

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 553.49:549.33:549.273:669.2. (470.6)

DOI: [10.46698/VNC.2021.71.47.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.71.47.002)

Оригинальная статья

Ультрабазиты и источники благородных металлов
(Au, Pt, Pd) на Северном КавказеИ.А. Богуш¹, Г.В. Рябов¹, В.И. Черкашин², Н.А. Исаева²

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, e-mail: georg.riabov@yandex.ru, i_bogush@mail.ru;

²Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeo@mail.ru

Статья поступила: 17.10.2021, после рецензирования: 18.11.2021, принята к публикации: 25.11.2021

Резюме: Актуальность работы. Ультрабазиты Северного Кавказа являются древнейшими магматическими породами, возраст которых определяется как нижнепалеозойский (ордовик-силур). Эти породы играют ключевую роль в металлогении благородных металлов Кавказа. С ультрабазитами связаны гигантские запасы металлов в региональной углеродсодержащей девонской черносланцевой толще Северного Кавказа. Практическое значение имеют пермские пропилиты (Чучкурское месторождение) и металлоносные юрские коры выветривания ультрабазитовых массивов. До настоящего времени не оценены благородные металлы лиственитов Северного Кавказа, сопровождающих ультрабазиты. **Цель работы.** Показать, что ультраосновные породы являются донорами благородных металлов (Au, Pt, Pd) для Северного Кавказа на протяжении всего фанерозоя. Подтвердить пространственно-временную связь ультрабазитов с благороднометалльным руденением в черных сланцах Кавказа. Доказать на примере Беденского массива ультрабазитов наличие рудоносной коры выветривания, залегающей на размытой поверхности серпентинитов. **Методы исследований.** Сделан краткий исторический обзор исследований ультрабазитов с ориентацией на генетические связи благородных металлов (Au, Pt, Pd) с ультрабазитовой магмой. Проведен анализ геологических материалов по наиболее крупным на Северном Кавказе Беденскому и Малкинскому ультрабазитовым массивам – их составу, геохимическим особенностям и потенциальной рудоносности. **Результаты работы.** По химическому составу ультрабазиты Северного Кавказа отнесены к альпинотипному формационному типу. Установлена рудообразующая роль альпинотипных ультрабазитов для благородных металлов в осадочных и метаморфических толщах фанерозоя региона. Благородные металлы активно проявляются в металлогении фанерозойских геотектонических эпох: каледонской, герцинской, киммерийской и альпийской, имея единый первичный ультрабазитовый источник. Свежие, неизмененные серпентиниты в настоящее время не обнаруживают аномальные содержания благородных металлов, представляющих промышленный интерес. Насыщение серпентинитов благородными металлами проявляется при их экзогенной переработке в обогащенных продуктах их разрушения. Потенциально промышленными осадочными комплексами, состоящими из обогащенных продуктов разрушения серпентинитов, являются коры выветривания серпентинитов и осадочные черносланцевые толщи Северного Кавказа. Ультрабазитовая магма на Северном Кавказе послужила первичным глубинным источником благородных металлов в осадочных и метаморфогенных фанерозойских толщах Кавказа.

Ключевые слова: Северный Кавказ, ультрабазиты, рудный источник, благородные металлы, (Au, Pt, Pd), металлогения.

Для цитирования: Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А. Ультрабазиты и источники благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 15-29. DOI: [10.46698/VNC.2021.71.47.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.71.47.002)

DOI: [10.46698/VNC.2021.71.47.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.71.47.002)

Original paper

Ultrabasites and the sources of noble metals (Au, Pt, Pd) in the North Caucasus

I.A. Bogush¹, G.V. Ryabov¹, V.I. Cherkashin², N.A. Isaeva²

¹Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya, Novocherkassk 346428, Russian Federation, e-mail: georg.riabov@yandex.ru, i_bogush@mail.ru;

²Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the RAS, 75 Yaragskiy Str., Makhachkala 367010, Republic of Dagestan, Russian Federation, e-mail: dangeo@mail.ru

Received: 17.10.2021, revised: 18.11.2021, accepted: 25.11.2021

Abstract: Relevance. The ultrabasites of the North Caucasus are the oldest igneous rocks, whose age is defined as the Lower Paleozoic (Ordovician-Silurian). These rocks play a key role in the metallogeny of the noble metals of the Caucasus. Huge reserves of metals in the regional carbonaceous Devonian black shale stratum of the North Caucasus are associated with ultrabasites. Permian propylites (Chuchkurskoye deposit) and metal-bearing Jurassic crusts of weathering of ultrabasic massifs are of practical importance. To date, the noble metals of the listvenites of the North Caucasus accompanying ultrabasites have not been evaluated. **Aim.** Show that ultrabasic rocks are donors of noble metals (Au, Pt, Pd) for the North Caucasus throughout the entire Phanerozoic. Confirm the spatio-temporal relationship of ultrabasic rocks with noble metal mineralization in the black shales of the Caucasus. Prove the presence of an ore-bearing weathering crust on the eroded surface of serpentinites using the example of the Bedensky ultrabasic massif. **Methods.** A brief historical review of ultrabasic studies with a focus on the genetic relationships of noble metals (Au, Pt, Pd) with ultrabasic magma is made. The analysis of geological materials on the Bedene and Malkin ultrabasic massifs, the largest in the North Caucasus, is carried out – their composition, geochemical features and potential ore content. **Results.** According to the chemical composition, the ultrabasites of the North Caucasus are attributed to the alpinotype formation type. The ore-forming role of alpinotype ultrabasites for noble metals in sedimentary and metamorphic strata of the Phanerozoic region has been established. Noble metals are actively manifested in the metallogeny of the Phanerozoic Geotectonic epochs: Caledonian, Hercynian, Cimmerian and Alpine, having a single primary ultrabasic source. Fresh, unaltered serpentinites do not currently show anomalous contents of noble metals of industrial interest. The saturation of serpentinite with noble metals is manifested during their exogenous processing in the enriched products of their destruction. Potentially industrial sedimentary complexes consisting of enriched products of destruction of serpentinites are the weathering crusts of serpentinites and sedimentary black-shale strata of the North Caucasus. Ultrabasic magma in the North Caucasus served as the primary deep-seated source of precious metals in sedimentary and metamorphogenic Phanerozoic strata of the Caucasus.

Keywords: North Caucasus, ultrabasites, ore source, noble metals, (Au, Pt, Pd), metallogeny.

