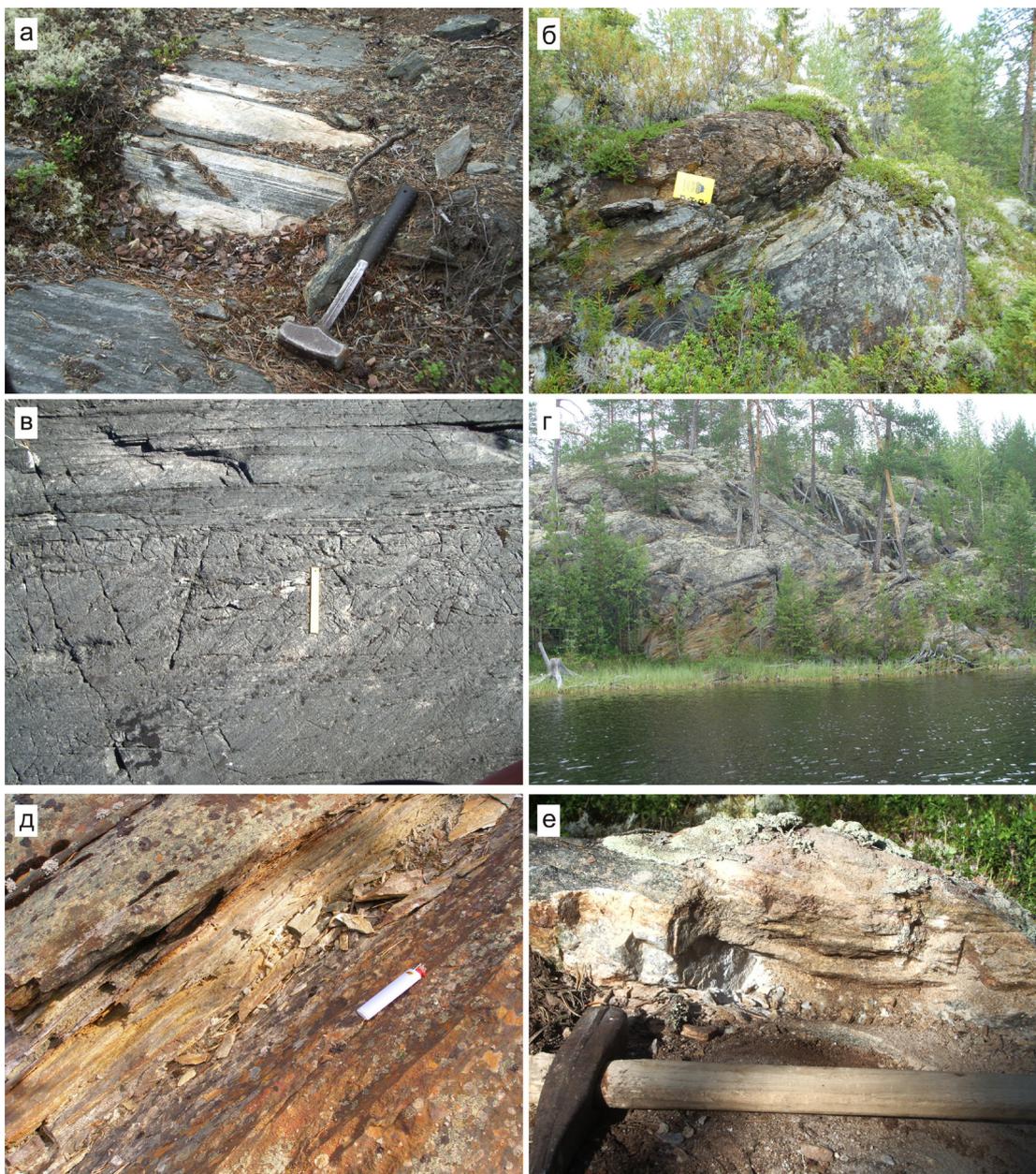


Рис. 3. Фотографии обнажений Кичанской структуры ТЗП.

а – полевошпатовый амфиболит с прослоями биотитовых гнейсов, верхнеозерская свита; б – поток коматиитов (проба КС-1224 в табл. 2) среди толеитовых базальтов (в нижней части обнажения); в – косая слоистость в биотитовых гнейсах, масштабная линейка 15 см; г – рассланцевание в зоне разлома, ограничивающего Кичанскую складку с юго-запада, губа Узкая оз. Верхние Кичаны; д – рассланцованные минерализованные полевошпатовые амфиболиты в зоне надвига, южный берег Восточной губы оз. Верхние Кичаны; е – зональное тело кварцевых и микроклин-кварцевых метасоматитов с молибдениевой минерализацией, U-Mo проявление Кичаны.

Fig. 3. Photo of outcrops in the Kichanskaya structure, Tiksheozersky greenstone belt.

а – feldspar amphibolite with layers of biotite gneiss, the Verhneozerskaya Formation; б – komatiite (sample KC-1224 in Table 2) in toleitic basalt (in the lower part of the outcrop); в – diagonal bedding in biotite gneiss, scale ruler 15 cm, г – schistosity in the fault zone, cutting south-western wing on the Kichany fold, Uzkaya bay of Verhnie Kichany lake; д – schistose mineralized feldspar amphibolite in the thrust zone in the southern shore of Verhnie Kichany lake, e – zonal body of quartz and quartz-microcline metasomatite with molybdenum mineralization, Mo-U occurrence Kichany.

тиитовым metabазальтам (табл. 1, рис. 4а). Пролои биотитовых гнейсов среди толеитовых ме-

табазальтов по составу частью относятся к метавулканитам, которые попадают в поле риолитов

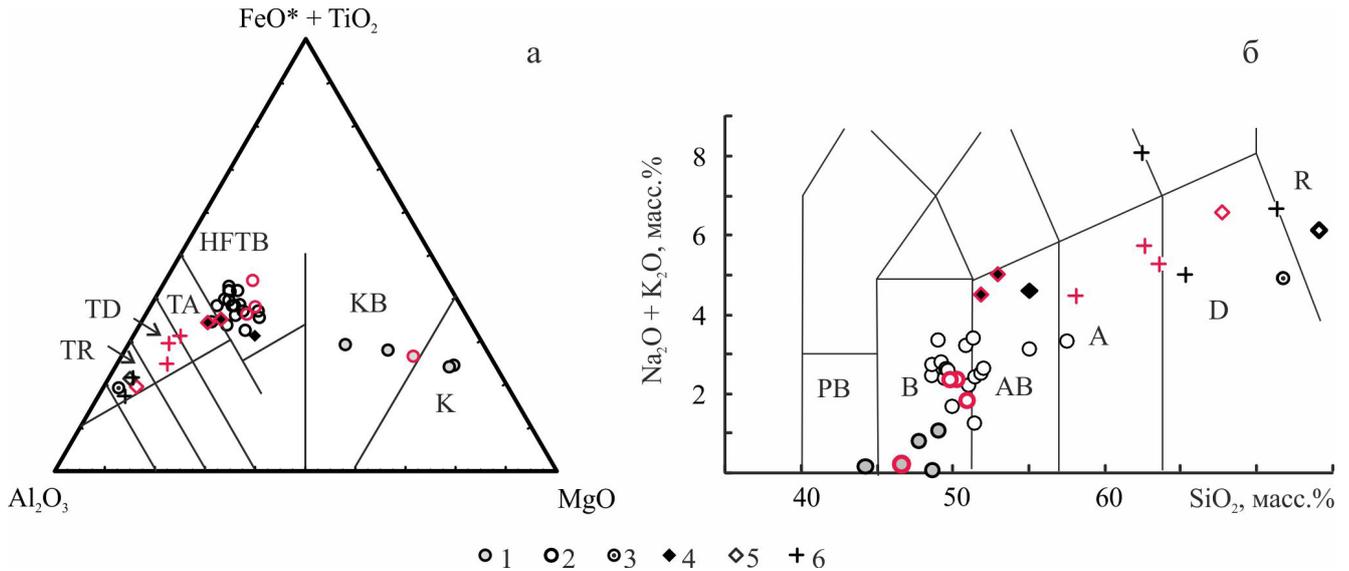


Рис. 4. Состав пород Кичанской структуры Тикшеозерского пояса на диаграмме AFM Йенсена (Jensen, Pyke, 1982) для вулканических пород (а) и на диаграмме SiO₂ – Na₂O + K₂O (б).

1 – коматииты и коматиитовые базальты (хлорит-актинолитовые амфиболиты); 2 – толеитовые базальты (гранатовые и полевошпатовые амфиболиты), верхнеозерская свита; 3 – прослой биотитовых гнейсов в полевошпатовых амфиболитах; 4 – андезитов-базальт (биотит-амфиболовый гнейс) челозерской свиты; 5 – биотитовые и двуслюдяные сланцы челозерской свиты; 6 – биотитовые, кианит-биотитовые и гранат-биотитовые плагиогнейсы хизоварской свиты. Красным помечены анализы пород, заимствованные из статьи (Милькевич и др., 2003).

Fig. 4. Composition of rocks from the Kichany structure, Tiksheozersky greenstone belt, in the AFM diagram for volcanic rocks (Jensen, Pyke, 1982) (a), and in SiO₂ – Na₂O + K₂O diagram (b).

1 – komatiite and komatiite basalt (actinolite-chlorite amphibolite); 2 – toleitic basalt (garnet and feldspar amphibolite) of the Verhneozerskaya Formation; 3 – a layer of biotite gneiss in feldspar amphibolite; 4 – andesitic basalt (amphibole-biotite gneiss) of the Chelozerskaya Formation; 5 – rhyolite and dacite (biotite and bi-micaceous schists) of the Chelozerskaya Formation; 6 – biotite, biotite-kyanite, and biotite-garnet plagiogneiss of the Khizovarskaya Formation. Assay results from (Mil'kevich et al., 2003) are given in red marks.

толеитовой серии (рис. 4а,б), частью – к осадкам (метаграуваккам).

Среди коматиитовых metabазальтов верхнеозерской свиты отмечены мелкие (мощностью 1.5–3.0 м и протяженностью в десятки метров) линзовидные тела сланцеватых метаультрабазитов карбонат-талк-антофиллит-хлоритового состава и более крупные (до 100 × 300 м) округлые тела массивных ультрабазитов карбонат-хлорит-антофиллитового состава (см. рис. 3б). Первые по химическому составу (см. рис. 4а) интерпретированы как метакотииты, вторые – как их интрузивные комагматы (Слабунов, 2008).

Хизоварская свита в Кичанской структуре представлена чередованием тонкозернистых лейкократовых биотитовых и гранат-биотитовых гнейсов с меланократовыми биотит-амфиболовыми, гранат-амфиболовыми гнейсами и сланцами при соотношении лейкократовых и меланократовых пород 3/2 и выше. По химическому составу биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы отвечают риолитам (см. табл. 1, рис. 4а), однако хорошо сохранившиеся реликтовые текстуры осадочных пород (косо-

слоистые серии с несогласными контактами с перекрывающими и подстилающими породами) (см. рис. 3в) свидетельствуют, что породы данной толщи следует отнести к метатуфам и метатуффитам.

Верхняя часть разреза ТЗП сложена породами челозерской свиты – мелко-среднезернистыми гранат-роговообманковыми амфиболитами, биотит-амфиболовыми гнейсами и сланцами, биотитовыми и двуслюдяными сланцами, железистыми кварцитами. Первичная природа амфиболовых и биотит-амфиболовых гнейсов и сланцев отвечает андезитов-базальтам и андезитам, биотитовых и двуслюдяных сланцев – андезитам, дацитам и их туфам (см. табл. 1, рис. 4а, б). В Кичанской структуре породы свиты установлены только в ее юго-западном крыле (см. рис. 2). Кроме того, на полуострове Кичаны линзы пород челозерской свиты мощностью до 100 м отмечены среди гранито-гнейсов беломорского плутоно-метаморфического комплекса (см. рис. 2). Такие линзы сложены переслаивающимися амфиболитами, амфиболовыми и биотит-амфиболовыми гнейсами, железистыми кварцитами и двуслюдяными сланцами. Можно

Таблица 1. Химический состав метаморфических и метасоматических горных пород Кичанской структуры Тикшеозерского пояса, мас. %**Table 1.** Chemical composition of metamorphic and metasomatic rocks in the Kichany structure, Tiksheozersky greenstone belt, wt %

Компонент	№ пробы										
	КС-1030	КС-1022	3711/9	КС-1023	КС-1027	КС-1026	КС-1225	КС-1108	КС-1250	КС-1254	КС-1111
SiO ₂	53.81	69.68	63.05	74.58	80.23	91.90	69.85	64.35	55.35	67.74	82.15
TiO ₂	0.70	0.49	0.46	0.11	0.04	0.07	0.25	0.57	1.03	0.45	0.12
Al ₂ O ₃	13.93	13.28	15.08	12.02	9.70	2.05	14.76	18.17	14.92	15.6	2.72
Fe ₂ O ₃	2.57	0.74	1.02	0.00	0.00	0.00	0.47	0.08	1.13	1.84	1.97
FeO	6.77	3.45	4.42	2.20	1.67	3.43	2.62	4.83	14.26	6.28	7.05
MnO	0.150	0.043	0.064	0.014	0.010	0.020	0.05	0.06	0.25	0.05	0.08
MgO	7.69	1.36	1.63	0.25	0.03	0.10	0.99	1.25	5.13	1.51	0.74
CaO	7.41	3.19	1.77	0.33	0.17	0.31	2.27	4.29	2.18	0.43	1.15
Na ₂ O	2.52	3.21	3.00	2.13	1.23	0.64	2.96	3.77	0.9	0.43	0.09
K ₂ O	1.97	1.09	4.01	6.89	6.25	0.51	3.66	1.14	0.92	0.04	0.16
H ₂ O-	0.24	0.34	0.34	0.21	0.14	0.14	0.34	0.25	0.28	0.12	0.30
П.п.п.	1.49	1.73	3.69	0.65	0.24	0.19	0.89	0.62	1.19	1.07	1.01
S	0.06	0.92	1.25	0.16	0.06	0.18	0.03	0.03	0.02	0.02	1.40
CO ₂	0.25	<0.10	0.052	<0.10	<0.10	<0.10	0.66	<0.10	<0.10	0.1	<0.10
P ₂ O ₅	0.10	0.10	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	0.09	–	0.07	0.13	–
F	0.097	0.089	0.063	0.007	0.005	0.006	0.03	0.031	0.021	0.019	0.011
Cl	0.012	0.006	0.052	0.014	0.011	0.016	0.028	0.005	<0.004	<0.004	0.007
As	–	–	–	–	–	–	–	0.032	–	–	0.55
B ₂ O ₃	–	–	–	–	–	–	–	–	0.106	3.44	–
Сумма	99.86	99.72	99.98	99.56	99.79	99.56	99.96	99.79	97.76	99.41	99.51
	КС-1001	КС-1039	КС-1105	КС-1054	КС-1004	КС-1104А	КС-1104	КС-1247	КС-1248	КС-1218	КС-1224
SiO ₂	48.41	49.71	54.04	40.49	55.52	63.28	84.14	47.51	44.69	43.41	38.20
TiO ₂	0.99	1.08	1.76	1.85	1.75	0.81	0.27	0.37	0.33	0.13	0.13
Al ₂ O ₃	16.34	14.19	14.36	17.21	14.37	8.74	4.07	10.02	8.23	3.58	3.64
Fe ₂ O ₃	2.33	3.67	2.04	5.56	3.34	4.53	0.84	2.49	1.85	1.74	4.83
FeO	8.50	9.42	10.39	7.08	4.82	7.09	4.64	8.41	10.06	8.37	6.66
MnO	0.19	0.28	0.16	0.190	0.11	0.06	0.04	0.21	0.19	0.20	0.19
MgO	7.81	5.25	4.36	3.46	3.96	1.96	1.05	16.30	22.26	27.58	30.22
CaO	10.34	11.26	7.85	18.81	8.24	3.72	1.67	10.49	5.13	4.09	2.24
Na ₂ O	1.98	1.06	2.45	0.96	2.89	1.98	0.92	0.93	0.70	0.06	0.13
K ₂ O	0.56	0.18	0.64	0.21	0.34	0.47	0.25	0.11	0.06	0.01	0.02
H ₂ O-	0.16	0.22	0.59	0.27	0.52	0.26	0.14	0.03	0.01	0.23	0.70
П.п.п.	1.89	2.39	0.94	2.55	2.61	1.35	0.69	0.03	0.02	5.17	9.16
S	0.08	0.67	0.28	0.23	1.27	3.01	1.07	0.26	0.29	0.07	0.04
CO ₂	<0.10	0.18	0.10	0.73	<0.10	<0.10	<0.10	2.45	3.34	5.65	3.32
P ₂ O ₅	0.04	0.08	–	0.15	0.08	–	–	0.33	2.41	0.02	0.03
F	0.010	0.02	0.016	0.016	0.025	0.009	0.005	0.01	0.01	0.058	0.058
Cl	0.048	0.023	0.01	0.017	0.017	0.005	0.008	–	–	<0.004	0.11
As	–	–	0.002	–	–	2.86	0.053	–	–	–	–
Сумма	99.68	99.64	100.00	99.75	99.86	100.14	99.86	99.95	99.58	100.37	99.68

