

РАССЛОЕННЫЕ УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВЫЕ ПЛУТОНЫ ХОПЕРСКОГО МЕГАБЛОКА ВКМ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ). ГЕОЛОГИЯ, СОСТАВ, ПРИРОДА МАГМАТИЧЕСКОГО РАСПЛАВА, ПЕРСПЕКТИВЫ РУДОНОСНОСТИ

Н. М. Чернышов, Е. М. Боброва, В. М. Остуднев

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 27 января 2017 г.

Аннотация: один из ведущих никелевых регионов России (в рамках ВКМ) характеризуется высоким нераскрытым минерогеническим потенциалом природных источников цветных, благородных и других металлов, сосредоточенных в крупных малоисследованных расслоенных ультрамафит-мафитовых плутонах.

На основе комплексных исследований их внутренней структуры и состава породных ассоциаций, ряда индикаторных минералого-петрографических, петрогеохимических, геохимических и рудно-геохимических признаков, а также новых данных по распределению всей совокупности петрогенных, рудообразующих, редких и редкоземельных элементов, отражающих специфику модельных никель-платиноносных, контаминированных по своей природе, рудообразующих систем бушвельдско-стиллуотерского типа, выполнена оценка перспективности сложнодифференцированных расслоенных плутонов Хоперского мегаблока ВКМ – Елань-Вязовского, Ширяевского и Липов Куст.

Сравнительный анализ показывает, что наиболее перспективным в решении проблемы наращивания минерально-сырьевой базы Ni, Cu, Co и платиноидов является Елань-Вязовский расслоенный ультрамафит-мафитовый плутон. Совокупность типовых модельных минералого-петрографических, петрогеохимических, геохимических и рудно-геохимических признаков свидетельствует о различной степени проявления процесса контаминации: сравнительно высокой – при формировании интрузива Липов Куст и лишь крайне незначительной – для Ширяевского плутона. Эти факторы определяют подход к оценке перспективности этих интрузий на цветные и благородные металлы.

Ключевые слова: минерогения, петрохимия, геохимия, цветные металлы, платиноиды, расслоенные плутоны, перспективность, Хоперский мегаблок, Воронежский кристаллический массив.

LAYERED ULTRABASIC-BASIC PLUTONES OF THE KHOPER MEGABLOCK OF THE VCM (CENTRAL RUSSIA). GEOLOGY, COMPOSITION, NATURE OF THE MAGMATIC MELT, PRODUCTIVITY PERSPECTIVES

Abstract: one of the main nickel regions of the Russia characterized by high undiscovered mineragenical potential of the natural sources of the non-ferrous, precious and other metal, that are concentrated in the large scantily explored layered ultrabasic-basic plutones.

Based on a complex research of their inner structure and composition of rock associations and on a variety of the mineralogical-petrographical, petrogeochemical, geochemical and ore-geochemical attributes as well as on the new data on the distribution of the whole range of petrogenic, ore-forming, rare and rare earth elements that are characterizing the specifics of the model nickel-platinum-bearing contaminated bushveld-stillwater-type ore-forming systems, the evaluation of the prospects of the complex-differentiated layered plutones of the Koper megablock of the VCM (Elan-Vyazovsky, Shiryayevsky and Lipov Kust) are given.

Comparative analysis are showing that Elan-Vyazovsky layered ultrabasic-basic plutone are the most promising for the solution of the problem of increasing of the Ni-Co-Cu and PGE mineral resources. Complex of the typical model mineralogical-petrographical, petrogeochemical, geochemical and ore-geochemical attributes shows varying degrees of contamination: high for the Lipov Kust intrusion, and relatively high – for Shiryayevsky plutone. These factors determine the approach to evaluating the prospects of these intrusions on non-ferrous and precious metals.

Keywords: minerageny, petrochemistry, geochemistry, non-ferrous metals, PGE, layered plutones, prospects, Koper megablock, Voronezh crystalline massif.

Центральный регион России, в рамках Воронежского кристаллического массива (ВКМ) – крупного (600x 1000 км) сегмента Восточно-Европейской платформы (ВЕП), включающего разнотипные по геодинамическим режимам Курский и Хопёрский мегаблоки и разделяющую их Лосевскую шовную зону (ЛШЗ) со сложным характером взаимодействия двух важнейших компонентов древнего основания ВЕП (Сарматия, Волго-Урاليا; рис. 1), характеризуется высоким нераскрытым минерагеническим потенциалом природных источников цветных, благородных и других металлов. В настоящее время ВКМ стал одним из ведущих никелевых регионов России с первоочередными объектами предстоящей добычи цветных (Ni, Cu, Co) и благородных (платиноиды, Au) металлов, сосредоточенных в двух наиболее важных в промышленном отношении типах сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений [1, 2]: а) мамонский (Нижнемамонское, Подколдновское, Юбилейное месторождения и свыше 30 разномасштабных проявлений), ассоциирующий с дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой (возраст 2100-2080±14 млн лет); б) еланский (Еланское, Ёлкинское месторождения и около 20 рудопроявлений), генетически связанный с многофазной субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой (2065-2050±14 млн лет) формациями рассеянного спрединга и реактивизированных структур Хопёрского мегаблока ВКМ (рис. 2).