For citation: Bogush I.A., Ryabov G.V., Cherkashin V.I., Isaeva N.A. Ultrabasites and the sources of noble metals (Au, Pt, Pd) in the North Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 15 - 29. DOI: 10.46698/VNC.2021.71.47.002

Введение

Важное металлогеническое значение ультраосновных пород в формировании месторождений благородных металлов и, прежде всего, МПГ общеизвестно [Соболев, 1952; Плошко, 1986; Naldrett, Duke, 1980; Naldrett, 1981; Campbell et al., 1983;

Boudreau McCallum, 1986; Beaudoin et al., 1990; Mulja, Mitchell, 1990; Alapieti, 2005].

Ключевую роль в металлогении благородных металлов играют древнейшие магматические породы Кавказа – ультрабазиты. Активное металлогеническое участие ультрабазитов рассматривается на примере Беденского и Малкинского серпентинитовых массивов, связанных с главными событиями рудогенеза благородных металлов [Богуш и др., 2016; Парада и др., 2014; Парада, 2018]. В металлогеническом отношении благородные металлы на Северном Кавказе впервые проявляются в связи с каледонскими ультрабазитами Передового хребта [Богуш и др., 2016, 2017; Парада и др., 2014]. Как показано исследователями ультрабазитов Кавказа [Богуш и др., 2017], они являются донорами благородных металлов (Au, Pt, Pd) для всего Северного Кавказа на протяжении всего фанерозоя. Благородные металлы активно проявляются в металлогении фанерозойских геотектонических эпох: каледонской, герцинской, киммерийской и альпийской, имея единый первичный ультрабазитовый источник. С ультрабазитами связаны гигантские запасы металлов в региональной углеродсодержащей девонской черносланцевой толще Северного Кавказа. Практическое значение имеют пермские пропилиты (Чучкурское месторождение) и металлоносные юрские коры выветривания ультрабазитовых массивов. До настоящего времени не оценены благородные металлы лиственитов Северного Кавказа, сопровождающих ультрабазиты. Отмечена лишь их общая повышенная золотоносность до 1,0 г/т. В теоретическом плане впервые доказывается прямая связь благородных металлов черных сланцев с ультраосновной магмой и прямое участие серпентинитов в рудоносности черносланцевых толщ.

Методы исследования

Ультраосновные породы Северного Кавказа были объектами геологических исследований, начиная еще с дореволюционных годов прошлого века. Авторами сделан краткий исторический обзор исследований ультрабазитов с ориентацией на генетические связи благородных металлов (Au, Pt, Pd) с ультрабазитовой магмой. Проведен анализ геологических материалов по наиболее крупным на Северном Кавказе Беденскому и Малкинскому ультрабазитовым массивам – их составу, геохимическим особенностям и потенциальной рудоносности.

Длительная история исследования ультрабазитов Северного Кавказа отражена в известных монографиях [Соболев, 1952; Каденский, 1956; Плошко, 1986; Снежко, 1986]. Указанные монографии обобщали и развивали основополагающие позиции более ранних работ по ультрабазитам: [Безбородько, 1913; Затоковенко, 1941; Ефремова, 1939, 1940; Герасимова, 1933, 1940; Коблева, 1936; Сердюченко, 1935; Татарина, 1927, 1935], а также в многочисленных публикациях и отчетах геологов-исследователей Кавказа. Петрография, типизация и геохимия ультрабазитов отражены на примерах достаточно крупных штокверковых и сложных пластовых тел, дающих возможность изучить большие площадные выходы. В некоторых работах внимание к ультрабазитам привлекали связанные с ними полезные ископаемые (природнолегированные железные руды, хромиты, асбест, никелевые руды). К этой тематике относятся целенаправленные публикации [Кобилева, 1939; Попова, 1929; Татарина, 1927, 1935]. Жильные (дайки) и малые тела ультрабазитов подробно и всесторонне рассматриваются при разведочных работах и эксплуатации рудных месторождений. Многочисленные, детальные свойства серпентинитов приведены на Тырнаузском месторождении в зоне Передового хребта. Работами [Пэк, Снеж-

ко, 1980; Курдюкова и др. 1980; Снежко, 1985; Медведкова, Блинова 1975] подробно рассмотрены малые тела, дайки и мелкие интрузии, вскрытые при разведке и добыче молибдено-вольфрамовых руд в структурной зоне Передового хребта.

Объекты исследований.

Региональная полоса альпинотипных ультрабазитов силурийского возраста выходит по северной границе зоны Передового хребта и совпадает с глубинной Тырныауз-Пшекишской тектонической зоной (рис. 1) [Снежко, 1985]. Восточный фланг этой полосы отмечен крупным Малкинским массивом, западный – Беденским массивом.

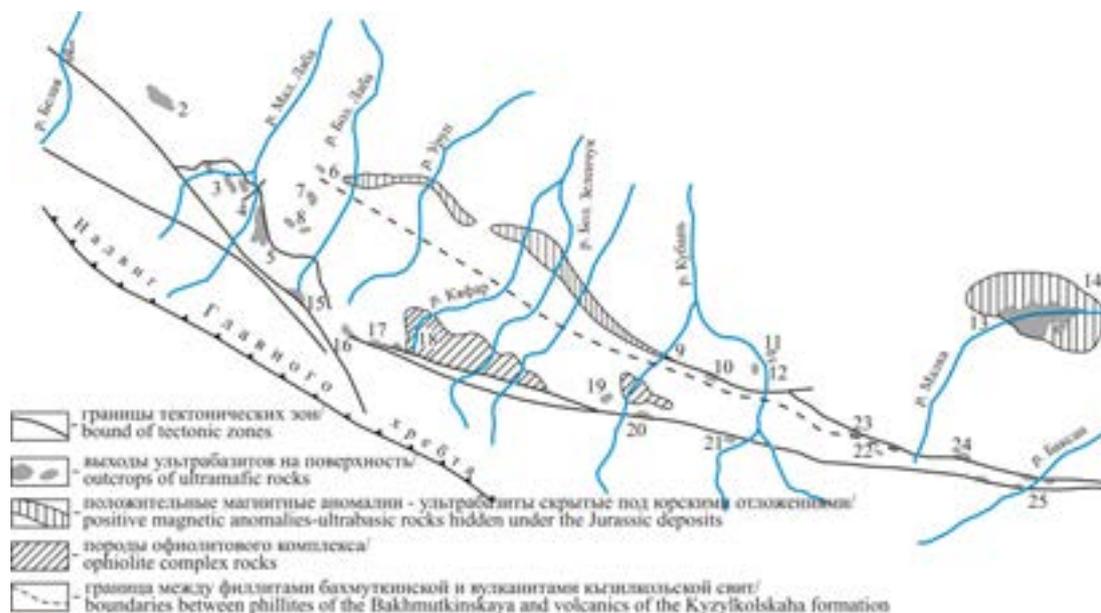


Рис. 1. Схема размещения ультрабазитов в зоне Передового хребта по Е.А. Снежко.