Примечание. КС-1030 и КС-1022 – челозерская свита: КС-1030 – полосчатый биотит-роговообманковый плагиогнейс (метаандезит), КС-1022 – мусковит-биотитовый сланец (метариолит); 3711/9, КС-1023, КС-1027 и КС-1026 – метасоматиты по мусковит-биотитовым сланцам: 3711/9 – кварц-микроклиновый с графитом, КС-1023 и КС-1027 – микроклин-кварцевый метасоматит с минерализацией молибденита, КС-1026 – кварцевый метасоматит с молибденитом; КС-1225 и КС-1108 – хизоварская свита (туфы метариолитов): КС-1225 – биотитовый плагиогнейс; КС-1108 – гранат-биотитовый плагиогнейс; КС-1250, КС-1254 и КС-1111 – метасоматиты по гранат-биотитовому плагиогнейсу: КС-1250 и КС-1254 – амфибол-гранат-кварцевый метасоматит с турмалином и минерализацией арсенопирита, КС-1111 – амфибол-кварцевый метасоматит с арсенопиритовой минерализацией. КС-1001, КС-1039, КС-1105, КС-1247, КС-1248, КС-1218 и КС-1224 – верхнеозерская свита: КС-1001 – полевошпатовый амфиболит, КС-1039 и КС-1105 – гранатовые амфиболиты (толеитовые базальты), КС-1247, КС-1248 – хлорит-актинолитовые амфиболиты (коматиитовые базальты), КС-1218 и КС-1224 – карбонат-актинолит-хлоритовые породы – метакоматииты; КС-1054, КС-1004, КС-1104А, КС-1104 – метасоматиты по амфиболитам верхнеозерской свиты: КС-1054 – скарноид, КС-1004 – скаполит-диопсид-кварцевый метасоматит, КС-1104А – амфибол-кварцевый метасоматит с арсенопиритовой минерализацией, КС-1104 – кварцевый метасоматит. Химический анализ горных пород выполнен в химической лаборатории Геологического института КНЦ РАН. Проверка – элемент не определялся.

Note. KC-1030, KC-1022 – Chelozerskaya Formation: KC-1030 – banded hornblendite-biotite plagiogneiss (metaandesite), KC-1022 – biotite-muscovite schist (metarhyolite); 3711/9, KC-1023, KC-1027, and KC-1026 – metasomatite after biotite-muscovite schist: 3711/9 – microcline-quartz with graphite, KC-1023, KC-1027 – quartz-microcline with molybdenite, KC-1026 – quartz metasomatite with molybdenite; KC-1225, KC-1108 – the Khizovarskaya Formation, metarhyolite tuff: KC-1225 – biotite plagiogneiss, KC-1108 – biotite-garnet plagiogneiss; KC-1250, KC-1254, and KC-1111 – metasomatites after biotite-garnet plagiogneiss: KC-1250, KC-1254 – quartz-garnet-amphibole metasomatite with tourmaline and arsenopyrite, KC-1111 – quartz-amphibole metasomatite with arsenopyrite. KC-1001, KC-1039, KC-1105, KC-1247, KC-1248, KC-1218, and KC-1224 – the Verhneozerskaya Formation: KC-1001 – plagiоamphibolite, KC-1039, KC-1105 – garnet amphibolite (toleitic basalts), KC-1247, KC-1248 – actinolite-chlorite amphibolite (komatiitic basalts), KC-1218 and KC-1224 – chlorite-carbonate-actinolite rock (komatiite); KC-1054, KC-1004, KC-1104A, KC-1104 – metasomatite after amphibolites: KC-1054 – skarnoid, KC-1004 – quartz-diopside-scapolite metasomatite, KC-1104A – quartz-amphibole metasomatite with arsenopyrite, KC-1104 – quartz metasomatite with arsenopyrite and gold. The rocks were assayed at the Chemical laboratory of the Geological Institute, Kola Science Centre RAS. Dash – not assayed.

Таблица 2. Возраст пород Тикшеозерского зеленокаменного пояса

Table 2. Age of the rocks in the Tiksheozersky belt

Структура ТЗП	Толща пород	Порода	Значение возраста, млн лет	Ссылка
Кичанская	Хизоварская	Метагуфы	2735 ± 20	Милькевич и др., 2007
		Челозеркая	2720 ± 4	Левченков и др., 2003
	–	Плаггиомикроклиновые граниты	2674 ± 4	Другова и др., 1995
Каликорвинская	Верхнеозерская	Бiotитовые гнейсы-метадациты	2770 ± 12	Милькевич и др., 2007
		Метаграувакки (детритовый циркон)	2766 ± 21	–”–
Иринегорская	Хизоварская	Бiotитовые гнейсы-метадациты	2785 ± 13	–”–
		Челозерская	2782 ± 9	Бибикова и др., 2003
Челозерская	Челозерская	Метаандезитобазальты	2753 ± 13	Алексеев и др., 2004

Примечание. Все определения выполнены U-Pb методом по цирконам.

Note: All ages were estimated for zircons with U-Pb method.

предположить, что их формирование связано с тектоническим меланжем.

В центральной части Кичанской структуры ТЗП плаггиоамфиболиты и гнейсы верхнеозерской и хизоварской свит слагают крупную синформную складку с размахом крыльев свыше 5 км (см. рис. 2) с субвертикальной осевой плоскостью северо-западного простирания и шарниром, погружающимся к северо-западу под углом около 30°. Юго-западное и северо-восточное крылья складки к востоку от оз. Верхние Кичаны частично срезаны разломами северо-западного простирания, фиксирующимися на поверхности зонами интенсивного расщелачивания (см. рис. 3г).

Породы в пределах складки тектонизированы и серией надвигов разбиты на ряд пластин, среди которых есть пластины как толщ зеленокаменного пояса – плаггиоамфиболитов и плаггиогнейсов, так и гранитогнейсов – пород вмещающего беломорского комплекса. Границы между отдельными тектоническими пластинами выделяются зонами интенсивного расщелачивания, смятия и метасоматической переработки амфиболитов (см. рис. 3д) и гнейсов, мощность таких зон может достигать десятков метров.

Возраст вулканогенно-осадочных пород ТЗП попадает в интервал 2700–2800 млн лет (табл. 2).

История метаморфизма пород ТЗП включает два этапа – неоеархейский и палеопротерозойский.

Первый этап метаморфизма в интервале 2720–2780 млн лет (Баянова, 2004) по времени проявления весьма близок к возрасту вулканогенно-осадочных пород, и не исключено, что некоторые из приведенных в табл. 2 значений возраста пород на самом деле отражают возраст метаморфизма (Глубинное строение..., 2010). P-T условия неоеархейского этапа метаморфизма (T = 665–700°C и P = 7–11 кбар) отвечают верхней части амфиболитовой фации (Беляев, Пожиленко, 1997). Палеопротерозойский метаморфизм также протекал в условиях амфиболитовой фации, но при более низких значениях температуры и давления: T = 575–630°C и P = 5–6.5 кбар (Карта..., 1991). Время проявления палеопротерозойского метаморфизма, установленное по внешним зонам зерен цирконов, близко к отметке 1800 млн лет (Милькевич и др., 1997).

Магматические интрузивные образования в пределах Кичанской структуры представлены:

– плаггиомикроклиновыми гранитами винговского комплекса с изотопным возрастом 2674 ± 4 млн лет (Другова и др., 1995); крупный массив данного комплекса (≈6 × 1.5 км) занимает северную часть полуострова Кичаны между оз. Верхние Кичаны и губой Лисья (см. рис. 2).

– интрузиями габброноритов-друзитов окуневогубского комплекса: массивы данного комплекса образуют небольшие (до 3 км по простиранию, пер-

вые сотни метров вкрест) тела, сосредоточенные в основном на юго-восточном фланге структуры; для интрузий комплекса габброноритов-друзитов в районе Ковдозера определен возраст 2.44–2.45 млрд лет (Ранний докембрий..., 2005).

– многочисленными мелкими телами (первые сотни метров по простиранию, до 100 м вкрест) турмалиновых плагиомикроклиновых крупнозернистых и пегматоидных гранитов кичанского комплекса. Большинство массивов турмалиновых гранитов располагаются в замковой части кичанской складки в районе г. Лисьей, и отдельные массивы – в ее юго-восточном крыле в полосе, прослеживающейся на северо-запад до оз. Бабье. Форма тел преимущественно серповидная, повторяющая форму складки (см. рис. 2). Для турмалиновых пегматоидных гранитов кичанского комплекса предполагается палеопротерозойский (≈ 1.8 млрд лет) возраст.

ПРОЯВЛЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ТЗП

На карте полезных ископаемых (Астафьев и др., 2009) в пределах ТЗП значатся проявления железистых кварцитов и комплексное графит-уран-молибденовое проявление. Оба проявления расположены на полуострове между оз. Верхние Кичаны и губой Лисья (см. рис. 2) и имеют название “Кичаны”. Кроме того, в пределах Иринегорской структуры в южной части ТЗП на участке г. Винча – оз. Степаново – оз. Еловое выявлен ряд пунктов минерализации золота (с содержанием Au 0.1–2 г/т) и его элементов-спутников – сурьмы, мышьяка, серебра (Астафьев и др., 2009; Кулешевич, 2005). Все они связаны с горизонтами пирит-пирротиновой минерализации в вулканогенных породах андезит-дацит-риолитовой углеродистой и андезибазальт-базальтовой формаций и относятся к золото-сульфидно-кварцевой и золото-сульфидно-мышьяковой рудным формациям (Кулешевич, 2005). Отдельные рудные точки золота были известны также в пределах Кичанской и Челозерской структур пояса. Это послужило основанием для выделения Выгозерско-Тикшеозерской потенциальной минерагенической золоторудной зоны (Астафьев и др., 2009), границы которой в целом совпадают с контурами зеленокаменного пояса.

Опубликованных данных по рудопроявлениям Кичанской структуры ТЗП нет, за исключением краткой характеристики проявления железистых кварцитов Кичаны в докторской диссертации Г.Ю. Иванюка (2004). В ходе проведенных нами исследований существенно расширена информация о рудоносности зеленокаменных образований Кичанской структуры, в том числе получены данные о графит-уран-молибденовом проявлении Кичаны и выявлены рудопроявления и новые пункты минерализации золота.

Молибденовое рудопроявление Кичаны

На молибденовом (с ураном) проявлении Кичаны размещение минерализации контролируется горизонтом мелкозернистых мусковит-биотитовых плагиосланцев челозерской свиты мощностью до 100 м, прослеженным по простиранию на 700 м среди биотит-полевошпатовых (плагиомикроклиновых) гнейсов беломорского комплекса (рис. 2, 5).

Мусковит-биотитовые плагиосланцы состоят из кварца – 50–60 об. %, олигоклаза – 30–35, биотита – 3–5, мусковита – 1–2, графита и рудных минералов – до 3 об. %, акцессорные – титанит, хлорит, циркон. Графит тонкочешуйчатый, развивается по границам зерен кварца и силикатных минералов. Химический состав породы соответствует кислотным туффитам дацит-риолитового состава (см. табл. 1, рис. 4а, б). Среди мусковит-биотитовых сланцев отмечены согласные линзовидные тела и маломощные прослои амфибол-биотитовых гнейсов (метандезиты), а также линзы колчеданных существенно пирротиновых руд (см. рис. 5).

Биотитовые гранитогнейсы и мусковит-биотитовые сланцы участками мигматизированы под воздействием плагиомикроклиновых гранитов винговского комплекса, крупный массив которых расположен в непосредственной близости к северо-востоку от рудопроявления (см. рис. 2), кроме того, в них выявлены жильные тела микроклиновых пегматоидных гранитов и пегматитов мощностью в первые метры.

Породы участка претерпели интенсивные гидротермально-метасоматические преобразования (см. рис. 5), нами выделены минеральные типы скаполит-кварцевых, микроклин-кварцевых и кварцевых метасоматитов.

Микроклин-кварцевые и кварцевые метасоматиты образуют зональные линзовидные тела мощностью до 0.5 м при протяженности до 5 м, залегающие согласно сланцеватости вмещающих пород. Серия таких тел прослеживается на расстоянии около 150 м в полосе шириной до 10 м. Внешние зоны линз сложены крупнозернистыми породами кварц-микроклинового состава, а “ядра” – кварцевыми метасоматитами (см. рис. 3е). Микроклин-кварцевые метасоматиты состоят из микроклина (25–75 об. %) и кварца (20–70%), содержание плагиоклаза – до 10%, второстепенные минералы – биотит, мусковит, графит и рудные минералы (до 2 об. %), акцессорные – гранат ряда альмандин-гроссуляр, циркон, апатит, уранинит и титанит, причем содержание циркона и апатита в метасоматитах намного выше, чем во вмещающих породах. В кварцевых метасоматитах плагиоклаз отсутствует, содержание микроклина составляет первые проценты; второстепенные и акцессорные минералы те же, что и в микроклин-кварцевых метасоматитах, но их содержание ниже, за исключени-

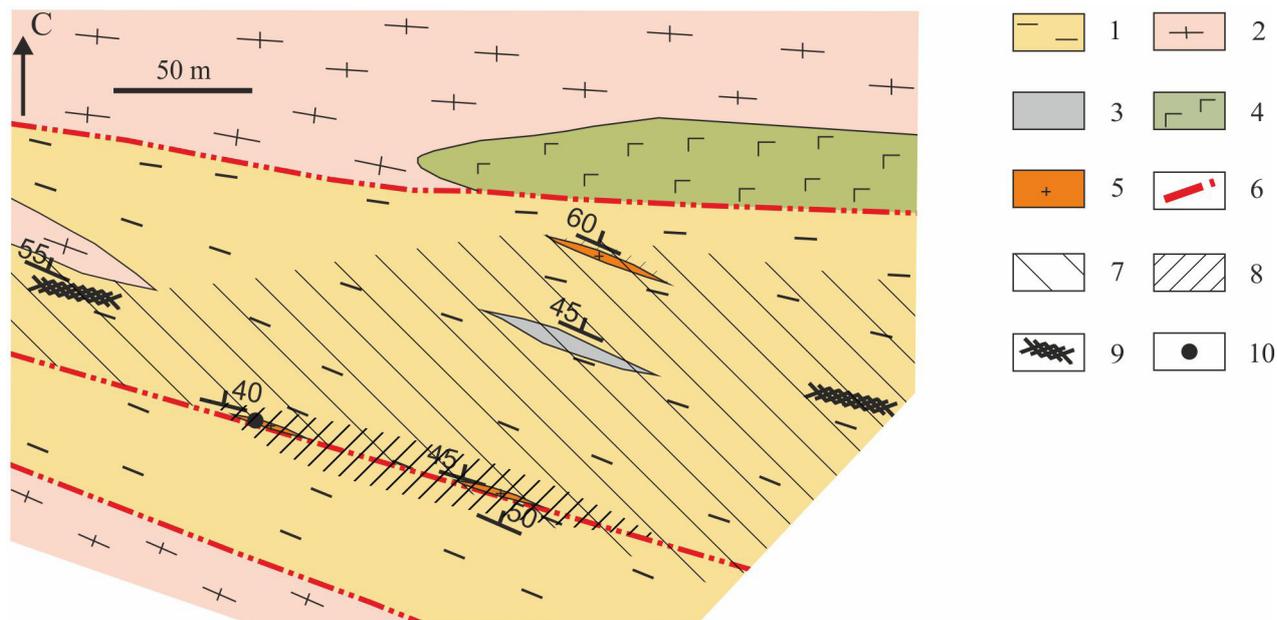


Рис. 5. Схема геологического строения уран-графит-молибденового проявления Кичаны.

1 – габбронориты-друзиты; 2 – пегматиты и пегматоидные плагиомикроклиновые граниты, кварц-микроклиновые и кварцевые метасоматиты по ним; 3 – биотитовые плагиомикроклиновые гнейсы, частично мигматизированные; 4 – серноколчеданные пирротиновые руды; 5 – мусковит-биотитовые сланцы; 6 – тектонические нарушения; 7 – зона развития минерализации тонкочешуйчатого графита; 8 – зона развития микроклин-кварцевых и кварцевых метасоматитов с молибденитом и перекристаллизованным графитом; 9 – участки развития скаполит-кварцевых и скаполит-диопсид-кварцевых метасоматитов; 10 – место отбора пробы для изотопно-геохимических исследований.

Fig. 5. Sketch geological map of the Kichany Mo-U and graphite occurrences.

1 – gabbronorite (drusite); 2 – pegmatite and pegmatitic plagiomicrocline granite, quartz and quartz-microcline metasomatites after granite pegmatite; 3 – biotite plagiomicrocline gneiss, partly migmatized; 4 – massive sulfide pirrotite ore; 5 – biotite-muscovite schist; 6 – tectonic faults; 7 – area of fine graphite mineralization; 8 – area of microcline-quartz and quartz metasomatites with Mo-U mineralization and re-crystallized graphite; 9 – areas of quartz-scapolite and quartz-diopside-scapolite metasomatites; 10 – sampling for geochemical isotope investigations.

ем сульфидной минерализации, доля которой составляет 2–3 об. %. Контакты с вмещающими породами и между зонами тела метасоматитов резкие. Форма тел, минеральный состав и характер зональности позволяют предположить, что метасоматиты формировались за счет гидротермальной переработки жил пегматоидных гранитов или пегматитов.

Сульфидная минерализация в микроклин-кварцевых и кварцевых метасоматитах представлена (в порядке распространенности) пиритом, молибденитом, галенитом, пирротином и халькопиритом. Содержание молибдена во вмещающих мусковит-биотитовых сланцах составляет 6–20 г/т (количественный спектральный анализ выполнен в ГИ КНЦ РАН, аналитик А.И. Морогина), в микроклин-кварцевых и кварцевых метасоматитах повышается до сотен граммов на тонну. Молибденит выделяется в виде чешуек и гексагональных таблитчатых кристаллов размером до 3 мм. Рентгеноструктурный анализ (аналитик М.В. Торопова, лаборатория физ. методов исследования ГИ КНЦ РАН) показал, что в молибдените микроклин-кварцевых метасомати-

тов преобладает его гексагональный политип 2H, а в кварцевых – ромбический 3R. Состав молибденита характеризуется незначительным дефицитом катионов, изоморфных примесей других элементов (Fe, Re) в молибдените не установлено (табл. 3).

Для изотопно-геохимических исследований были отобраны пробы циркона из микроклин-кварцевых метасоматитов, морфологические особенности минерала описаны нами ранее (Калинин и др., 2013). Датирование циркона было выполнено методом лазерной абляции LA-ICPMS в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ на многоколлекторном масс-спектрометре с ионизацией в индуктивно связанной плазме ThermoQuest Finnigan MAT Neptune в комбинации с системой лазерного пробоотбора DUV-193, оснащенной эксимерным лазером COMrex-102 (193 нм). Типичный диаметр лазерного пятна составлял 40-50 мкм, глубина кратера ≈ 30 мкм. В качестве стандартов использовались международные стандарты цирконов Temora и 91500. Ошибка воспроизводимости отношения $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ составляла 3.2% (2σ) по восьми па-

Таблица 3. Химический состав сульфидных минералов Кичанской структуры, мас. %**Table 3.** Chemical composition of sulfide minerals in the Kichany structure, wt %

Элемент	Молибденит	Кобальтин	Арсенопирит				Сфалерит		Галенит
	№ пробы								
	КС-1026	КС-1049	КС-1049	КС-1104В	КС-1117*	КС-1117**	КС-1117	КС-1004	КС-1004
Fe	0.00	8.80	33.81	33.62	33.46	32.98	8.54	6.89	0.05
Co	—	16.50	0.11	0.45	0.06	0.09	0.00	0.00	0.00
Ni	—	8.86	0.26	0.25	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00
Cu	—	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	—	—	0.00	—	0.00	0.00	58.69	59.07	0.00
Cd	—	—	0.00	—	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00
Mo	58.69	—	—	—	—	—	—	—	—
Pb	—	—	0.00	—	—	—	—	0.00	86.25
Ag	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
Au	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—	0.00
Sb	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	—	45.22	44.60	46.39	46.93	48.75	0.00	0.00	0.00
S	40.83	20.06	20.99	19.07	19.45	18.43	33.11	33.36	13.42
Se	—	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Te	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	—
Сумма	98.52	99.51	99.76	99.88	99.90	100.39	100.34	99.67	99.92
Коэффициенты кристаллохимической формулы									
Fe	0	0.252	0.925	1.010	0.988	1.028	0.148	0.128	0.002
Co		0.447	0.027	0.013	0.002	0.003	0	0	0
Ni		0.241	0.067	0.007	0	0.004	0	0	0
Cu		0.002	0	0	0	0	0	0	0
Zn			0	0	0	0	0.869	0.940	0
Cd			0	0	0	0	0	0.003	0
Pb			0	0	0	0	0	0	0.996
Mo	0.961								
Ag			0	0	0	0	0	0	0.004
As		0.965	0.909	1.039	1.033	1.035	0	0	
S	2.000	1.000	1.000	0.998	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Se		0	0	0.002	0	0	0	0	

Примечание. Анализ выполнен на микроанализаторе MS-46 CAMECA в ГИ КИЦ РАН, аналитик Е.Э. Савченко. Условия съемки: ускоряющее напряжение – 22 кВ; ток зонда 30–40 нА. В качестве эталонов использовались искусственные соединения (в скобках приведены аналитические линии): $Fe_{10}S_{11}$ (FeK α , SK α), Bi_2Se_3 (BiM α , SeK α), LiNd (MoO $_4$) $_2$ (MoL α), а также чистые металлы Co (CoK α), Ni (NiK α), Pd (PdL α), Ag (AgL α), Te (TeL α), Au (AuL α).

Формулы галенита и сфалерита рассчитаны на S = 1, арсенопирита – на (S + Se) = 1, молибденита – на S = 2.

*Внешняя зона зерен арсенопирита, **внутренняя зона зерен арсенопирита.

Note. Minerals were assayed with microprobe MS-46 CAMECA in Geological Institute, KSC RAS, analyst Ye.E. Savchenko. Accelerating voltage 22kV, current strength of probe 30–40 nA. Artificial materials (analytical lines in brackets) $Fe_{10}S_{11}$ (FeK α , SK α), Bi_2Se_3 (BiM α , SeK α), LiNd (MoO $_4$) $_2$ (MoL α), as well as pure metals Co (CoK α), Ni (NiK α), Pd (PdL α), Ag (AgL α), Te (TeL α), Au (AuL α) were used as ethalons.

Galena and sphalerite formulas are calculated for S = 1, arsenopyrite formulae – for (S + Se) = 1, and molybdenite formulae – for S = 2.

*The outer zone of arsenopyrite crystal, **the inner zone of arsenopyrite crystal.

раллельным измерениям стандарта Temora. Метод LA-ICP MS может быть использован для оценки возраста докембрийских цирконов, поскольку для древних цирконов возраст, полученный с помощью LA-ICP MS, согласуется с таковым, полученным классическим методом (Košler, Sylvester, 2003).

Возраст образования циркона по шести точкам из ядерной части кристаллов составил 2677 ± 34 млн лет (табл. 4, рис. 6). Это интерпретируется как вре-

мя формирования жил пегматоидных микроклиновых гранитов. Данное значение практически совпадает с возрастом плагиомикроклиновых гранитов на п-ве Кичаны (Другова и др., 1995). Изотопные данные, полученные для внешних зон зерен циркона, показывают, что минерал претерпел некоторые геологические события 2100–1900 млн лет назад и затем около 1500 млн лет назад (см. табл. 4, рис. 6). Период 2100–1900 млн лет отве-

Таблица 4. Изотопные LA-ICP-MS данные для циркона из кварц-микроклиновых метасоматитов рудопрооявления Кичаны

Table 4. Isotope LA-ICP-MS data for zircon from microcline-quartz metasomate in the Kichany Mo occurrence

№ пробы	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Err, $\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Err, $\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Err, $\pm 1\sigma$	Rho	Age $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Err, $\pm 1\sigma$	Age $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Err, $\pm 1\sigma$	Discordance, %
AB4243_N1(R)	0.048	0.202	0.012	2.64	0.0014	0.202	0.032	0.59	1184.1	169.8	1527.1	87.3	29
AB4243_N5 (R)	0.084	0.181	0.015	2.95	0.0024	0.181	0.040	0.80	1072.3	214.3	1929.6	114.3	80
AB4243-1_N5 (R)	0.034	0.234	0.024	4.05	0.0023	0.234	0.067	1.48	1353.1	343.2	2039.7	103.9	51
AB4243-1_N1 (R)	0.025	0.237	0.022	4.11	0.0018	0.237	0.063	1.85	1370.4	318.8	2040.8	82.0	49
AB4243-1_N4 (C)	0.048	0.443	0.030	10.26	0.0017	0.443	0.079	3.13	2362.6	343.6	2538.9	53.9	7
AB4243_N4 (C)	0.033	0.767	0.073	18.34	0.0012	0.767	0.208	5.26	3671.4	716.6	2590.5	38.5	-29
AB4243-1_N2 (C)	0.049	0.474	0.037	11.45	0.0009	0.474	0.102	3.84	2502.3	432.2	2607.7	29.7	4
AB4243_N6 (C)	0.045	0.671	0.028	16.89	0.0006	0.671	0.061	4.99	3311.5	232.2	2674.9	17.2	-19
AB4243-1_N3 (C)	0.025	0.653	0.023	16.44	0.0007	0.653	0.045	3.11	3241.3	173.7	2675.7	21.2	-17
AB4243_N3 (C)	0.046	0.739	0.031	18.76	0.0003	0.739	0.067	6.11	3567.5	244.4	2689.9	8.3	-25

Примечание. Точки в ядерной части зерен циркона помечены индексом (C), точки из краевой части зерен – индексом (R).

Note. Points in core part of zircon grains are marked with (C), and points from grains' rims are marked with (R).

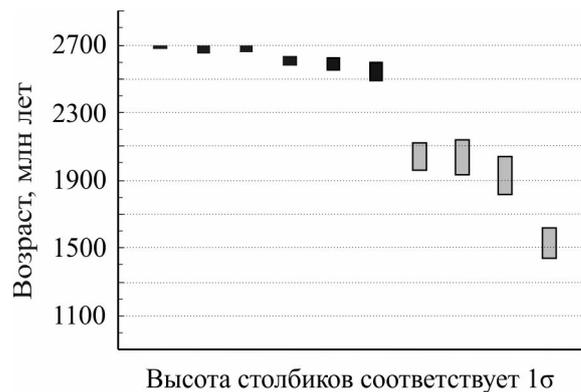


Рис. 6. Возраст циркона из кварц-микроклиновых метасоматитов молибденового рудопрооявления Кичаны.

Средневзвешенное значение возраста циркона, рассчитанное по $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ возрасту шести точек из ядерной части зерен (черные прямоугольники), составляет 2677 ± 34 млн лет при уровне доверительной вероятности 95%.

Fig. 6. Age of zircon from microcline-quartz metasomites with molybdenite mineralization.

Weighted average of zircon age, calculated with $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age in six points from the grains' core (black quadrangles), is 2677 ± 34 Ma with confidence probability 95%.

чает позднему этапу регионального метаморфизма пород. Можно предположить, что это время гидротермально-метасоматической переработки жил пегматоидных гранитов с образованием зональных тел микроклин-кварцевых и кварцевых метасоматитов, когда формировалась минерализация молибденита. Для интерпретации геологических событий 1500 млн лет назад данных в нашем распоряжении нет.

Проявление арсенопирита на оз. Бабье

Проявления арсенопиритовой минерализации в Кичанской структуре установлены в юго-восточном крыле кичанской складки в районе оз. Бабье (см. рис. 2). Арсенопиритовая минерализация приурочена к метасоматически измененным породам в экзоконтактной зоне массива огнейсованных турмалиновых плагиоминоклиновых гранитов кичанского комплекса. Массив имеет размеры примерно 100×300 м, он сложен гранитами светло-серого цвета, от среднезернистых до пегматоидных. Породы массива содержат более 5% турмалина, а в пегматоидных обособлениях его содержание возрастает до 50 об. %.

Одно из тел метасоматитов, развивающихся по гранат-биотитовым гнейсам хизоварской свиты, располагается в 5–10 м южнее контакта гнейсов с гранитами. Мощность зоны измененных гнейсов здесь составляет около 5 м, по простиранию она вскры-

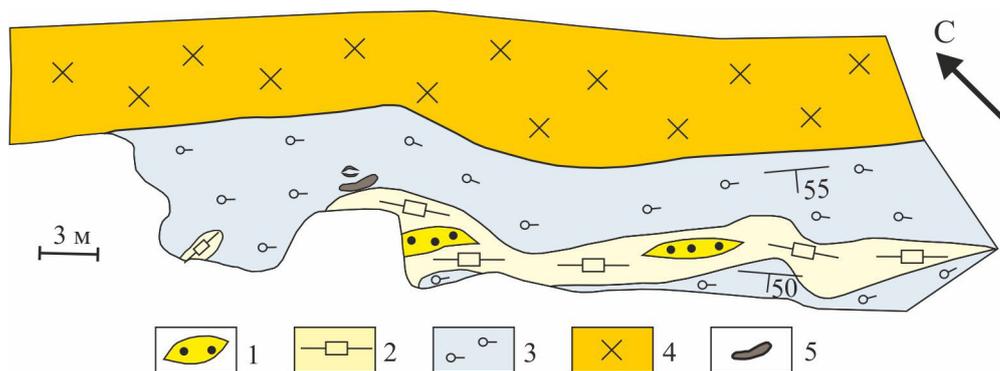


Рис. 7. Проявление арсенопиритовой минерализации в районе оз. Бабые. Документация расчистки.

1–3 – метасоматиты по гранат-биотитовым плаггиогнейсам хизоварской свиты: 1 – амфибол-кварцевые метасоматиты с арсенопиритом до 5 об. %, 2 – амфибол-гранат-кварцевые метасоматиты с арсенопиритом до 15 об. %, 3 – смятые в складки кварц-гранатовые метасоматиты; 4 – пегматоидные турмалиновые плаггиомикроклиновые граниты, пегматиты; 5 – тела жильного кварца.

Fig. 7. Occurrence of arsenopyrite in the area of Babie lake. Documentation of an outcrop.

1–3 – metasomatites after biotite-garnet gneiss if the Khizovarskaya Formation: 1 – quartz-amphibole metasomatite with arsenopyrite up to 5 vol. %, 2 – quartz-garnet-amphibole metasomatite with arsenopyrite up to 15 vol. %, 3 – foliated quartz-garnet metasomatite; 4 – pegmatitic tourmaline plagiomicrocline granite, pegmatite; 5 – quartz veinlets.