Условные обозначения: Тектонические зоны: I – Бечасынская, II – Передового хребта, III – Главного хребта, IV – Южного склона, II-b – кристаллические сланцы Блыбского антиклинория Передового хребта.

Номера на схеме – выходы ультрабазитов: 1 – Белореченские и Кишинские, 2 – Тхачский, 3 – Урушитенские, 4 – Маркопиджский, 5 – Блыбский, 6 – Беденский и Андрюкский, 7 – Пцыцгерский, 8 – Дзентинские, 9 – Нижнетебердинские, 10 – Кольтюбинский, 11 – Алыкбаинский, Шаманбеклегенский, Худесский, 12 – Кизилкольский, 13 – Шитджатмазский, 14 – Малкинский, 15 – Заканский, 16 – Загеданский, 17 – Ацгаринский и Речепстинский, 18 – Кяфарские/Архейский офиолитовый комплекс, 19 – Верхнетебердинские и Гедамские, 20 – Джемагатские, 21 – Карачай-аушские, 22 – Худесского рудного поля, 23 – Конушкольский и горы Сирх, 24 – ультрабазиты Тырныаузского рудного поля, 25 – Кестантинские /

Fig. 1. Layout of ultrabasites in the zone of Peredovoy ridge according to E.A. Snezhko.

Legend: Tectonic zones: I – Bechasynskaya, II – Peredovoy ridge, III – Main ridge, IV – Southern slope, II-b – crystalline schists of the Blybsky anticlinorium of the Peredovoy ridge.

Numbers on the scheme – ultrabasite outcrops: 1 – Beloechensky and Kishinsky, 2 – Tkhachsky, 3 – Urushtensky, 4 – Markopidzhsky, 5 – Blybsky, 6 – Bedensky and Andryuksky, 7 – Ptsytsersky, 8 – Dzhentinsky, 9 – Nizhneberdinsky, 10 – Koltyubinsky, 11 – Alykbashinsky, Shaman-beklegensky, Khudessky, 12 – Kizilkolsky, 13 – Shitjatmazsky, 14 – Malkinsky, 15 – Zakansky, 16 – Zagedansky, 17 – Atsgarinsky and Rechepstinsky, 18 – Kyafar / Archean ophiolite complex, 19 – Verkhneberdinskiy and Gedamskiy, 20 – Dzhemagatskiy, 21 – Karachay-aushkiy, 22 – Khudesskiy ore field, 23 – Konushkolskiy and Sirkh mountain, 24 – ultrabasites of Tyrnyauzskiy ore field, 25 – Kestantinskiy

Результаты работы и их обсуждение

Ультрабазиты Кавказа относятся к наиболее изученным магматическим образованиям региона. Возраст ультрабазитов определяется как нижнепалеозойский (450 ± 25 млн. лет) [Плошко, 1986], в связи с чем они являются наиболее древними магматическими породами Северного Кавказа и древнее чем вмещающие их отложения девонских ($D_{2,3}$) черных сланцев Тоханского покрова. Среди ультраосновных пород выделяются интенсивно серпентинизированные перидотиты, гарцбургиты, серпентиниты различного состава и их оталькованные или карбонатизированные разновидности с переходами к талькитам и лиственитам. По химическому составу ультрабазиты Северного Кавказа относятся к альпинотипному формационному типу [Плошко, 1986].

Последнее десятилетие научные работы и изучение серпентинитов производится исключительно в связи с прогнозом благородных металлов на Северном Кавказе. Эти работы показали непосредственное донорство ультрабазитов и первичный источник благородных металлов для всего фанерозоя. Аномальные содержания благородных металлов (Pt, Pd, Au) геохимически обнаружены в продуктах выветривания Малкинского массива [Парада и др., 2014, Парада, 2018, 2021] и Беденского массива [Богуш и др., 2016, 2017]. Ультрабазиты Северного Кавказа являются первым и древнейшим каледонским источником благородных металлов в пределах зоны Передового хребта.

Донорская роль силурийских ультрабазитов наиболее широко, в площадном отношении, проявляется в черных сланцах андрюкской и артыкчатской свит ($D_{1,2}$), которые сопровождают пояс ультрабазитов на всем его протяжении. Нижняя граница свит не вскрыта, верхняя граница тектоническая с породами даутской свиты (D_2).

Пространственно-временная связь ультрабазитов и черных сланцев подтверждается также широким развитием в сланцах шпинели (пикотит) и присутствием обломков ультрабазитового состава [Потапенко, Пруцкий, 1976]. Устанавливаемое исключительное влияние в формирование черносланцевых отложений Тоханского покрова ультраосновной и офиолитовой составляющей неизбежно должно отразиться и на их металлогеническом, рудогенерирующем спектре. Продукты размыва ультрабазитов Беденского массива обогащались благородными металлами, и образовали аномальные содержания платины, платиноидов и золота [Богуш и др., 2016, 2017]. На вероятную связь платиноидов медноколчеданных месторождений с ультрабазитами указывал в свое время и Г.В. Рябов.

Минералогическое изучение ультрабазитов [Богуш и др., 2016; Парада и др., 2014] не обнаружило коренных находок минералов платиновой группы. Геохимические исследования непосредственно коренных серпентинитов в обнаженной части массива показали повышенный аномальный фон платиноидов в серпентинитах (0,09 г/т) [Богуш и др., 2016; Парада и др., 2014]. Ведущая роль серпентинитов как постоянного источника благородных металлов (Au, Pt, Pd) подчеркивается постоянным присутствием их в продуктах разрушения серпентинитов во всех постсилурийских проявлениях этих металлов Северного Кавказа. Продукты выветривания серпентинитов содержат субпромышленные суммарные концентрации золота, платины палладия (0,9–2,0 г/т) [Богуш и др., 2016]. Практически не изучены благородные металлы лиственитов Северного Кавказа, сопровождающих ультрабазиты, отмечается лишь их повышенная золотоносность до 1,0 г/т. Наиболее показатель-

ными массивами при определении потенциальной рудоносности являются Беденский и Малкинский массивы ультрабазитов.

Беденский ультрабазитовый массив

Практически все исследователи ультрабазитов Северного Кавказа затрагивали основные характеристики Беденского массива как наиболее доступного и обнаженного на поверхности. В ранних работах [Безбородько, 1913 и Кобилева, 1939] внимание к этому массиву привлекали хромитовые руды, никель-кобальтовая минерализация и асбестовые проявления. Хризотил-асбестовые проявления изучались П.М. Татариновым. Первоначально эти полезные ископаемые рассматривались с промышленной точки зрения [Кобилев, 1939], но по запасам таковыми не оказались. Беденские ультрабазиты привлекали внимание многих геологов Кавказа. Однако важное металлогеническое значение Беденские ультрабазиты приобрели за последнее десятилетие, после доказательства их рудоносности, обогащения благородными металлами и первичными донорскими свойствами альпинотипных ультрабазитов на Северном Кавказе [Плошко, 1986].

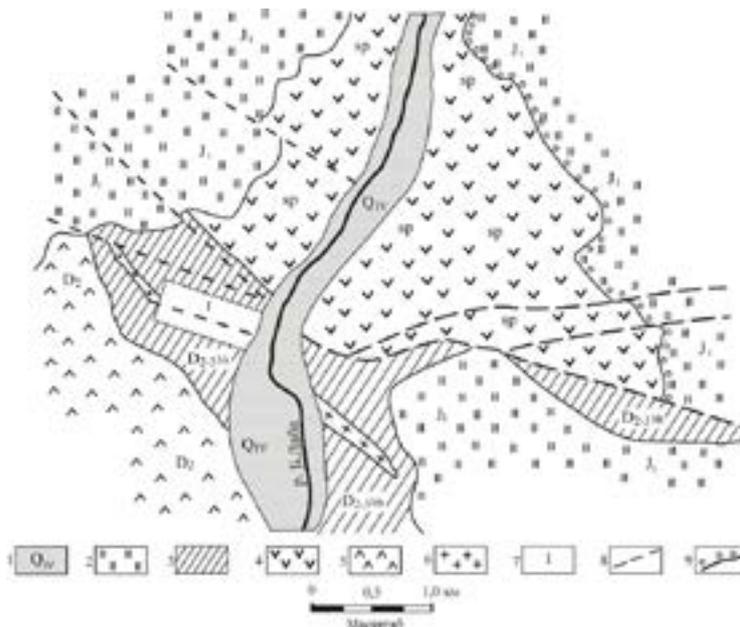


Рис. 2. Лабинский рудный участок: Беденский массив ультрабазитов, рудная зона Грушовая, кора выветривания серпентинитов.

Условные обозначения: 1 – аллювиальные отложения; 2 – песчаники верхней юры; 3 – черносланцевая толща; 4 – серпентиниты; 5 – вулканиты; 6 – лейкократовые граниты; 7 – рудная зона; 8 – тектонические нарушения; 9 – юрский базальный горизонт и рудоносная кора выветривания серпентинитов /

Fig. 2. Labinsky ore locus: Beden ultrabasic massif, the Grushovaya ore zone, weathering crust of serpentinites.

Legend: 1 – alluvial deposits; 2 – Upper Jurassic sandstones; 3 – black shale strata; 4 – serpentinites; 5 – volcanics; 6 – leucocratic granites; 7 – ore zone; 8 – tectonic disturbances; 9 – Jurassic basal horizon and ore-bearing weathering crust of serpentinite

Беденский массив – один из самых крупных серпентинитовых массивов Северного Кавказа (рис. 2) [Плошко, 1986; Соболев, 1952].

Форма выхода его на поверхность близкая к изометричной, площадь развития 9 км². Ультрабазиты Беденского массива вскрыты рекой Большая Лаба в районе поселка Азиатский на протяжении более 5 км, который выступает из-под юрских отложений в долине реки и ее притоков. По В.В. Плошко [1986], Беденский массив является одним из серпентинитовых штокообразных тел, приуроченных к узлам пересечения глубинного Лабино-Кубанского разлома с тектоническими структурами субмеридионального простирания. Ультрабазиты Беденского типа относятся к наиболее ранним маг-

матическим комплексам Северного Кавказа. Возраст гипербазитов [Парада и др., 2014] имеет верхнюю границу как ордовик (450+-25 млн лет) и они являются более древними, чем вмещающие их отложения девонских черных сланцев (D₂₋₃). Региональная полоса альпинотипных ультрабазитов этого типа проходит по северной границе зоны Передового хребта и совпадает с глубинной Тырныауз-Пшекишской тектонической зоной. Ультрабазиты Беденского массива вскрыты рекой Большая Лаба в районе поселка Азиатский на протяжении более 5 км и выступают из-под юрских отложений в долине реки и ее притоков.

Контакты ультрабазитов с вмещающими образованиями часто тектонически осложнены и сопровождаются наложенным никелевым и медным оруденением, карбонатизацией, лиственитизацией, окварцеванием и оталькованием. На севере массив граничит с кристаллической толщей нижнего палеозоя (Беденскими гранитами), на юге имеет тектонический контакт с черносланцевой толщей девона. К западу и востоку ультрабазиты перекрываются терригенными отложениями нижней юры (плинсбах, тоар). На севере Беденский массив имеет магматический контакт с нижнепалеозойскими гранитами и гранито-гнейсами [Калганов, 1946]. Южная граница массива с черными сланцами верхнего девона ограничена Беденским разломом. Южная тектоническая граница серпентинитового массива (Беденский разлом) в региональном плане относится к проявлению регионального Северного разлома, по которому проходит северная граница Передового хребта Северного Кавказа и вдоль которого следует пояс ультрабазитов. Исследования П.В. Прокуронова, В.Б. Черницина показали золотоносность Северного разлома на всем протяжении структурно-металлогенической зоны Передового хребта.