та расчисткой на 30 м (рис. 7), на запад зона изменения прослежена по обнажениям на расстояние свыше 800 м, к востоку скрывается под четвертичными отложениями. Строение тела зональное (см. рис. 7): центральную часть слагают амфибол-кварцевые породы, промежуточная зона – это амфибол-гранат-кварцевые метасоматиты, а внешняя сложена смятыми в складки кварц-гранатовыми метасоматитами по гранат-биотитовым плаггиогнейсам. Амфибол в метасоматитах представлен грюнеритом (табл. 5). Турмалин (шерл) – типичный второстепенный минерал во всех метасоматитах проявления. На границе метасоматитов с вмещающими гнейсами он становится порообразующим: содержание турмалина повышается местами до 50%. Интенсивная турмалинизация метасоматитов свидетельствует, что их формирование происходило под воздействием турмалиновых гранитов.

Арсенопирит установлен в амфибол-кварцевых (до 5 об.%) и амфибол-гранат-кварцевых метасоматитах (до 15 об. %), минерализация гнездово-вращенной текстуры, размер кристаллов до 5 мм. Кроме арсенопирита, в составе рудной минерализации отмечены пирротин, марказит, халькопирит и сфалерит.

Второе тело метасоматитов с арсенопиритовой минерализацией мощностью около 2 м установлено по контакту гранат-биотитовых плаггиогнейсов с амфиболитами в 100 м к северу от того же массива. Здесь развиваются кианит-гранат-кварцевые со ставролитом (внутренняя зона) и биотит-кварц-гранатовые (внешняя зона) метасоматиты также в сочетании с интенсивной турмалинизацией. Содержание арсенопирита достигает 5%.

P-T условия формирования гранат-биотитовых метасоматитов рассчитаны нами по гранат-биотитовому геотермобарометру, они близки к *P-T* параметрам регионального метаморфизма свекофеннского этапа: температура 600–670°C при давлении 5–7 кбар. По арсенопиритовому геотермометру Кречмара и Скотта (Kretchmar, Scott, 1976; Бортников, 1993) температуру формирования арсенопирита в парагенезисе с пирротином можно оценить интервалом 480–520°C для центральных зон зерен (состав арсенопирита см. в табл. 3, проба КС-1117) и 400–480°C для внешних зон.

Возраст метасоматитов с арсенопиритовой минерализацией определен нами по монациту из биотит-гранат-кварцевых метасоматитов методом химического микрозондового датирования (Suzuki, Adachi, 1991; Montel et al., 1996), проведенного в ИГГ УрО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе САМЕСА SX 100 с пятью волновыми спектрометрами. Условия анализа (выбор оптимальных значений ускоряющего напряжения, тока зонда и экспозиции определяет правильность определения состава вещества в точке анализа (Павлова и др., 2000), что позволяет достоверно рассчитать возраст) следующие: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока 250 нА, диаметр пучка электронов 2–3 мкм, давление в камере образцов 8×10^{-4} Па, в спектрометрах – 4 Па. Стандартные образцы – ThO₂, UO₂, Pb₂P₂O₇, диопсид, андрадит, синтетические фосфаты РЗЭ (Лаврентьев и др., 2011; Королук, 2014). При выполнении количественного анализа время измерения интенсивности на пике в два раза превышало время измерения фона и составило для Th *Ma*, U *Mβ* и Pb *Ma* по 400 с (Королук,

Таблица 5. Химический состав силикатных минералов и ильменита из пород Кичанской структуры по данным микрозондового анализа, мас. %

Table 5. Chemical composition of silicate minerals and ilmenite in the rocks from Kichany structure, microprobe data, wt %

Минерал	Гранат			Грюнерит	Роговая обманка			Олигоклаз	Скаполит	Титанит		Диопсид	Ильменит	
	КС-1062	КС-1117	КС-1080		КС-1014	КС-1080	КС-1104а			КС-1049	КС-1104а		КС-1014	КС-1049
SiO ₂	37.46	36.98	36.70	49.10	44.18	42.16	42.43	58.63	47.71	30.45	30.59	53.07	0.37	0.09
TiO ₂	0.00	0.16	0.04	0.07	0.65	0.68	1.01	0.00	0.00	38.54	40.19	0.00	51.80	51.12
Al ₂ O ₃	20.09	20.20	19.86	0.49	10.90	11.78	13.05	25.19	25.17	1.05	1.04	1.09	0.10	0.10
FeO	33.72	37.90	23.92	42.64	15.45	19.13	14.79	0.05	0.27	0.56	0.19	10.21	38.54	42.86
MgO	2.75	2.60	1.23	4.16	11.14	8.95	10.38	0.00	0.03	0.05	0.00	12.07	0.20	0.00
MnO	1.32	0.81	3.40	0.16	0.28	0.28	0.30	0.00	0.03	0.18	0.05	0.29	8.43	5.39
CaO	3.57	1.18	13.62	0.11	12.17	11.59	11.76	7.51	16.88	28.49	28.37	23.78	0.14	0.03
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.09	1.32	1.06	1.15	7.34	4.31	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.20	0.90	0.18	0.04	–	0.00	0.00	–	0.00
Cr ₂ O ₃	0.10	–	0.00	–	0.12	0.00	0.40	–	0.06	0.00	–	0.06	0.00	0.00
SO ₂	–	–	–	–	–	–	–	–	2.89	–	–	–	–	–
Cl	–	–	–	–	–	–	–	–	0.06	–	–	–	–	–
Total	99.01	99.84	98.77	96.89	96.96	95.88	96.50	98.90	97.45	99.59	100.61	100.61	99.58	99.58

Примечание. 1. Анализ химического состава минералов выполнен в Геологическом институте КНЦ РАН на микрозондовом анализаторе MS-46 САМЕСА, аналитик Е.Э. Савченко. Прочерк – элемент не определялся.

2. КС-1062 – биотит-гранатовый метасоматит по роговообманковому амфиболиту, оз. Верхние Кичаны; КС-1117 – турмалин-гранат-кварцевый метасоматит с арсенопиритовой минерализацией по биотитовому гнейсу, оз. Бабье; КС-1122 – гранат-грюнерит-кварцевый метасоматит с арсенопиритовой минерализацией по биотитовому гнейсу, оз. Бабье; КС-1049 – биотитизированный амфиболит, оз. Верхние Кичаны; КС-1014 – кварц-скаполит-диопсидовый метасоматит по полевошпатовому амфиболиту, оз. Верхние Кичаны; КС-1106 – диопсид-скаполит-кварцевый метасоматит по полевошпатовому амфиболиту, оз. Верхние Кичаны; КС-1080 – эпидот-гранат-кварцевый метасоматит (“скарноид”) по гранатовому амфиболиту, оз. Верхние Кичаны; КС-1104а – окварцованный амфиболит с золотом-арсенопиритовой минерализацией, оз. Верхние Кичаны.

3. Кристаллохимические формулы исследованных минералов: альмандин КС-1062 (Fe_{2.164} Mg_{0.379} Ca_{0.354} Mn_{0.103})_{3.000} (Al_{1.099} Si_{0.460} Fe_{0.441})_{2.000} Si_{3.000} O_{12.000}; альмандин КС-1117 (Fe_{2.461} Mg_{0.359} Ca_{0.117} Mn_{0.063})_{3.000} (Al_{1.102} Fe_{0.474} Si_{0.426} Ti_{0.011})_{2.013} Si_{3.000} O_{12.000}; гранат ряда альмандин-гроссуляр КС-1080 (Ca_{1.344} Fe_{1.222} Mn_{0.265} Mg_{0.169})_{3.000} (Al_{1.078} Fe_{0.620} Si_{0.380} Ti_{0.003})_{2.081} Si_{3.000} O_{12.000}; грюнерит КС-1122 (Fe_{5.551} Mg_{0.996} Mn_{0.162} Ca_{0.106} Na_{0.013})_{6.826} (Si_{7.644} Al_{0.045} Ti_{0.008})_{7.697} O₂₂ (ОН F)_{2.000}; роговая обманка КС-1014 (Ca_{2.102} Na_{0.207} K_{0.075})_{2.384} (Mg_{2.679} Fe_{2.084} Mn_{0.038})_{4.801} (Si_{7.124} Al_{1.035} Ti_{0.079})_{8.238} O_{22.000} (ОН F)_{2.000}; роговая обманка КС-1080 (Ca_{2.066} Na_{0.171} K_{0.021})_{2.258} (Fe_{2.660} Mg_{2.218} Mn_{0.040})_{4.918} (Si_{7.010} Al_{1.154} Ti_{0.086})_{8.250} O_{22.000} (ОН F)_{2.000}; роговая обманка КС-1104а (Ca_{2.078} Na_{0.184} K_{0.095})_{2.357} (Mg_{2.552} Fe_{2.040} Mn_{0.042})_{4.634} (Si_{6.998} Al_{1.268} Ti_{0.125})_{8.391} O_{22.000} (ОН F)_{2.000}; олигоклаз 1104а (Ca_{0.425} Na_{0.377} K_{0.006})_{0.808} Al_{0.785} Si_{3.101} O_{8.000}; скаполит КС-1106 (Ca_{3.275} Na_{0.757} K_{0.004})_{4.036} (Al_{2.685} Fe_{0.041} Mg_{0.009} Mn_{0.005})_{2.740} Si_{8.637} O_{24.000} (SO₂, CO₂); титанит КС-1049 (Ca_{0.983} Na_{0.004} Y_{0.003})_{0.990} (Ti_{0.934} Fe_{0.015} Mn_{0.006} Mg_{0.002})_{0.957} (Si_{0.981} Al_{0.019})_{1.000} O_{5.000}; титанит КС-1104а (Ca_{0.987} Mn_{0.001})_{0.988} (Ti_{0.981} Fe_{0.005} Al_{0.033})_{1.019} (Si_{0.993} Al_{0.007})_{1.000} O_{5.000}; диопсид (Ca_{0.959} Mn_{0.009})_{0.968} (Mg_{0.678} Fe_{0.321})_{2.999} (Si_{1.998} Al_{0.024})_{2.022} O_{6.000}; ильменит КС-1049 (Fe_{0.815} Mn_{0.181} Mg_{0.008} Ca_{0.004})_{1.008} (Ti_{0.985} Si_{0.009} Al_{0.003})_{0.997} O_{3.000}; ильменит КС-1080 (Fe_{0.914} Mn_{0.116})_{1.030} Ti_{0.980} O_{3.000}. Формулы гранатов рассчитаны на сумму кислорода O = 12, для амфиболов – O = 22, плагиоклаза – O = 8, скаполита – O = 24, титанита – O = 5, диопсида – O = 6, ильменита – O = 3.

Notes. 1. The minerals were assayed in the Geological Institute, KSC RAS with microprobe MS-46 CAMECA, analyst Ye.E. Savchenko. Dash – not assayed.

2. КС-1062 – garnet-biotite metasomatite after amphibolite, Verkhnie Kichany lake; КС-1117 – quartz-garnet tourmaline metasomatite with arsenopyrite after biotite gneiss, Bab’e lake; КС-1122 – quartz-grunerite-garnet metasomatite with arsenopyrite, Bab’e lake; КС-1049 – biotitized amphibolite, Verkhnie Kichany lake; КС-1014 – diopside-scapolite-quartz metasomatite after plagioclase amphibolite, Verkhnie Kichany lake; КС-1106 – quartz-scapolite-diopside metasomatite after plagioclase amphibolite, Verkhnie Kichany lake; КС-1080 – quartz-garnet-epidote metasomatite (skarnoid) after garnet amphibolite, Verkhnie Kichany lake; КС-1104а – quartz metasomatite after amphibolite, with arsenopyrite mineralization and gold, Verkhnie Kichany lake.

3. Crystallochemical formulas of the assayed minerals: almandine КС-1062 (Fe_{2.164} Mg_{0.379} Ca_{0.354} Mn_{0.103})_{3.000} (Al_{1.099} Si_{0.460} Fe_{0.441})_{2.000} Si_{3.000} O_{12.000}; almandine КС-1117 (Fe_{2.461} Mg_{0.359} Ca_{0.117} Mn_{0.063})_{3.000} (Al_{1.102} Fe_{0.474} Si_{0.426} Ti_{0.011})_{2.013} Si_{3.000} O_{12.000}; garnet of almandine-grossular series КС-1080 (Ca_{1.344} Fe_{1.222} Mn_{0.265} Mg_{0.169})_{3.000} (Al_{1.078} Fe_{0.620} Si_{0.380} Ti_{0.003})_{2.081} Si_{3.000} O_{12.000}; grunerite КС-1122 (Fe_{5.551} Mg_{0.996} Mn_{0.162} Ca_{0.106} Na_{0.013})_{6.826} (Si_{7.644} Al_{0.045} Ti_{0.008})_{7.697} O₂₂ (ОН F)_{2.000}; hornblende КС-1014 (Ca_{2.102} Na_{0.207} K_{0.075})_{2.384} (Mg_{2.679} Fe_{2.084} Mn_{0.038})_{4.801} (Si_{7.124} Al_{1.035} Ti_{0.079})_{8.238} O_{22.000} (ОН F)_{2.000}; hornblende КС-1080 (Ca_{2.066} Na_{0.171} K_{0.021})_{2.258} (Fe_{2.660} Mg_{2.218} Mn_{0.040})_{4.918} (Si_{7.010} Al_{1.154} Ti_{0.086})_{8.250} O_{22.000} (ОН F)_{2.000}; hornblende КС-1104а (Ca_{2.078} Na_{0.184} K_{0.095})_{2.357} (Mg_{2.552} Fe_{2.040} Mn_{0.042})_{4.634} (Si_{6.998} Al_{1.268} Ti_{0.125})_{8.391} O_{22.000} (ОН F)_{2.000}; oligoclase КС-1104а (Ca_{0.425} Na_{0.377} K_{0.006})_{0.808} Al_{0.785} Si_{3.101} O_{8.000}; скаполит КС-1106 (Ca_{3.275} Na_{0.757} K_{0.004})_{4.036} (Al_{2.685} Fe_{0.041} Mg_{0.009} Mn_{0.005})_{2.740} Si_{8.637} O_{24.000} (SO₂, CO₂); титанит КС-1049 (Ca_{0.983} Na_{0.004} Y_{0.003})_{0.990} (Ti_{0.934} Fe_{0.015} Mn_{0.006} Mg_{0.002})_{0.957} (Si_{0.981} Al_{0.019})_{1.000} O_{5.000}; титанит КС-1104а (Ca_{0.987} Mn_{0.001})_{0.988} (Ti_{0.981} Fe_{0.005} Al_{0.033})_{1.019} (Si_{0.993} Al_{0.007})_{1.000} O_{5.000}; diopside (Ca_{0.959} Mn_{0.009})_{0.968} (Mg_{0.678} Fe_{0.321})_{2.999} (Si_{1.998} Al_{0.024})_{2.022} O_{6.000}; ilmenite КС-1049 (Fe_{0.815} Mn_{0.181} Mg_{0.008} Ca_{0.004})_{1.008} (Ti_{0.985} Si_{0.009} Al_{0.003})_{0.997} O_{3.000}; ilmenite КС-1080 (Fe_{0.914} Mn_{0.116})_{1.030} Ti_{0.980} O_{3.000}. Garnet formulas are calculated for O = 12, amphiboles – for O = 22, plagioclase – for O = 8, scapolite – for O = 24, titanite – for O = 5, diopside – for O = 6, ilmenite – for O = 3.

Нигматулина, 2013), для остальных элементов – по 10 с. Пределы обнаружения Th, U, Pb в среднем составили 160, 90 и 75 ppm соответственно. Погрешности определения элементов (Королюк, 2014): $\Delta\text{Th}/\text{Th} = 3.9$, $\Delta\text{U}/\text{U} = 1.8$, $\Delta\text{Pb}/\text{Pb} = 3.9$ отн. %. Более подробная методика определения состава монацита и обработка его результатов анализа для расчета возраста приводится в (Попова и др., 2010; Хиллер, 2010).