Среди ультраосновных пород Беденского массива выделяются интенсивно серпентинизированные гарцбургиты, серпентиниты различного состава и их оталькованные или карбонатизированные разности с переходами к талькитам и лиственитам. Соотношение минералов, слагающих эти породы различны. Все они, как правило, асбестоносны, имеют массивную или сланцеватую текстуру, цвет их зеленый, темно-зеленый до черного, характеризуются разнообразием структур от реликтовой кристаллически-зернистой до петельчатой и лучистой. Основная ткань серпентинитов сложена хризотилом, слабополяризующим серпофитом и реже клинохлором (ядра решетки). Карбонаты магнезит или брейнерит, изредка отмечаются прожилки мощностью до 0,8 см с кристаллами гипса. На реке Бескес, среди апроперидотитовых серпентинитов, установлены шпирообразные участки желтовато-зеленого баститового серпентинита апопироксенитового генезиса. Серпентиниты, как правило, пронизаны сетью взаимно пересекающихся прожилков, составленных аллометасоматическим серпентинитом, бруситом, карбонатами, либо поперечно-волоконистым асбестом с волокнами длиной до 1 см. Контакты гипербазитов с вмещающими образованиями часто тектонически осложнены и сопровождаются наложенным оруденением, карбонатизацией, лиственитизацией и окварцеванием. Наиболее активно лиственитизация и рудная минерализация (сульфиды железа и никеля) проявляются вдоль южной тектонической границы Беденского массива, по балкам Грушовой и Никелевой. Характер контакта с гранитами по балке Мощевой показывает более древний возраст серпентинитов [Афанасьев, и др., 1971; Потапенко, Пруцкий, 1976]. В зоне контакта развиты ксенолиты флогопитизированных серпентинитов в гранитах и приконтактная флогопитизация ультрабазитов.

Кровля Беденского ультрабазитового массива в значительной степени подвержена доюрским эрозионным процессам и перекрывается терригенными песчаными комплексами нижней юры. Стратиграфическое несогласие сопровождается мощной зоной базальной коры выветривания, погребенной под плинсбахскими отложениями. Древняя кора выветривания и базальный горизонт залегают на размытой поверхности серпентинитов и имеют значительную переменную мощность (3,0-80 м) (рис. 3).



Рис. 3. Серпентинитовая конгло-брекчия. Верховья балки Мощевой, коры выветривания ультрабазитов на контакте с песчаниками нижней юры (контакт исследует А.А. Бурцев) / Fig. 3. Serpentinite conglobreccia. Upper reaches of Moshcheva ravine, weathering crust of ultrabasites at the contact with sandstones of the Lower Jurassic (the contact is investigated by A.A. Burtsev)

Химический состав Беденских ультрабазитов (табл. 1), при отсутствии глиноземистой составляющей, позволяет отнести их к альпинотипным разностям [Плошко, 1986].

Минералогическое изучение Беденского массива [Богуш и др., 2017; Плошко, 1986] не обнаружило в его пределах визуальных и микроскопических находок минералов платиновой группы. Минералы этой группы (платина, рутениридосмин) вместе с золотом найдены в аллювиальных отложениях рек Большой Лабы и Урупа, омывающих массив ультрабазитов [Богуш и др., 2016]. Эти пробы подтверждают перспективную рудоносность массива, и являются продуктами рудоносной коры выветривания Беденского массива, залегающей выше, на водоразделе [Богуш и др., 2016]. Исследования вещественного состава ультрабазитов показали близкое к кларковому содержание благородных металлов Au, Pt, Pd.

Таблица 1 / Table 1

Химический состав серпентинитов Беденского массива.

Данные: 1 – Е.А. Снежко, 2-4 – В.В. Плошко, 5-6 – Н.Д. Соболева / Chemical composition of serpentinites of the Beden massif. Data: 1 – E.A. Snezhko, 2-4 – V.V. Ploshko, 5-6 – N.D. Sobolev

Компоненты / Components	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	38,15	40,89	37,51	36,51	38,75	40,40
TiO ₂	0,03	0,02	0,05	–	–	0,09
Al ₂ O ₃	0,90	0,084	0,64	0,42	0,51	1,17
Fe ₂ O ₃	5,36	3,89	4,96	3,48	6,06	4,50
FeO	1,49	0,99	2,33	3,10	0,65	2,10
MnO	0,15	0,06	0,07	0,04	0,33	0,14
MgO	38,64	39,62	39,82	38,80	39,00	38,56
CaO	0,62	0,50	0,76	0,21	0,60	–
Na ₂ O	0,07	–	–	0,07	–	0,05
K ₂ O	0,03	–	–	–	–	0,11
П.п.п.	13,87					
Сумма / Sum	99,29	100,02	100,18	99,62	100,26	100,98
Cr ₂ O ₃	0,30	–	0,26	–	0,56	0,57
NiO	0,25	–	–	–	–	–
Количество проб / Number of samples	17	1	1	6	1	1

Исследования вещественного состава ультрабазитов показали близкое к кларковому содержание благородных металлов Au, Pt, Pd.

Малкинский ультрабазитовый массив

Малкинский ультрабазитовый массив наиболее изучен в настоящее время по причине его рудоносности и крупных размеров. Геологическое строение Малкинского массива наиболее полно отражено в монографии [Соболев, 1952] с использованием обобщающих работ [Герасимов, 1933; Сердюченко, 1935, 1949]. Далее в описание геологии и исторического развития массива использовались данные как выше приведенных авторов, так и поздние работы [Парады и др., 2011, 2018].

Серпентиниты Малкинского массива обнажены в ущелье реки Малки и ее притоках и вскрыты по вертикали на 500 метров. Выходы ультрабазитов вытянуты в субширотном направлении на 16 км, расширяясь по меридиану к западу и до 8 км выклиниваясь на восток в юрских отложениях в ущелье реки. Общая площадь эродированной поверхности массива, субгоризонтально перекрытой осадочными толщами юры и мела, достигает 510 км² [Богуш и др., 2016].

М.Ю. Маркин установил неоднородность Малкинского массива и выделил четыре разности ультраосновных пород: лерцолиты, апогарцбургиты, железистые апогарцбургиты и аподуниты.

Химический состав серпентинитов приведен в таблице 2. Анализируя химический состав Н.Д. Соболев отмечает исключительную «стерильность» ультрабазитов Малки, лишенных примесных элементов, чуждых ультрабазитовым породам.