Химический состав изученного монацита (табл. 6) характеризуется низким содержанием тория ($\text{ThO}_2 - 0.17-0.58$ мас. %), высоким содержанием иттрия ($\text{Y}_2\text{O}_3 -$ от 0.9 до 2.84 мас. %). Расчетное значение возраста монацита по 15 микрозондовым измерениям попадает в интервал 1747–1870 млн лет (см. табл. 6), при средневзвешенном значении 1789 ± 47 млн лет, СКВО = 0.14, вероятность соответствия (P) = 1.000 (рис. 8а), что согласуется с возрастом палеопротерозойского регионального метаморфизма. Аналогичная датировка (в пределах погрешности) получена U-Th-Pb методом расчета возраста по углу наклона изохроны с использованием виртуальной точки (Groves et al., 1998) – 1762 ± 85 млн лет, СКВО = 0.24, $P = 0.998$ (рис. 8б).

Для изученного монацита характерно также высокое содержание европия – 1.25 мас. % (по результатам исследования на микроанализаторе MS-46 САМЕСА в ГИ КНЦ РАН, аналитик Е.Э. Савченко). Такой монацит с высоким содержанием европия и низким тория известен в лите-

ратуре как “серый” монацит или под собственным именем “куларит”. Он формируется в восстановительных условиях при низкой активности кальция (Кременецкий, 1993) – действительно, метасоматиты района оз. Бабы не содержат кальциевых минералов и специфика метасоматитов существенно железистая (см. табл. 1).

Рудопроявление золота Верхние Кичаны.

Проявления минерализации золота выявлены на юго-восточном берегу оз. Верхние Кичаны в пределах Кичанской синформной складки (см. рис. 2). Слагающие складку амфиболиты верхнеозерской и гнейсы хизоварской свит разбиты на ряд пластин серий надвигов (рис. 9), которые в обнажениях представляют собой зоны интенсивной трещиноватости и расланцевания (см. рис. 3д). В зонах надвигов наиболее интенсивно проявлены метасоматические преобразования пород, в том числе те, которые контролируют развитие золотоносной сульфидной минерализации. Одна из таких зон отчетливо прослеживается вдоль берега оз. Верхние Кичаны до оз. Средние Кичаны полосой шириной около 50 м на расстоянии свыше 2.5 км. В пределах этой полосы отмечаются линзы интенсивно измененных и сульфидизированных пород мощностью до нескольких метров и протяженностью в десятки и первые сотни метров.

Метасоматические изменения плагиоамфиболитов и гнейсов выражены в окварцевании пород,

Таблица 6. Химический состав и расчетные значения возраста в точках монацита из арсенопиритового проявления на оз. Бабы по данным рентгеноспектрального микроанализа, мас. %

Table 6. Chemical composition and age (Ma) of monazite *in situ*, arsenopyrite occurrence at Bab'e lake, according to electron microprobe analysis data, wt %.

Точка	ThO ₂	UO ₂	PbO	P ₂ O ₅	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	CaO	Y ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	FeO	Сумма	T
1	0.17	0.34	0.11	28.92	23.39	9.02	18.75	3.40	4.79	3.85	0.67	0.17	1.52	0.13	—	—	95.24	1776
2	0.17	0.31	0.11	29.05	23.43	9.05	19.00	3.54	4.78	3.48	0.60	0.16	1.30	0.13	0.12	—	95.21	1831
3	0.50	0.69	0.24	29.71	21.71	7.56	18.02	3.33	5.56	5.27	0.79	0.30	2.37	0.11	0.05	1.19	97.40	1799
4	0.58	0.65	0.23	29.70	22.22	7.91	18.78	3.64	5.89	4.70	0.43	0.30	1.35	0.12	0.28	1.12	97.89	1757
5	0.56	0.60	0.22	29.63	23.27	8.09	18.74	3.54	5.57	4.75	0.32	0.29	0.92	0.12	0.11	1.15	97.87	1789
6	0.57	0.58	0.22	29.80	22.91	8.04	18.52	3.48	5.63	4.66	0.40	0.31	1.13	0.12	0.09	1.27	97.74	1807
7	0.58	0.60	0.22	29.84	22.78	8.17	18.89	3.39	5.58	4.39	0.37	0.31	1.20	0.12	0.11	0.98	97.52	1760
8	0.56	0.65	0.22	29.77	23.30	8.50	18.26	3.40	5.45	4.72	0.34	0.28	0.90	0.14	0.17	1.42	98.09	1747
9	0.49	0.51	0.18	29.49	23.50	8.31	18.76	3.50	5.35	4.51	0.45	0.28	1.01	0.13	0.10	1.05	97.62	1785
10	0.54	0.65	0.23	29.74	21.64	7.72	18.56	3.50	5.83	5.07	0.58	0.31	2.23	0.14	0.11	1.04	97.87	1799
11	0.46	0.58	0.20	29.60	22.62	8.37	18.23	3.46	5.26	4.62	0.63	0.26	1.51	0.13	0.15	1.08	97.17	1758
12	0.50	0.59	0.21	29.23	22.66	8.32	18.66	3.54	5.71	4.86	0.36	0.29	1.30	0.11	0.12	1.04	97.51	1794
13	0.31	0.26	0.10	29.75	25.06	8.99	19.97	3.82	4.48	2.92	0.40	0.13	1.09	0.13	0.01	0.74	98.16	1861
14	0.24	0.62	0.21	30.07	22.59	8.44	17.86	3.43	4.65	4.50	1.12	0.23	2.84	0.15	0.01	0.36	97.31	1870
15	0.23	0.11	0.05	29.95	25.65	9.28	20.31	3.64	4.11	3.03	0.52	0.05	1.18	0.17	0.00	0.21	98.50	1814

Примечание. Анализы выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе САМЕСА SX 100 (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). T – возраст (млн лет), погрешность определения возраста в точках около ± 85 млн лет.

Note. Monazite was assayed with CAMECA SX 100 in IGG, Ural Branch of RAS (Ekaterinburg). T – age (Ma), error of age estimation in points is about ± 85 Ma.

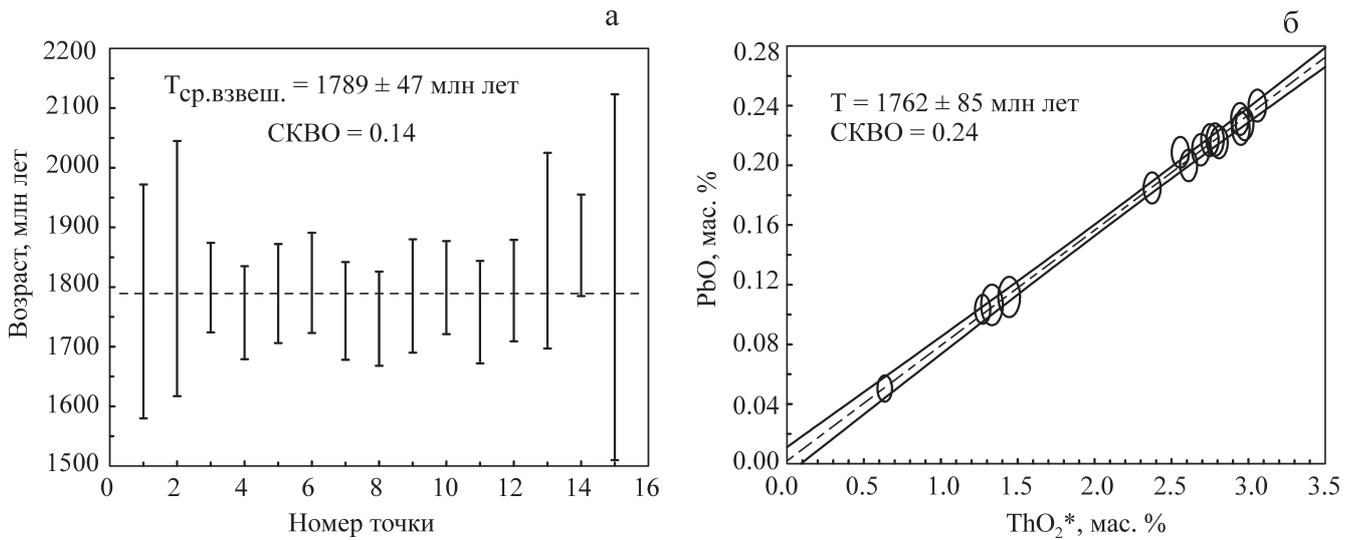


Рис. 8. Оценка возраста монацита из турмалин-гранат-кварцевых метасоматитов с арсенопиритовой минерализацией: а – по 15 единичным точкам (Montel et al., 1996) микрозондового анализа; б – по совокупности точек графика ThO_2^* – PbO .

$\text{ThO}_2^* = (\text{ThO}_2 + \text{UO}_2^{\text{экв}})$, где $\text{UO}_2^{\text{экв}}$ – содержание урана, пересчитанное в эквивалентное содержание тория, способное произвести то же количество Pb за время жизни системы при равенстве U-Pb и Th-Pb-значений возраста (Suzuki, Adachi, 1991; Cocherie, Albarede, 2001). Эллипсы соответствуют величине погрешности 2σ . Изохрона показана штрих-пунктирной линией с двумя симметричными гиперболами, отражающими погрешность 2σ .

Fig. 8. Estimation of age of monazite from quartz-garnet-tourmaline metasomatite with arsenopyrite mineralization: а – with 15 separate points of microprobe analysis (Montel et al., 1996); б – based on a set of points in the ThO_2^* – PbO diagram.

$\text{ThO}_2^* = (\text{ThO}_2 + \text{UO}_2^{\text{экв}})$, where $\text{UO}_2^{\text{экв}}$ – content of uranium recalculated to equivalent content of thorium, which is able to produce the same amount of lead during lifetime of a system with equal U-Pb and Th-Pb age values (Suzuki, Adachi, 1991; Cocherie, Albarede, 2001). Ellipses – 2σ error values. The isochrone is given as a dashed line with two symmetric hyperboles showing 2σ errors.

сопряженном с развитием существенно кальциевых метасоматитов – скарноидов, в составе которых появляются новообразованные гранат (с grossular-андрадитовой составляющей $\approx 45\%$ – см. табл. 5), эпидот, кальцит и скаполит либо скаполит-диопсидовых метасоматитов с эпидотом и титанитом. Скаполит близок по составу к мейониту (свыше 80% мейонитового минала, см. табл. 5), из добавочных анионов в составе минерала преобладают $(\text{SO}_4)^{2-}$ и $(\text{CO}_3)^{2-}$. Пироксен ряда диопсид-геденбергит содержит 32% геденбергитового и 68% диопсидового миналов (см. табл. 5).

Содержание рудных минералов в измененных породах обычно составляет 0.5–3 об. %, местами повышаясь до 10–15 об. %. Как правило, для скарноидов, скаполит-диопсидовых и сопряженных с ними кварцевых метасоматитов по плагиоамфиболитам характерна пирит-пирротиновая минерализация, кроме того, в кварцевых метасоматитах локально проявлена пирротин-арсенопиритовая минерализация.

В составе пирит-пирротиновой минерализации преобладающими рудными минералами являются пирротин, пирит и марказит. Основной второстепенный минерал – халькопирит, кроме того, были отме-

чены сфалерит, молибденит, галенит, пентландит, кобальтин, арсенопирит, микровыделения (менее 10 мкм) теллуридов и сульфотеллуридов висмута и серебра, среди которых диагностированы пильзенит и гессит, а из минералов зоны окисления – борнит и ковеллин. Формирование пирит-пирротиновой минерализации проходило как минимум в два этапа. Ранний этап – развитие вкрапленной и гнездово-прожилковой минерализации пирротина с вростками халькопирита и пирита первой генерации. Второй этап – развитие второй генерации пирита и халькопирита (самостоятельные выделения сульфидных минералов среди силикатов), а также арсенопирита, кобальтина, марказита первой генерации, сфалерита, галенита, молибденита, теллуридов и сульфотеллуридов висмута и серебра.

Значимое содержание золота (0.63–3.5 г/т) в составе пирит-пирротиновой минерализации было установлено в штучных пробах скаполит-диопсид-кварцевых метасоматитов. Мощность зоны метасоматитов 0.2 м, по простиранию она прослеживается в скальном выступе на берегу озера на 15 м и далее уходит под растительный покров. Повышенные содержания золота сопровождаются высоким содержанием серебра (до 18 г/т), свинца и цинка: именно в

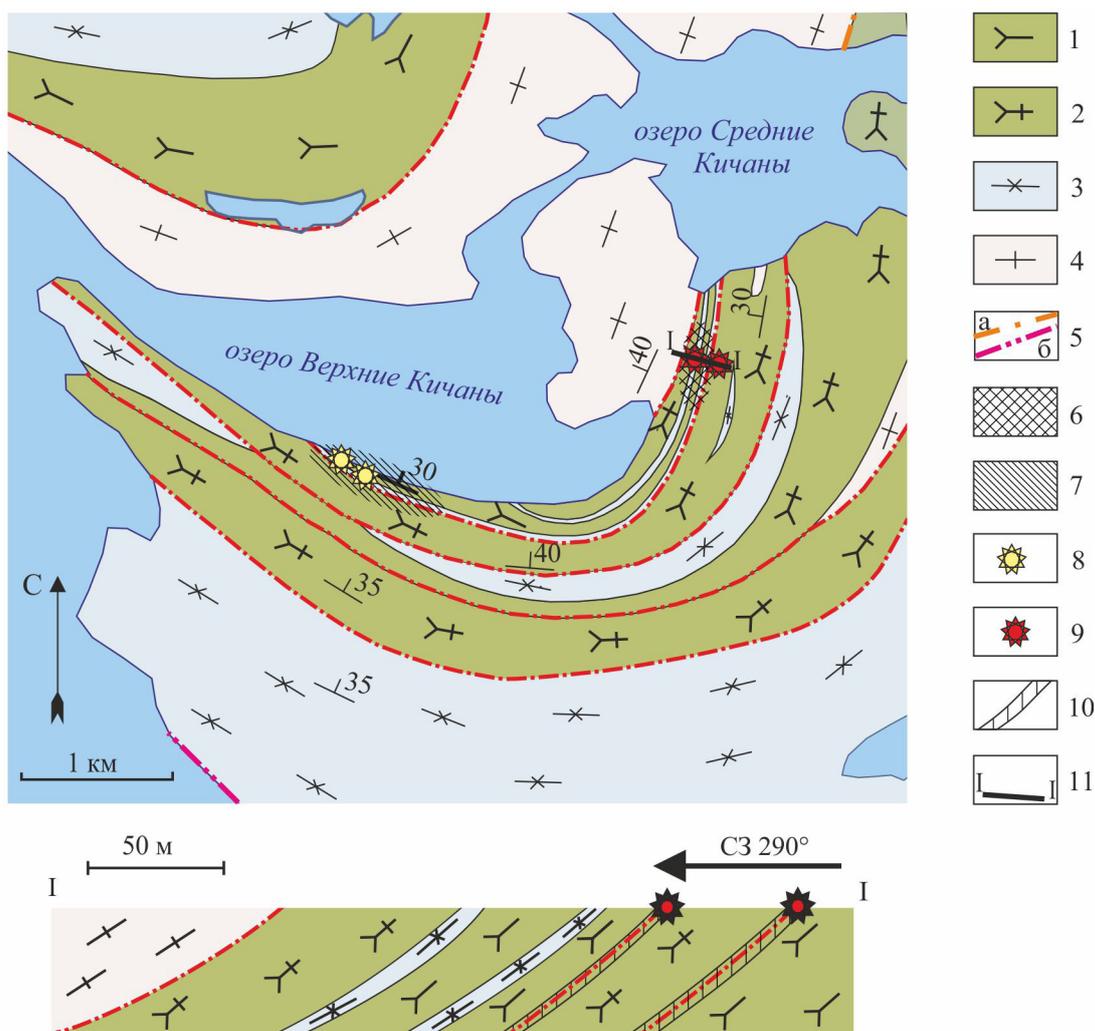


Рис. 9. Схема геологического строения проявления золота Верхние Кичаны.