Таблица 2 / Table 2

**Химический состав серпентинитов Малкинского массива /
Chemical composition of serpentinites of the Malkinsky massif**

Оксиды / Oxides	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	36,08	38,24	36,47	36,64	36,69	36,58	37,22
TiO ₂	Нет / No	Следы / Traces	Следы / Traces	Нет / No	Нет / No	Следы / Traces	Нет / No
Al ₂ O ₃	0,08	0,92	0,84	0,43	0,79	1,04	0,59
Cr ₂ O ₃	0,25	0,26	Следы / Traces	0,45	0,40	0,30	0,29
Fe ₂ O ₃	6,36	3,06	4,01	6,34	6,10	4,91	3,92
FeO	1,66	3,92	3,18	0,94	0,78	2,22	3,52
MnO	0,25	0,14	0,24	–	–	0,28	0,31
BaO	Нет / No	–	0,03	–	–	–	–
SrO	–	–	0,05	–	–	–	–
CaO	0,86	Следы / Traces	1,28	Нет / No	Нет / No	0,65	1,16
MgO	38,78	39,27	39,40	38,32	38,04	38,29	39,17
K ₂ O	–	0,03	0,3	–	–	Нет / No	Нет / No
Na ₂ O	–	–	0,07	0,08	0,10	0,13	–
P ₂ O ₅	–	–	0,03	–	–	Нет / No	–
CO ₂	Нет / No	0,56	–	–	–	–	–
H ₂ O+	14,19	11,96	–	–	–	14,14	11,88
H ₂ O-	0,90	1,14	0,87	1,77	2,27	1,08	1,02
П.п.п.	–	–	13,25	14,29	14,14	0,40	0,85
S	–	–	–	0,05	0,02	0,12	0,07
Сумма / Sum	99,40	99,43	99,92	99,58	99,60	100,14	100,30

Примечание: Анализы взяты из монографии Н.Д.Соболева [1952]. Анализы: 1 – Д.П. Сердюченко; 2 – Г.А. Крутова; 3 – А.П. Герасимова; 4-5 – С.И. Талдыкина; 6 – Н.Д. Соболева. / Note: The analyses are taken from the monograph by N.D. Sobolev [1952]. Analyses: 1 – D.P. Serdyuchenko; 2 – G.A. Krutov; 3 – A.P. Gerasimov; 4-5 – S.I. Taldykin; 6 – N.D. Sobolev.

Главным химическим элементом Малкинских серпентинитов выступает магний. Чистота химического состава и высокая магниальность Беденского (MgO = 38,56-39,83%) и Малкинского массива (MgO = 38,27-39,40%) позволяют рассматривать ультрабазиты в качестве промышленного химического сырья. Высоким содержанием магния отличаются ультрабазиты Большого Кавказа [Попов и др., 2021] и других регионов мира [Chai, Naldrett, 1992; Mungall, 2005]. Для серпентинитов показательно высокое содержание закисного и окисного железа, суммарно 7,5-8,0%. Столь же типоморфно присутствие марганца. Эти элементы легко окисляются в аэробной континентальной обстановке, а их оксиды легко разносятся водными потоками и дают специфические железисто-марганцовые осадки (анкериты, доломиты). Это обстоятельство послужило источником образования железных руд юрской коры выветривания ультрабазитов [Соболев, 1947; Цуладзе, 1951].

Благородные металлы и ультрабазиты

Геохимические исследования непосредственно серпентинитов в обнаженной части массива также не выявило аномальных содержаний платиноидов в самих серпентинитах (0,09 г/т) [Парада и др., 2011]. Аномально высокие содержания (Pt-0,272, Pd-0,116 г/т) были установлены лишь в двух пробах элювиально-делювиальных отложений серпентинитов [Плошко, 1986]. Эти результаты позволили сделать вывод о геохимических признаках платины Беденского массива ультрабазитов.

Наиболее ранние минералогические находки благородных металлов связаны с Беденским массивом ультрабазитов [Богуш и др., 2016]. Геохимические предпосылки потенциальной платиноносности ультрабазитов Северного Кавказа были показаны М.Ю. Маркиным [Парада и др., 2011] и С.Г. Парадой [Парада и др., 2011, 2014] на примерах Малкинского и Беденского серпентинитовых массивов в аномалиях продуктов их современного разрушения. Эти исследования подтвердили потенциальную первичную природу металлов в ультрабазитах [Богуш и др., 2016; Парада и др., 2011, 2014], при этом приоритетными продуцентами благородных металлов выделялись аподунитовые серпентиниты. Важным подтверждением потенциальной рудоносности ультрабазитов является наличие аномалий благородных металлов в экзогенных продуктах их разрушения. Фактическим доказательством благороднометалльной рудоносности ультрабазитов послужило открытие авторами рудоносной коры выветривания Беденского массива [Богуш и др., 2016].

Выводы

Рассматривая металлоносность ультрабазитов Северного Кавказа и их связь с благородными металлами можно сделать следующие выводы:

1) свежие, неизмененные серпентиниты в настоящее время не обнаруживают аномальные содержания благородных металлов, представляющих промышленный интерес;

2) насыщение серпентинитов благородными металлами проявляется при их экзогенной переработке в обогащенных продуктах их разрушения;

3) потенциально промышленными осадочными комплексами, состоящими из обогащенных продуктов разрушения серпентинитов, являются коры выветривания серпентинитов и осадочные черносланцевые толщи Северного Кавказа;

4) ультрабазитовая магма на Северном Кавказе послужила первичным глубинным источником благородных металлов в осадочных и метаморфогенных фанерозойских толщах Кавказа.

По функциональной принадлежности ультрабазитовая формация относится к рудогенерирующей (РГФ), рудообразующей (РОФ) и рудопрофилирующей (РПФ) формам. Коренные ультрабазиты не содержат в данный момент промышленно-ценных концентраций благородных металлов, но являются их первичным источником и донором на протяжении всего фанерозоя. Продукты экзогенного разрушения ультрабазитов (черносланцевые толщи и коры выветривания) обогащенные металлами образуют рудные объекты и аномальные скопления вторичных благородных металлов.