1 – гранатовые амфиболиты с прослоями и линзами биотитовых гнейсов; 2 – полевошпатовые амфиболиты; 3 – лейкократовые биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы с прослоями и линзами амфиболитов; 4 – плагиомикроклиновые биотитовые гнейсограниты и гнейсы беломорского пояса; 5 – линии надвигов (а) и крутопадающих тектонических разрывов (б); 6–7 – участки интенсивного метасоматического преобразования амфиболитов: 6 – скарнирование и сопряженное окварцевание, 7 – скаполитизация, эпидотизация и окварцевание; 8–9 – проявления минерализации золота, более 0.5 г/т: 8 – связанные с пирит-пирротиновой минерализацией, 9 – связанные с пирротин-арсенопиритовой минерализацией; 10 – зоны смятия, рассланцевания и метасоматического преобразования пород на разрезе; 11 – линия разреза I–I.

Fig. 9. Sketch geological map of the Verhnie Kichany gold occurrence.

1 – garnet amphibolite with layers and lenses of biotite plagiogneiss; 2 – feldspar amphibolite; 3 – leucocratic biotite and biotite-garnet gneiss with layers and lenses of amphibolite; 4 – plagiomicrocline biotite gneiss-granite and gneiss of the Belomorian belt; 5 – thrusts (a) and faults (b); 6–7 – areas of intensive alteration of amphibolite: 6 – skarnification and associated silicification, 7 – scapolitization, epidotization and silicification; 8–9 – gold mineralization: 8 – pirrotite-pyrite mineralization with gold, 9 – arsenopyrite-pirrotite mineralization with gold; 10 – zones of foliation, schistosity, and intensive alteration of rocks (in the cross section); 11 – cross section line I–I.

золотоносных породах появляется видимая галенит-сфалеритовая минерализация, размер зерен этих минералов достигает 1 мм. Собственные минеральные фазы серебра не выявлены, но значимая примесь серебра (0.2%) присутствует в галените (см. табл. 2).

Пирротин-арсенопиритовая с золотом минерализация установлена в кварцевых метасоматитах по амфиболитам на перешейке между озе-

ми Верхние и Средние Кичаны (см. рис. 9). Зона рассланцевания, смятия и окварцевания пород с пирротин-арсенопиритовой минерализацией приурочена к тектоническому контакту роговообманковых амфиболитов с гранатовыми амфиболитами, мощность зоны 1.2–1.5 м (см. рис. 9).

Строение тела минерализованных метасоматитов асимметрично зональное. Центральная его

часть сложена кварцевыми метасоматитами с обильной пирротин-арсенопиритовой вкрапленностью. Тело кварцевых метасоматитов линзовидное, мощностью до 30 см, вскрыто расчисткой по простиранию на 5 м (рис. 10). К северу линза кварцевых метасоматитов выклинивается (зона окварцевания и рассланцевания плагиоамфиболитов продолжается по простиранию и далее), а к югу скрывается под четвертичными отложениями, но затем вскрыта другой расчисткой через 20 м, где ее мощность составляет около 10 см. Кварцевые метасоматиты представляют собой мелкозернистую до среднезернистую породу, состоящую на 50–75% из кварца, содержащую до 15% рудных минералов и до 5% биотита; кроме того, в составе породы присутствуют унаследованные от первичного амфиболита роговая обманка и сильно серицитизированный и пелитизированный плагиоклаз (5–15%). Промежуточная подзона представлена рассланцованными и окварцованными амфиболитами. Амфиболиты содержат до 25% новообразованного кварца и в незначительной степени биотитизированы. Биотит развивается в виде узких согласных сланцеватости полос шириной до 3 мм, замещающая роговую обманку. Окварцованные амфиболиты также содержат обильную вкрапленность (до 5 об. %) арсенопирита, пирротина, поздних пирита и марказита.

Мощность подзоны в всячем боку линзы кварцевых метасоматитов составляет до 70 см, в лежащем – около 5 см. В всячем боку тела метасоматитов слабоизмененные гранатовые плагиоамфиболиты с редкой вкрапленностью сульфидов смяты в мелкие лежащие изоклинальные складки с размахом крыльев до 20 см.

Состав рудной минерализации достаточно прост: здесь установлены арсенопирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, самородное золото, поздние пирит и марказит. Текстура оруденения вкрапленная, гнездово-вкрапленная, а на участках интенсивного развития поздних марказита и пирита – прожилково-вкрапленная, размер зерен сульфидов в основном менее 0.5 мм. Состав арсенопирита (см. табл. 3) и его ассоциация с пирротинном (без пирита) указывают на температуру образования минерала 400–480°C (Kretschmar, Scott, 1976; Бортников, 1993).

Расчистка опробована двумя линиями бороздовых проб вкрест простирания толщи, средневзвешенное содержание золота в минерализованных породах составило 4.4 г/т на мощность 1.3 м (пробирный анализ выполнен в ОАО “ИРГИРЕДМЕТ”), включая 0.3 м с содержанием Au 17.9 г/т (см. рис. 10), но по условиям обнаженности зона минерализации осталась неоконтуренной ни с одной сто-

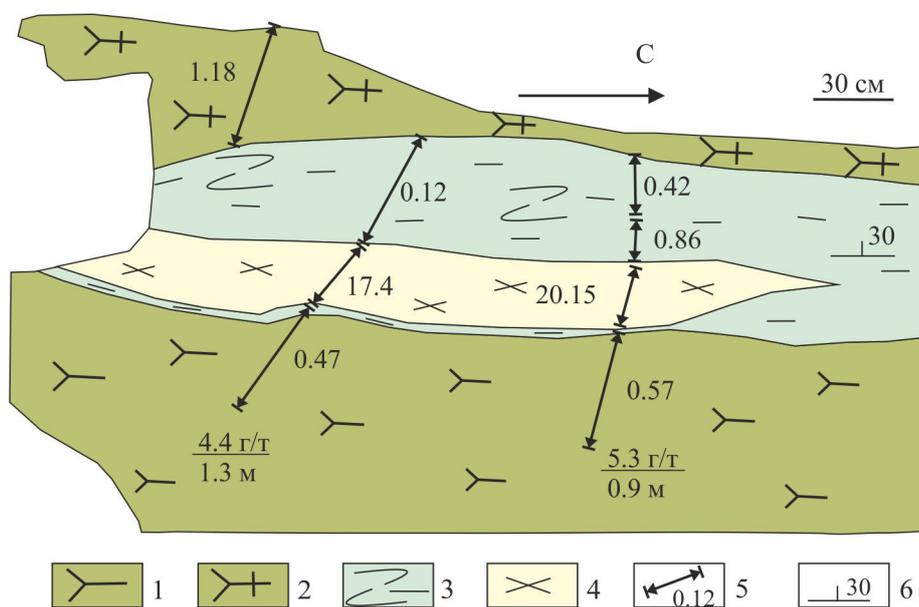


Рис. 10. Проявление золоторудной минерализации в районе оз. Верхние Кичаны. Документация обнажения с результатами бороздового опробования на золото, г/т.

1 – полевошпатовые амфиболиты, 2 – гранатовые амфиболиты, 3 – зона смятия и рассланцевания гранатовых амфиболитов, 4 – кварцевые метасоматиты по гранатовым амфиболитам, 5 – бороздовые пробы, 6 – элементы залегания (сланцеватость).

Fig. 10. Gold occurrence in the area of Verkhnie Kichany lake. Documentation of outcrop with results of sampling for gold, ppm.

1 – feldspar amphibolites, 2 – garnet amphibolites, 3 – zone of foliation and schistosity in garnet amphibolites, 4 – quartz metaso-matite after garnet amphibolite, 5 – sampling lines, 6 – bedding of rocks (schistosity).

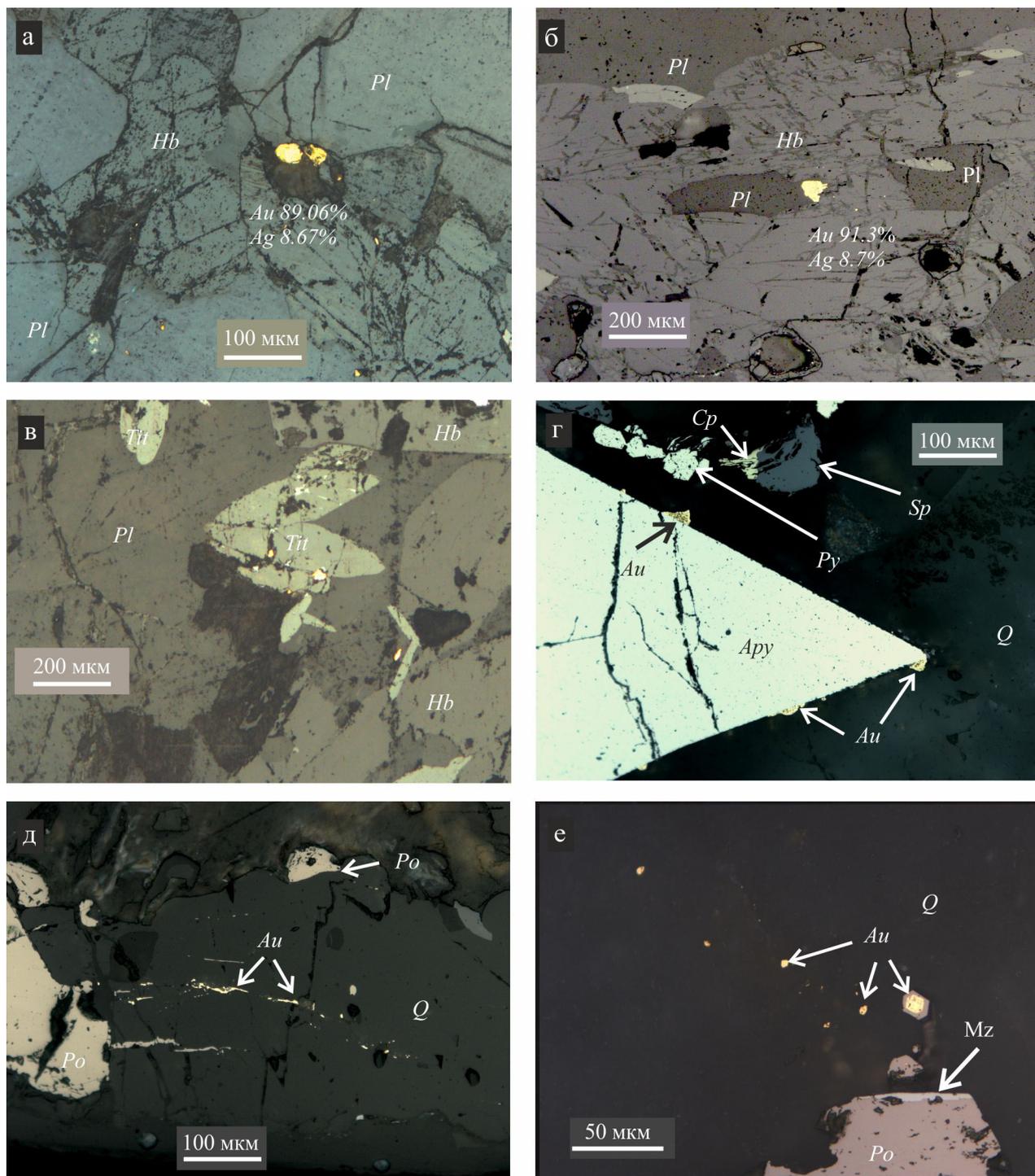


Рис. 11. Формы выделения золота на рудопроявлении Верхние Кичаны. Фото аншлифа, николи параллельны.

а, б – золото на границе зерен роговой обманки и плагиоклаза с результатами микрозондового анализа, в – золото в титаните, г – золото на границе метакристалла арсенопирита и кварца, д – выделение золота по микротрещинам в кварце, е – золото в кварце, гексагональное зерно золота обрастает пирротинном. *Apy* – арсенопирит, *Au* – золото самородное, *Cp* – халькопирит, *Hb* – роговая обманка, *Mz* – марказит, *Pl* – плагиоклаз, *Po* – пирротин, *Py* – пирит, *Q* – кварц, *Sp* – сфалерит, *Tit* – титанит.

Fig. 11. Morphology of gold in the Vekhrnie Kichany gold occurrence. Polished sections photos.

а, б – gold at the boundary hornblendite-plagioclase with results of microprobe assaying, в – gold in titanite, г – gold at the boundary arsenopyrite-quartz, д – gold in microfractures in quartz, е – gold in quartz, hexagonal gold grain overgrown by pyrrhotite. *Apy* – arsenopyrite, *Au* – native gold, *Cp* – chalcopyrite, *Hb* – hornblendite, *Mz* – markazite, *Pl* – plagioclase, *Po* – pyrrhotite, *Py* – pyrite, *Q* – quartz, *Sp* – sphalerite, *Tit* – titanite.

Таблица 7. Баланс золота в кварцевых метасоматитах по амфиболитам

Table 7. Gold balance in quartz metasomatite after amphibolite

Фракция (0.1–0.25 мм) и ее состав	Вес фракции, г	Au, г/т	Баланс Au, %
Легкая фракция (кварц, плагиоклаз)	218	18.4	41.45
Тяжелая бромформа (амфибол ≈90%, биотит, титанит, сростки)	96	21.5	21.33
Тяжелая Клеричи немагнитная (концентрат арсенопирита + пирит и марказит)	14.6	234.2	35.34
Тяжелая Клеричи магнитная (концентрат пирротина ≈96% + халькопирит)	6.0	30.3	1.88
Сумма	334.6		100

Таблица 8. Изотопные U-Pb данные для титанита из амфибол-кварцевых метасоматитов, рудопроявление золота Верхнее Кичаны

Table 8. Isotope U-Pb data for titanite from quartz-amphibole metasomatite in the Verkhnie Kichany gold occurrence

№ пробы	Навеска, мг	Содержание, г/т		Изотопный состав свинца ¹			Изотопные отношения и возраст, млн лет ²			Rho ³
		Pb	U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁸ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	
КС-1104-1	0.90	9.5	6.7	235.01 ± 0.02	2.015 ± 0.001	0.66172	4.56292	0.311990	1740	0.73
КС-1104-2	0.70	7.1	5.2	136.52 ± 0.01	2.083 ± 0.001	0.71502	4.53606	0.308859	1741	0.57

¹Все отношения скорректированы на холостое загрязнение 0.08 нг для Pb и 0.04 нг для U и масс-дискриминацию 0.12 ± 0.04 %.

²Коррекция на примесь обыкновенного свинца определена на возраст по модели Стейси и Крамерса (Stacey, Kramers, 1975).

³Коэффициент корреляции по U-Pb осям.

¹All ratios are corrected for idle contamination 0.08 ng for Pb and 0.04 ng for U and for mass-discrimination 0.12 ± 0.04 %.

²Correction for admixture of common lead was calculated for the age according to Stacey and Kramers (1975) model.

³Correlation coefficient by U-Pb axes.

роны. В 20 м к югу из той же зоны окварцевания на контакте роговообманковых анхимономинеральных и гранатовых амфиболитов взята бороздовая проба 0.5 м, содержание золота в ней составило 1.4 г/т.

Золото тонкозернистое, преобладающий размер выделений в протолочных пробах <0.1 мм. Это чаще всего ксеноморфные зерна, реже встречаются идиоморфные шестигранные выделения. Для некоторых зерен золота характерна губчатая текстура, обусловленная многочисленными микровключениями кварца (рис. 11б). Золото высокопробное (890–913), из примесей установлено только серебро (см. рис. 11а, б), примеси Fe, Cu, Zn, Hg, As, Sb не выявлены.

В аншлифах золото отмечено в виде включений либо выделений по трещинам в силикатных минералах (в роговой обманке, плагиоклазе, титаните – см. рис. 11а–в), в кварце (см. рис. 11д, е), по границе зерен арсенопирита и марказита с кварцем и силикатными минералами (см. рис. 11г), а также в виде включений в пирротине и халькопирите.

Ассоциация золота с самыми разными минералами породы – силикатами, оксидами, сульфидами и сульфоарсенидами – подчеркивается его распределением по фракциям разных плотности и магнитности (табл. 7). Практически равные доли в балансе металла от 20 до 40% приходятся на легкую фракцию (кварц, плагиоклаз), тяжелую бромформа (роговая обманка, биотит, титанит) и на концентрат арсенопирита и пирита; доля зо-

лота, связанного с пирротинном и халькопиритом, ниже – около 2%.

Для оценки возраста золотосодержащих пород была отобрана проба титанита из кварцевых метасоматитов с арсенопиритовой минерализацией (где золото отмечено в сростании с титанитом – см. рис. 11в). Оценка возраста выполнена U-Pb методом в Центре коллективного пользования в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии Геологического института КНЦ РАН по методике, детально описанной в монографии Т.Б. Баяновой (2004). Полученное значение составило 1739 ± 15 млн лет (табл. 8), точки состава находятся на конкордии. Следовательно, формирование золотоносных метасоматитов связано с регрессивной стадией свекофеннского этапа метаморфизма, полученное значение близко к возрасту метасоматитов с арсенопиритовой минерализацией в экзоконтактовой зоне турмалиновых гранитов, описанных ранее.

В 60 м к западу от описанного проявления золота, то есть примерно в 50 м выше по разрезу (см. рис. 9), обнажается еще одна зона смятия-расслаивания амфиболитов на контакте с маломощным (0.2 м) прослоем биотит-плагиомикроклиновых гнейсов. Скарноиды в зоне изменения амфиболитов и окварцованные гнейсы содержат вкрапленную существенно пирротинную сульфидную минерализацию. Содержание золота в измененных амфиболитах составляет 0.05 г/т (длина бороздовой пробы 0.4 м), а в гнейсах повышается до 0.8 г/т.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, в Кичанской структуре ТЗП установлены типичные для зеленокаменных поясов проявления полезных ископаемых – железистые кварциты, колчеданные руды, проявления молибдена и золота. Длительная история формирования вулканогенно-осадочных толщ и интрузивных комплексов пояса, два этапа регионального метаморфизма и последующего метасоматоза обусловили образование как сингенетических (магнетитовые кварциты, колчеданные существенно пирротиновые руды), так и эпигенетических (молибденит, арсенопирит и золото) проявлений.

Молибденовое проявление Кичаны мы связываем с гидротермально-метасоматическим преобразованием неоархейских жил микроклиновых гранит-пегматитов (2675 ± 14 млн лет) в свекофеннское время (2100–1900 млн лет назад). Следует заметить, что молибденит вообще один из распространенных акцессорных минералов гранитов и гранитных пегматитов, но рудных концентраций в последних достигает редко (к примеру, известны месторождения Кадиллак и Прейссак в поясе Абитиби (Федчук и др., 2006). Масштабы изученного нами проявления на оз. Верхние Кичаны, судя по всему, незначительны, но важны с точки зрения металлогенической характеристики пояса.

Проявления арсенопиритовой минерализации в ТЗП описаны не только в Кичанской структуре, но и в Иринегорской структуре в районе горы Винча – г. Иванова (Кулешевич, 2005; Проскурин, 2008) в зонах кислотного выщелачивания амфиболитов и биотитовых гнейсов. В таких арсенопиритсодержащих метасоматитах на горе Винча Г.Ю. Проскуриным (2008) было установлено содержание золота до 0.91 г/т. Вопрос о золотоносности арсенопиритовых проявлений юго-западного крыла Кичанской складки в районе оз. Бабье пока остается открытым: в проанализированных бороздовых пробах (три пересечения минерализованной зоны) установлен лишь повышенный геохимический фон золота до 0.1 г/т. Образование метасоматитов с арсенопиритовой минерализацией происходило, по всей видимости, под влиянием растворов, связанных с формированием интрузий турмалиновых гранитов на регрессивной стадии палеопротерозойского этапа метаморфизма, что подтверждается оценкой возраста монацитов из метасоматитов 1789 ± 47 млн лет. Близкое значение возраста метасоматических преобразований пород было получено U-Pb методом по монацитам (TIMS-ID, 1813 ± 14 млн лет) и Pb-Pb методом по ставролитам (1780 ± 50 млн лет) для кварц-ставролит-гранатовых метасоматитов Иринегорской структуры ТЗП в районе горы Винча (Азимов и др., 2010).

Проявления минерализации золота располагаются в пределах кичанской синформной складки,

где приурочены к толще амфиболитов (толеитовых metabазальтов) с прослоями плагиогнейсов (метатuffитов). Минерализация контролируется надвиговыми дислокациями, с которыми связаны согласные зоны смятия/рассланцевания и метасоматического изменения пород. Золото установлено в составе тонковкрапленной пирротин-арсенопиритовой минерализации в кварцевых метасоматитах, а также выявлено в скаполит-диопсид-кварцевых метасоматитах, развивающихся по амфиболитам, с пирит-пирротиновой минерализацией. Минерализация золота является наложенной: вмещающие толщи амфиболитов имеют неоархейский возраст, а возраст титанита из измененных пород, который содержит золото в виде включений, составляет 1739 ± 15 млн лет. Наиболее вероятно, что последнее значение отражает возраст тектонических событий (формирование кичанской синформной складки и надвигообразование) и развития рудоносных метасоматитов. Стоит отметить, что формирование минерализации золота в палеопротерозойское время в зеленокаменных комплексах архейского возраста в Карелии было показано для рудопроявлений Таловейс (Костомукшский пояс), Педролампи (Койкарско-Корбозерский пояс), Ялонваара (Ялонваарский пояс) (Ларионова и др., 2013).

На данном этапе изучения золотоносности пород ТЗП можно отметить, что проявления сульфидной минерализации с золотом установлены на участках развития метасоматитов, имеющих существенно кальциевую специфику, – это скарноиды, скаполит-диопсидовые метасоматиты и сопряженные с ними зоны окварцевания с пирит-пирротиновой и пирротин-арсенопиритовой минерализацией. Арсенопиритовые и пирротин-пиритовые проявления в гранат-кварцевых, амфибол-гранат-кварцевых и других метасоматитах с существенно железистой специализацией как в Кичанской структуре, в районе оз. Бабье, так и на г. Винча в Иринегорской структуре характеризуются слабой золотоносностью.

Контроль минерализации золота зонами смятия/рассланцевания пород, ее связь с вкрапленностью пирротина и арсенопирита в кварцевых метасоматитах и скарноидах, высокий уровень регионального метаморфизма вмещающих толщ, а также отсутствие видимой связи с магматическими событиями – по совокупности этих признаков установленные проявления минерализации золота можно отнести к гипозональному орогеническому типу месторождений, согласно принятой в зарубежной литературе классификации (McCuaig, Kerrich, 1998; Groves et al., 1998, 2003).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты, в первую очередь обнаруженные прямые признаки золотоносности из-

мененных плагиоамфиболитов, позволяют связать перспективы рудоносности ТЗП именно с золотом. Отрицательным фактором является высокий уровень метаморфизма пород (амфиболитовая фация повышенных давлений), но тем не менее в мире известны примеры месторождений золота и в поясах с высокobarическими высокотемпературным метаморфизмом, к примеру Норсман, Марвел Лох, Уестония, Гриффинз Файнд и другие в кратоне Йилгарн в Австралии (Ore deposits..., 1994), а среди более близких географически и геологически объектов можно упомянуть палеопротерозойские месторождения в свекофенидах южной части Финляндии и Северной Швеции, например Фабулиден (Bark, 2005).

В Кичанской структуре ТЗП самый большой интерес может представить площадь, занятая Кичанской синформной складкой, где наиболее интенсивно проявлены надвиговые дислокации и метасоматические преобразования пород. Наши исследования были проведены в районе оз. Верхние Кичаны, а практически вся площадь Кичанской складки к северу и к югу от озера остается слабо изученной в отношении золотоносности.

Авторы выражают глубокую благодарность члену-корреспонденту РАН Ю.Г. Сафонову (ИГЕМ РАН), Т.В. Каулиной, Н.М. Кудряшову (ГИ КНЦ РАН), А.С. Воинову (СПбГУ) за плодотворное обсуждение работы, ценные советы и помощь в подготовке статьи.

Работа выполнена в рамках проекта 0231-2015-0001 и Программы Президиума РАН 1.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азимов П.Я., Астафьев Б.Ю., Воинова О.А. (2010) Условия и возраст метаморфизма и метасоматоза в Винчинской структуре Северо-Карельского зеленокаменного пояса (зона сочленения Беломорского подвижного пояса и Карельского кратона). *Магматизм и метаморфизм в истории Земли. Тез. докл. II Всерос. петрографического совещ.*, Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 34-35.
- Алексеев Н.Л., Балаганский В.В., Зингер Т.Ф., Левченков О.А., Глебовицкий В.А., Макеев А.Ф., Яковлева С.З. (2004) Неоархейская история зоны сочленения Беломорского подвижного пояса и Карельского кратона, Балтийский щит: новые изотопные данные. *Докл. АН*, **397**(3), 369-373.
- Астафьев Б.Ю., Богданов Ю.Б., Воинова О.А., Воинов А.С., Горбачевич Н.Р., Журавлев В.А., Ногина М.Ю., Парамонова М.С., Проскурин Г.Ю., Рыбалко А.Е., Семенова Л.Р., Суриков С.Н., Шкарубо С.И. (2009) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q-(35), 36 - Апатиты. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 487 с.
- Баянова Т.Б. (2004) Возраст реперных геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. СПб.: Наука, 174 с.
- Беляев О.А., Пожиленко В.И. (1997) Структурно-метаморфическая эволюция Беломорского подвижного пояса (Енский сегмент). *Беломорский мобильный пояс: геология, геодинамика, геохронология. Тез. докл. междунар. совещ.* Петрозаводск: КарНЦ РАН, 17.
- Бибикова Е.В., Самсонов А.В., Щипанский А.А., Богина М.М., Грачева Т.В., Макаров В.А. (2003) Хизоварская структура Северо-Карельского зеленокаменного пояса как аккрецированная островная дуга позднего архея: изотопно-геохронологические и петрологические данные. *Петрология*, **11**(3), 289-320.
- Бортников Н.С. (1993) О достоверности арсенопиритового и арсенопирит-сфалеритового геотермометров. *Геология рудных месторождений*, **35**(2), 177-191.
- Геологическая съемка метаморфических и метасоматических комплексов (1996). СПб.: ВСЕГЕИ, 416 с.
- Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС Т. 1. (Отв. исполнитель М.В. Минц) (2010) М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 410 с.
- Другова Г.М., Левченков О.А., Савельева Т.Е. (1995) Гранитоиды раннего докембрия в Северо-Западном Беломорье. *Записки ВМО*, **124**(1), 35-51.
- Иванюк Г.Ю. (2004) Минералогия и петрология месторождений полосчатой железорудной формации Кольского полуострова. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. СПб., СПбГУ, 40 с.
- Калинин А.А., Баянова Т.Б., Лялина Л.М., Серов П.А. (2013) Графит-молибденовое рудопроявление Кичаны в Беломорском поясе. *Геология и геохронология породообразующих и рудных процессов в кристаллических щитах. Мат-лы Всерос. (с международным участием) конф. Апатиты: Изд-во. К & М, 66-69.*
- Карта минеральных фаций метаморфических пород восточной части Балтийского щита (1991) Ред. В.А. Глебовицкий. СПб.: ВСЕГЕИ, 1 л.
- Кожевников В.Н. (2000) Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 223 с.
- Корольюк В.Н. (2014) Петрологические характеристики определения свинца в фосфатах редких земель методом электронно-зондового микроанализа. *Журнал аналитической химии*, **69**(11), 1166-1172.
- Корольюк В.Н., Нигматулина Е.Н. (2013) Регистрация Ма-линии свинца в фосфатах редких земель на микроанализаторе JEOL JXA-8100. *Журнал аналитической химии*, **68**(9), 865-872.
- Корсакова М.А., Иванов Н.М., Дударева Г.А. (2000) Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 (издание второе). Лист Q-36-XXI, XXII (Амбарный). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 189 с.
- Кременецкий А.А. (1993) Новый геолого-промышленный тип редкоземельных россыпей. *Разведка и охрана недр*, (3), 15-19.
- Кулешев Л.В. (2005) Металлогения Беломорского складчатого пояса и Северо-Карельских зеленокаменных структур. *Беломорский подвижный пояс и его аналоги: Геология, геохронология, геодинамика, минералогия*. Мат-лы конф. Петрозаводск: ИГ

- КарНЦ РАН, 207-211.
- Лаврентьев Ю.Г., Романенко И.М., Новиков М.П., Усова Л.В., Королюк В.Н. (2011) Синтетические кристаллы TRPO_4 -образцы сравнения при количественном рентгеноспектральном микроанализе редкоземельных минералов. *Журнал аналитической химии*, **66**(9), 947-953.
- Ларионова Ю.О., Самсонов А.В., Шатагин К.Н., Носова А.А. (2013) Изотопно-геохронологические свидетельства палеопротерозойского возраста золоторудной минерализации в архейских зеленокаменных поясах Карелии (Балтийский щит). *Геология рудных месторождений*, **55**(5), 374-396.
- Левченко О.А., Милькевич Р.И., Миллер Ю.В., Зингер Т.Ф., Львов А.Б., Мыскова Т.А., Шулешко И.К. (2003) U-Pb возраст метаандезитов верхней части разреза супракrustальных образований северной части Тикшеозерского зеленокаменного пояса (Северная Карелия). *Докл. АН*, **389**(3), 378-381.
- Миллер Ю.В., Байкова В.С., Арестова Н.А., Шулешко И.К. (2005) Роль Хетоламбинского террейна в становлении и ранней истории развития Беломорского подвижного пояса. *Геотектоника*, (2), 17-32.
- Милькевич Р.И., Миллер Ю.В., Глебовицкий В.А., Богомоллов Е.М., Гусева В.Ф. (2003) Толеитовый и известково-щелочной магматизм в северной части Тикшеозерского зеленокаменного пояса: геохимические признаки субдукционной обстановки. *Геохимия*, (12), 1262-1274.
- Милькевич Р.И., Мыскова Т.А., Глебовицкий В.А., Львов А.Б., Бережная Н.Г. (2007) Каликорвинская структура и ее положение в системе Северо-Карельских зеленокаменных поясов: Геохимические и геохронологические данные. *Геохимия*, (5), 483-506.
- Павлова Л.А., Белозерова О.Ю., Парадина Л.Ф., Суворова Л.Ф. (2000) *Рентгеноспектральный электронно-зондовый микроанализ природных объектов*. Новосибирск: Наука, 224 с.
- Попова В.И., Хиллер В.В., Ерохин Ю.В., Попов В.А. (2010) Монациты поздних гранитных пегматитов Ильменских гор: химическое датирование возраста зонально-секториальных кристаллов. *Новые данные о минералах*, **45**, 72-78.
- Проскурин Г.Ю. (2010) Метасоматическая зональность и благоприятная минерализация Винченской структуры (Северная Карелия). *Региональная геология и металлогения*, **44**, 1-7.
- Ранний докембрий Балтийского щита* (2005) Ред. В.А. Глебовицкий. СПб.: Наука, 711 с.
- Розен О.М., Щипанский А.А., Туркина О.М. (2008) *Геодинамика ранней Земли: Эволюция и устойчивость геологических процессов (офиолиты, островные дуги, осадочные бассейны)*. М.: Научный мир, 184 с.
- Слабунов А.И. (2008) *Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита)*. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 296 с.
- Федчук В.Я., Корсаков А.К., Соколовский А.К. (2006) *Изучение минерогенетических ресурсов зеленокаменных поясов*. М.: ЦИТВП, 90 с.
- Хиллер В.В. (2010) *Состав, кристаллохимия, эволюция U-Th-Pb-системы ряда минералов-геохронометров по данным экспериментального исследования и компьютерного моделирования*. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 23 с.
- Щипанский А.А., Бабарина И.И., Крылов К.А., Самсонов А.В., Богина Е.В., Слабунов А.И. (2001) Древнейшие офиолиты на Земле: Неоархейский супра-субдукционный комплекс Ириногорской структуры Северо-Карельского зеленокаменного пояса. *Докл. АН*, **377**(3), 376-380.
- Bark G. (2005) *Genesis and tectonic setting of the hypozonal Faboliden orogenic gold deposit, northern Sweden*. Licentiate Thesis. Lulea University of Technology, 61 p.
- Cocherie A., Albaredo F. (2001) An improved U-Th-Pb age calculation for electron microprobe dating of monazite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **65**(24), 4509-4522.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. (1998) Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, **13**, 7-27.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Rober, F., Hart C.J.R. (2003) Gold Deposits in Metamorphic Belts: Overview of Current Understanding, Outstanding Problems, Future Research, and Exploration Significance. *Econ. Geol.*, **98**(1), 1-29.
- Jensen L.S., Pyke D.R. (1982) Komatiites in the Ontario portion of the Abitibi belt. In: Arndt N.T., Nisbet E.G. *Komatiites*. London, George Allen and Unwin, 147-157.
- Košler J., Sylvester P.J. (2003) Present Trends and the Future of Zircon in Geochronology: Laser Ablation ICPMS. Zircon (Eds: J.M.Hanchar, P.W.O. Hoskin) *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, **53**, 243-275.
- Kretschmar U., Scott S.D. (1976) Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canad. Mineral.*, **14**(3), 363-386.
- McCuaig T.C., Kerrich R. (1998) P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematic. *Ore Geology Reviews*, **12**, 381-453.
- Montel J.-M., Foret S., Veschambre M., Nicollet C., Provost A. (1996) Electron microprobe dating of monazite. *Chem. Geol.*, **131**, 37-53.
- Ore deposits of the Eastern Goldfields, Western Australia. Geological Society of Australia (WA Division) Excursion Guidebook 8* (1994) (Eds: W.K.Witt, D.I. Groves, S.E. Ho), East Perth, 82 p.
- Stacey J.S., Kramers J.D. (1975) Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **26**(2), 207-221.
- Suzuki K., Adachi M. (1991) The chemical Th-U-total Pb isochron ages of zircon and monazite from the gray granite of the Hida Terrane, Japan. *J. Earth Planet. Sci.*, **38**, 11-38.