Литература

1. Афанасьев Г.Д., Карпушин В.М., Качурин В.Ф., Плошко В.В. Новые данные о геологии Беденского серпентинитового массива. (Сев. Кавказ). // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1971. – №7. – С. 3–25.
2. Безбородько Н.И. Змеевикový пояс, его хромитовые руды и прилегающие породы в Майкопском округе Кубанской области. // Изв. Дон. Политехн. ун-та. – 1913. – №2. Отд. 2. – С. 1–102.
3. Богуш И.А., Черкашин В.И., Рябов Г.В., Абдуллаев М.Ш. Новый тип оруденения благородных металлов на Северном Кавказе. // ДАН. – 2016. – Т. 466. №2. – С. 193–195.
4. Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И. Центры и прогнозные ресурсы благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе. // Кол. монография «Современные проблемы геологии геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». – Москва – 2017. – С. 20–32.
5. Герасимов А.П. К геологии Малкинского района. // Геология на фоне индустриализации. – 1933. – №7/9. – С. 24–26.
6. Каденский А.А. Магматическая геология Передового хребта Северо-Западного Кавказа – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 291 с.
7. Калганов М.И. Малкинское железорудное месторождение и перспективы его промышленного освоения. // Природные ресурсы Кабардинской АССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1946.
8. Кобилев А.Г. Серпентиниты бассейна р. Большой Лабы. // Изв. Новочеркас. Индустр. Ин-та. – 1939. – №5. – С. 41–48.
9. Курдюков А.А., Исаев В.С., Курдюкова З.И. Альпинотипные и базальтоидные гипербазиты Тырнауза. // Тез. докл. 5-й конф. по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. – Ессентуки. – 1980. – С. 97–98.
10. Медведкова А.А., Блинов Ю.И. К вопросу о геологии и петрохимии гипербазитов Тырнауза (Сев. Кавказ). // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1975. – №6. – С. 13–23.
11. Парада С.Г. Закономерности размещения цветных и благородных металлов в пределах Малкинского ультрабазитового массива (Кабардино-Балкарская республика). // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – Т. 8. №1. – С. 69–78.
12. Парада С.Г. Рудно-магматические системы медно-порфирового типа Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 129–147. DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011
13. Парада С.Г., Маркин М.Ю., Столяров В.В., Шишкалов И.Ю. Первые химикоаналитические данные о платиноносности Беденского серпентинитового массива (Карачаево-Черкесская Республика). // ДАН. – 2014. – Т. 454. №5. – С. 567–569.
14. Плошко В.В. Гипербазиты Карпато-Крымско-Кавказской складчатой области. – Киев: Наук. думка, 1986. – 192 с.
15. Попов Ю.В., Пустовит О.Е., Никулин А.Ю. Минеральный состав серпентинитов Кишинского массива (Большой Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. – С. 38–51.
16. Потапенко Ю.Я., Пруцкий Н.И. Офиолитовый конгломерат в среднем палеозое Передового хребта Северного Кавказа. // Докл. АН СССР, 1976. – Т. 228. №5. – С. 1179–1181.
17. Пэк А.В., Снежко Е.А. Особенности ультрабазитов Тырнауза. // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1980. – №10. – С. 46–55.
18. Сердюченко Д.П. Минералого-петрографический очерк серпентинитов р. Малки. Уч. Зап. – Ростов-на/Дону. – 1935. – Вып. 3.
19. Сердюченко Д.П. Дуниты Северного Кавказа. // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1949. – №6.
20. Соболев Н.Д. Ультрабазиты Большого Кавказа. – М. – 1952. – 239 с.

21. Соболев Н.Д. Новые данные по Малкинскому серпентинитовому массиву и железным рудам коры выветривания. // ДАН СССР, 1947. – Т.5. №7.
22. Снежко Е.А. Петрохимические типы ультрабазитов Северного Кавказа и их структурная позиция. // Рукопись деп. В ВИНТИ. – М.: ВИНТИ, 1985. – Деп. Рук. № 7884–85. – 162 с.
23. Цуладзе Е.Э. Результаты геологоразведочных работ на Малкинском месторождении. // СОПС АН СССР. – 1951.
24. Alapieti T.T. Classification of the fennoscandian early paleoproterozoic (2,5-2,4 Ga) layered intrusions and related PGE deposits. // *Platinum-group Elements – From Genesis to Beneficiation and Environmental Impact: Extended Abstr. Finland, Oulu, 2005.* – pp. 21–24.
25. Beaudoin G., Laurent R., Ohnenstetter D. First report of platinum-group minerals at Sue lake, Labrador Trough, Quebec. // *Canad. Mineral.* – 1990. – Vol. 28. – pp. 409–418.
26. Boudreau A.E., McCallum I.S. Investigations of the Stillwater complex: Part III. The Picket Pin Pt/Pd deposit. // *Economic Geology* – 1986. – Vol. 81. – pp. 1953-1975.
27. Campbell I.H., Naldrett A.J., Barnes S.-J. A model for the origin of platinum-rich sulphide horizons in the Bushveld and Stillwater complexes. // *Journal of Petrol.* – 1983. – Vol. 24. – pp. 133-165.
28. Chai G., Naldrett A.J. Petrology and geochemistry of the Jinchuan ultramafic intrusion: Cumulate of a high-Mg basaltic magma. // *Journal of Petrology.* – 1992. – Vol. 33. – pp. 1-27.
29. Mulja T., Mitchell R.H. Platinum-group minerals and tellurides from the Geordie Lake intrusion. Coldwell complex, northwestern Ontario. // *Canad. Mineral.* – 1990. – Vol. 28. – pp. 489-501.
30. Mungall J.E. Magmatic geochemistry of the platinum-group elements. // *Exploration for Platinum-Group Element Deposits. / Mineralogical Association of Canada.* – 2005. – Vol. 35. – pp. 1-34.
31. Naldrett A.J. Platinum-group element deposits. // *Platinum Group Elements: Mineralogy, Geology, Recovery. CIM S.V. 23. Montreal: Canad. Ins. of Mining and Metal.* – 1981. – pp. 197-231.
32. Naldrett A.J., Duke J.M. Platinum metals in magmatic sulfide ores. // *Science.* – 1980. – Vol. 208. No.4451. – pp. 1417-1428.