REFERENCES

- Alekseev N.L., Balaganskiy V.V., Zinger T.F., Levchenkov O.A., Glebovitskiy V.A., Makeev A.F., Jakovleva C.Z. (2004) Late Archean history of the zone of Belomorian mobile belt and Karelian craton junction. *Dokl. Akad. Nauk*, **397**(3), 369-373. (In Russian)
- Astaf'ev B.Ju., Bogdanov Ju.B., Voinova O.A., Voinov A.S., Gorbatsevich N.R., Zhuravlev V.A., Nogina M.Ju., Pamonova M.S., Proskurin G.Ju., Rybalko A.E., Semenov L.R., Surikov S.N., Shkarubo S.I. (2009) *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Baltijskaya. List Q-(35), 36 Apatity. Ob'yasnitel'naja zapiska*.

- [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000. Sheet Q-(35), 36 Apatity. Explanatory note]. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 487 p. (in Russian)
- Azimov P.Ya., Astaf'ev B.Yu., Voinova O.A. (2010) Conditions and age of metamorphism and metasomatism in the Vinchinskaya structure of the Northern Karelian greenstone belt (area of the Belomorian mobile belt and Karelian craton junction). "Magmatizm i metamorfizm v istorii Zemli". *Tezisy dokladov 11 Vserossiyskogo petrograficheskogo soveshchaniya* [Abstracts of the 11th all-Russian petrographic meeting "Magmatism and metamorphism in Earth history"]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 34-35. (In Russian)
- Bark G. (2005) *Genesis and tectonic setting of the hypozonal Faboliden orogenic gold deposit, northern Sweden*. Licentiate Thesis. Lulea University of Technology, 61 p.
- Bayanova T.B. (2004) *Vozrast reперных геологических комплексов Кол'sкого региона I длит'nost' протессов магматизма* [Age of reference geological complexes in the Kola region and duration of processes of magmatism]. St.Petersburg, Nauka Publ., 174 p. (In Russian)
- Belyaev O.A., Pozhilenko V.I. (1997) Structural-metamorphic evolution of the Belomorian mobile belt (Yonsky segment). "Belomorskiy mobil'ny pojas: geologiya, geodinamika, geokhronologiya". *Abstracts*. ["Belomorskii mobil belt: Geology, Geodynamix, Geochronology". Abstracts of papers]. Petrozavodsk, Kar. NC RAN, 17. (In Russian)
- Bibikova E.V., Samsonov A.V., Shchipsanskii A.A., Bogina M.M., Gracheva T.V., Makarov V.A. (2003) The Khizovarskaya structure of the Northern Karelian greenstone belt as an Late Archean accretioned island arc: geochronologic isotopic and petrologic data. *Petrologiya*, **11**(3), 289-320. (In Russian)
- Bortnikov N.S. (1993) On correctness of arsenopyrite and sphalerite-arsenopyrite geothermometers. *Geol. rudn. Mestorozhd.*, **35**(2), 177-191. (In Russian)
- Cocherie A., Albarede F. (2001) An improved U-Th-Pb age calculation for electron microprobe dating of monazite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **65**(24), 4509-4522.
- Drugova G.M., Levchenkov O.A., Savel'eva T.E. (1995) The Early Precambrian granitoids in the North-West Belomorian]. *Zapiski VMO*, **124**(1), 35-51. (In Russian)
- Fedchuk V.Ja. Korsakov A.K., Sokolovskiy A.K. (2006) *Izuchenie mineragenicheskikh resursov zelenokamennykh pojasov* [Study of mineragenic resources of greenstone belts]. Moscow, TsITvP Publ., 90 p. (In Russian)
- Geologicheskaja s'emka metamorficheskikh i metasomaticheskikh kompleksov*. (1996) [Geological mapping of metamorphic and metasomatic complexes]. St.Petersburg, VSEGEI Publ, 416 p. (In Russian)
- Glubinnoe stroenie, evolyutsiya i poleznye iskopaemye rannedokembriyskogo fundamenta Vostochno-Evropейskoi platformy: interpretatsiya materialov po opornomu profilyu 1-EV, profilyam 4V i TATSEYS. V. 1*. (Crusial performer M.V. Mints) (2010) [Deep structure, evolution, and minerals of the Early Precambrian basement of the Eastern European Platform: interpretation of data for the main profile 1-EV and for profiles 4V and TATSEIS V. 1]. (Ed. M.V. Mints). Moscow, GEOKART: GEOS Publ., 410 p. (In Russian)
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. (1998) Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, **13**, 7-27.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Rober, F., Hart C.J.R. (2003) Gold Deposits in Metamorphic Belts: Overview of Current Understanding, Outstanding Problems, Future Research, and Exploration Significance. *Econ. Geol.*, **98**(1), 1-29.
- Ivanyuk G.Yu. (2004) *Mineralogiya i petrlogiya mestorozhdeniy poloschatoi zhelezorudnoi formatsii Kol'skogo poluoostrova*. Dis. dokt. geol.-min. nauk [Mineralogy and petrology of the banded iron formation deposits in the Kola Peninsula. Abstr. Dr. geol. and min. sc. diss.] St.Petersburg, St.Petersburg St. Univ., 40 p. (In Russian)
- Jensen L.S., Pyke D.R. (1982) Komatiites in the Ontario portion of the Abitibi belt. In: Arndt N.T., Nisbet E.G. *Komatiites*. London, George Allen and Unwin, 147-157.
- Kalinin A.A., Bajanova T.B., Lyalina L.M., Serov P.A. (2013). Grafit-molybdenum ore occurrence Kichany in the Belomorian belt. *Materialy Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) konferentsii "Geologiya i geokhronologiya porodobrazuyushchikh i rudnykh protessov v kristallicheskikh shchitakh"* ["Geology and geochronology of rock-forming and ore-bearing processes in crystal shields"] Proc. All-Russian (with international participation) conf.]. Apatity, K&M Publ., 66-69. (In Russian)
- Karta mineral'nykh fatsii metamorficheskikh porod vostochnoy chasti Baltiyskogo shchita*. (1991) (Red. V.A. Glebovitskiy) [Map of mineral facies of metamorphic rocks in the eastern part of the Baltic Shield]. (Ed. V.A. Glebovitskiy.). St.Petersburg, VSEGEI Publ., 1 sheet. (In Russian)
- Khiller V.V. (2010) *Sostav, kristallokhiimiya, evoljutsiya U-Th-Pb sistemy ryada mineralov-geokhronometrov po dannym eksperimental'nogo issledovaniya I komp'yuternogo modelirovaniya*. Dis. cand. geol.-min. nauk [Composition, crystallochemistry, evolution of U-Th-Pb system in some minerals-geochronometers according to experimental study and computer modeling. Cand. geol. and min. sci. diss.]. Ekaterinburg, IGG UroRAN, 23 p. (In Russian)
- Koroljuk V.N. (2014) Metrological characteristics of assaying for lead in rare earth elements phosphates with method of microprobe analysis. *Zh. Analit. Khimii*, **69**(11), 1166-1172. (In Russian)
- Koroljuk V.N., Nigmatullina E.N. (2014) Registration of the lead Ma line in rare earth elements phosphates with JEOL JXA-8100 *Zh. Analit. Khimii*, **68**(9), 865-872 (In Russian)
- Korsakova M.A., Ivanov N.M., Dudareva G.A. (2000) *Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1 : 200 000 (izdanie vtoroe). List Q-36-XXI, XXII (Ambarny). Ob'jasnitel'naja zapiska*. [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000. Sheet Q-36-XXI, XXII (Ambarny). Explanatory note]. St.Petersburg, VSEGEI, 189 p. (In Russian)
- Košler J., Sylvester P.J. (2003) Present Trends and the Future of Zircon in Geochronology: Laser Ablation ICPMS. Zircon (Eds: J.M.Hanchar, P.W.O. Hoskin) *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, **53**, 243-275.
- Kozhevnikov V.N. (2000) *Arkheyskie zelenokamennye poyasa Karel'skogo kratona kak akkretsiionnye orogeny* [Archean greenstone belts in the Karelian craton as accretionary orogens]. Petrozavodsk, KarNTs RAN, 223 p. (In Russian)
- Kremenetskiy A.A. (1993). A new geological-industrial type of rare earth placers. *Razvedka i okhrana nedr*, (3), 15-

19. (In Russian)
- Kretschmar U., Scott S.D. (1976) Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe-As-S and their application. *Canad. Mineral.*, **14**(3), 363-386.
- Kuleshevich L.V. (2005) Metallogeny of the Belomorian folded belt and North-Karelian greenstone structures. *Belomorskiy podvizhnyy pojas i ego analogi: geologiya, geokhronologiya, geodinamika, metallogenija*. Materialy konferentsii [Belomorian mobile belt: Geology, geochronology, Geodynamix, Metallogeny]. Petrozavodsk, KarNTs RAN, 207-211. (In Russian)
- Larionova Yu.O., Samsonov A.V., Shatagin K.N., Nosova A.A. (2013) Isotope geochronological characteristics, testifying to Paleoproterozoic age of gold mineralization in the Archean greenstone belts in Karelia (the Baltic Shield). *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **55**(5), 374-396. (In Russian)
- Lavrent'ev Yu.G., Romanenko I.M., Novikov M.P., Usova L.V., Korolyuk V.N. (2011) Synthetic TRPO₄ crystals as samples for comparison for quantitative X-ray spectral microprobe assaying of rare earth elements minerals. *Zh. Analit. Khimii*, **66**(9), 947-953. (In Russian)
- Levchenkov O.A., Mil'kevich R.I., Miller Yu.V., Zinger T.F., L'vov A.B., Myskova T.A., Shuleshko I.K. (2003). U-Pb age of metaandesite in the upper part of cross section of the northern part of the Tiksheozersky greenstone belt (Northern Karelia). *Dokl. Akad. Nauk*, **389**(3), 378-381. (In Russian)
- McCuaig T.C., Kerrich R. (1998) P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematic. *Ore Geology Reviews*, **12**, 381-453.
- Mil'kevich R.I., Miller Yu.V., Glebovitskiy V.A., Bogomolov E.M., Guseva V.F. (2003) Toleitic and calc-alkaline magmatism in the northern part of the Tiksheozersky greenstone belt: geochemical signs of subduction conditions. *Geokhimiya*, (12), 1262-1274. (In Russian)
- Mil'kevich R.I., Myskova T.A., Glebovitskiy V.A., L'vov A.B., Berezhnaja N.G. (2007) Kalikorvinsk structure and its position in system of North Karelia greenstone belts: Geochemical and Geochronological data. *Geokhimiya*, (5), 483-506. (In Russian)
- Miller Ju.V., Baykova V.S., Arestova N.A., Shuleshko I.K. (2005) Role of the Khetolambinsky terrain in formation and the early history of development of the Belomorian mobile belt. *Geotektonika*, (2), 17-32. (In Russian)
- Montel J.-M., Foret S., Veschambre M., Nicollet C., Provost A. (1996) Electron microprobe dating of monazite. *Chem. Geol.*, **131**, 37-53.
- Ore deposits of the Eastern Goldfields, Western Australia. Geological Society of Australia (WA Division) Excursion Guidebook 8* (1994) (Eds: W.K.Witt, D.I. Groves, S.E. Ho), East Perth, 82 p.
- Pavlova L.A., Belozerova O.Ju., Paradina L.F., Suvorova L.F. (2000) *Rentgenospektral'nyi elektronno-zondovyi mikroanaliz prirodnykh ob'ektov* [X-ray-spectral microprobe analysis of natural species]. Novosibirsk, Nauka Publ., 224 p. (In Russian)
- Popova V.I., Khiller V.V., Erokhin Yu.V., Popov V.A. (2010) Monazites from late granite pegmatites, Il'meny mountains: chemical dating of zonal sectorial crystals. *Novye dannye o mineralakh*, **45**, [New data on minerals]. 72-78. (In Russian)
- Proskurin G.Yu. (2010) Metasomatic zonality and precious metal mineralization in the Vinchenskaya structure (Northern Karelia). *Regional'naya geologiya i metallogenija*, **44**, 1-7. (In Russian)
- Ranniy dokembriy Baltiyskogo shchita* (2005) (Ed. V.A. Glebovitskiy) [The Early Precambrian of the Baltic Shield]. (Ed. V.A. Glebovitskiy). St.Petersburg, Nauka Publ., 711 p. (In Russian)
- Rozen O.M., Shchipanskiy A.A., Turkina O.M. (2008) *Geodinamika ranney Zemli. Evolyutsia I ustoychivost' geologicheskikh protsessov (ofiolity, ostrovnyye dugi, osadochnye basseiny)* [Geodynamics of the Early Earth. Evolution and stability of geological processes (ofiolites, island arcs, sedimentary basins)]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 184 p. (In Russian)
- Shchipanskiy A.A., Babarina I.I., Krylov K.A., Samsonov A.V., Bogina E.V., Slabunov A.I. (2001) The most ancient ofiolite in the Earth: Late Archean suprasubduction complex of the Irinogorskaya structure of the North Karelian greenstone belt. *Dokl. Akad. Nauk*, **377**(3), 376-380. (In Russian)
- Slabunov A.I. (2008) *Geologiya i geodinamika arkheyskikh podvizhnykh pojasov (na primere Belomorskoy provinitsii Fennoskandinavskogo shchita)* [Geology and geodynamics of the Archean mobile belts (the Belomorian province of the Fennoscandian Shield as an example)]. Petrozavodsk, KarNTs RAN, 296 p. (In Russian)
- Stacey J.S., Kramers J.D. (1975) Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **26**(2), 207-221.
- Suzuki K., Adachi M. (1991) The chemical Th-U-total Pb isochron ages of zircon and monazite from the gray granite of the Hida Terrane, Japan. *J. Earth Planet. Sci.*, **38**, 11-38.