References

1. Afanasev G.D., Karpushin V.M., Kachurin V.F., Ploshko V.V. New data on the geology of the Beden serpentinite massif. (North Caucasus). *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. geol.* 1971. No.7. pp. 3–25. (In Russ.)
2. Bezborodko N.I. Serpentine belt, its chromite ores and adjacent rocks in the Maikop district of the Kuban region. *Izvestiya of the Don Polytechnic Institute.* 1913. No.2. Vol. 2. pp. 1–102. (In Russ.)
3. Bogush I.A., Cherkashin V.I., Ryabov G.V., Abdullaev M.Sh. A new type of mineralization of precious metals in the North Caucasus. *Doklady Earth Sciences.* 2016. Vol. 466. No. 2. pp. 193–195. (In Russ.)
4. Bogush I.A., Ryabov G.V., Cherkashin V.I. Centers and predicted resources of noble metals (Au, Pt, Pd) in the North Caucasus. *Monograph, Modern Problems of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus.* Moscow. 2017. pp. 20–32. (In Russ.)
5. Gerasimov A.P. The geology of the Malka region. *Geology against the background of industrialization.* 1933. No. 7. Issue 9. pp. 24–26. (In Russ.)
6. Kadensky A.A. Magmatic geology of the Peredovoi ridge of the North-West Caucasus. *Moscow. Academy of Sciences of the USSR,* 1956. 291 p. (In Russ.)
7. Kalganov M.I. Malka iron ore deposit and prospects for its industrial development. *Natural resources of the Kabardian ASSR. Moscow. Academy of Sciences of the USSR,* 1946. (In Russ.)

8. Kobilev A.G. Serpentinites of the Big Laba river basin. *Izvestiya of Novocherkask Industrial Institute*. 1939. No. 5. P. 41–48. (In Russ.)
9. Kurdyukov A.A., Isaev V.S., Kurdyukova Z.I. Alpine and basaltoid hyperbasites of Tyrnyauz. In: Abstracts. of 5th conf. on geology and minerals of the North Caucasus. Essentuki. 1980. pp. 97–98. (In Russ.)
10. Medvedkova A.A., Blinov Yu.I. On the issue of geology and petrochemistry of Tyrnyauz hyperbasites (North Caucasus). *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geol.* No. 6. pp. 13–23. (In Russ.)
11. Parada S.G. Densityregularities of colored and noble metals in the borders of the Malkin ultrabasic massive (Kabardino-Balkar Republic). *Geology and Geophysics of Russian South*, 2018. Vol. 8. No.1. pp. 69–78. (In Russ.)
12. Parada S. G. Ore-magmatic systems of the copper-porphyry type of the Greater Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.3. pp. 129-147. DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011 (in Russ.)
13. Parada S.G., Markin M.Yu., Stolyarov V.V., Shishkalov I.Yu. The first chemical analytical data on the platinum content of the Bedensk serpentinite massif (Karachay-Cherkess Republic). *Doklady Earth Sciences*. 2014. Vol. 454. No. 5. pp. 567–569. (In Russ.)
14. Ploshko V.V. *Hyperbasites of the Carpathian-Crimean-Caucasian fold area*. Kiev: Naukova dumka, 1986. 192 p. (In Russ.)
15. Popov Yu.V., Pustovit O.E., Nikulin A.Yu. Mineral composition of serpentinites of the Kishinskij protrusion (Greater Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.1. pp. 38–51. DOI: 10.46698/VNC.2021.91.98.004 (In Russ.)
16. Potapenko Yu.Ya., Prutskiy N.I. Ophiolite conglomerate in the Middle Paleozoic of the Peredovoi Ridge of the North Caucasus. *Doklady of the USSR Academy of Sciences*, 1976. Vol. 228. No. 5. pp. 1179-1181. (In Russ.)
17. Pek A.V., Snezhko E.A. Features of Tyrnyauz ultrabasic rocks. *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. geol.* 1980. No. 10. pp. 46–55. (In Russ.)
18. Serdyuchenko D.P. Mineralogical and petrographic sketch of serpentinites of the river Malka. *Proceedings. Rostov-on-Don*. 1935. Issue 3. (In Russ.)
19. Serdyuchenko D.P. Dunites of the North Caucasus. *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. geol.* 1949. No. 6. (In Russ.)
20. Sobolev N.D. *Ultrabasic rocks of the Greater Caucasus*. Moscow. 1952. 239 p. (In Russ.)
21. Sobolev N.D. New data on the Malka serpentinite massif and iron ores of the weathering crust. *Doklady of the USSR Academy of Sciences*, 1947. Vol. 5. No. 7. (In Russ.)
22. Snezhko E.A. Petrochemical types of ultrabasic rocks of the North Caucasus and their structural position. Deposited manuscript IN VINITI. Moscow. VINITI, 1985. No. 7884–85. 162 p. (In Russ.)
23. Tsuladze E.E. Exploration results at the Malkadeposit. *SOPS AS USSR*. 1951. (In Russ.)
24. Alapieti T.T. Classification of the fennoscandian early paleoproterozoic (2,5-2,4 Ga) layered intrusions and related PGE deposits. *Platinum-group Elements – From Genesis to Beneficiation and Environmental Impact: Extended Abstr. Finland, Oulu, 2005*. pp. 21-24.
25. Beaudoin G., Laurent R., Ohnenstetter D. First report of platinum-group minerals at Sue lake, Labrador Trough, Quebec. *Canad. Mineral*, 1990. Vol. 28. pp. 409–418.
26. Boudreau A.E., McCallum I.S. Investigations of the Stillwater complex: Part III. The Picket Pin Pt/Pd deposit. *Economic Geology*, 1986. Vol. 81. pp. 1953-1975.
27. Campbell I.H., Naldrett A.J., Barnes S.-J. A model for the origin of platinum-rich sulphide horizons in the Bushveld and Stillwater complexes. *Journal of*, 1983. Vol. 24. pp. 133-165.
28. Chai G., Naldrett A.J. Petrology and geochemistry of the Jinchuan ultramafic intrusion:

Cumulate of a high-Mg basaltic magma. *Journal of Petrology*, 1992. Vol. 33. pp. 1-27.

29. Mulja T., Mitchell R.H. Platinum-group minerals and tellurides from the Geordie Lake intrusion. Coldwell complex, northwestern Ontario. *Canad. Mineral*, 1990. Vol. 28. pp. 489-501.

30. Mungall J.E. Magmatic geochemistry of the platinum-group elements. *Exploration for Platinum-Group Element Deposits*. Mineralogical Association of Canada, 2005. Vol. 35. pp. 1-34.

31. Naldrett A.J. Platinum-group element deposits. *Platinum Group Elements: Mineralogy, Geology, Recovery*. CIM S.V. 23. Montreal: Canad. Ins. of Mining and Metal., 1981. pp. 197-231.

32. Naldrett A.J., Duke J.M. Platinum metals in magmatic sulfide ores. *Science*, 1980. Vol. 208. No.4451. pp. 1417-1428.