Из этих двух, в различной степени разведанных промышленно-генетических типов, целиком располагающихся в пределах Воронежской области, в качестве первоочередного объекта освоения представляют значительные по запасам и ресурсам высоконикелистые медисто-кобальтовые руды Еланского и Ёлкинского месторождений [1, 5]

Несмотря на более чем полувековую историю изучения никеленосных ультрамафит-мафитовых формаций, ряд проблем петрологии и минерагении крупного Хоперского мегаблока ВЕП, до сих пор, остаются малоисследованными.

В первую очередь, это касается сравнительно крупных и в разной мере расслоенных ультрама-

фит-мафитовых плутонов, к числу которых относятся Елань-Вязовский, Липов Куст, Ширяевский и др. [6-10].

Спецификой РМС расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексов, связанных с особым этапом развития земной коры докембрия (определяемым как «протоактивизация»), является наличие в одной и той же интрузии (плутоне) нескольких различных по морфологии и вещественному составу рудных тел разнотипных месторождений. Последние контролируются в целом расслоенностью (стратиформный тип) при ограниченной роли не связанных с их структурой залежей и секущих "дайковых тел". По составу стратифицированные месторождения представлены сульфидными платиноидно-медно-никелевыми, мало-сульфидными платинометалльными, хромитовыми и титаномагнетитовыми с характерными для каждого из них минеральными парагенезисами.

Примером таких уникальных полиминеральных и полиэлементных рудообразующих систем являются Бушвельд (ЮАР), Стиллуотер (США), Великая Дайка (Зимбабве), с которыми связаны крупные (свыше 90 % мировых ресурсов) месторождения ЭПГ, а также Мончегорский, Федорово-Панский и Олангская группа (Россия), Пенникат, Порtimo (Финляндия) и ряд других расслоенных комплексов [9, 11-13].

Определяющими признаками бушвельдско-стилуотерского типа РМС являются: 1) принадлежность к умеренномагнезиальной (MgO=10–25 мас. %, варьируется от 1,5 до 40 мас. %) перидотит(±дунит)-пироксенит-габбронорит-норит(±анортозит)-габбровой формации; 2) присущая многоциклическая (расслоенная) внутренняя структура интрузивов; 3) многоуровневый (до 5–7 горизонтов, включая рифы) характер и многообразие уникальных по содержанию ЭПГ, запасам и ресурсам минералого-геохимических типов платиноносных месторождений с различным уровнем концентрации и меняющимися взаимоотношениями в ряду платиноидов; 4) локализация руд в верхних и нижних уровнях мегациклических тел при смене кумулатов (±Ol→Ol+Orх→Orх→Orх+Pl→Pl±Orх→Orх+Mrх+Pl→Crх+Pl) с четко выраженным анортозитовым платиноносным трендом [10].

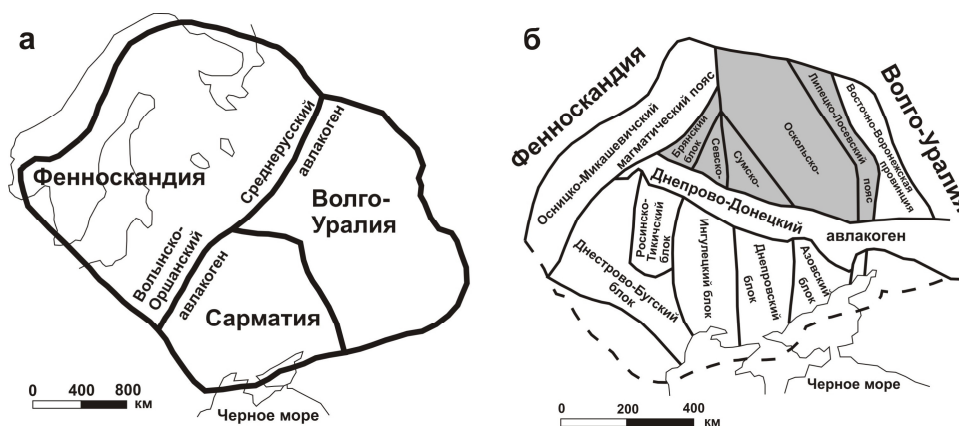


Рис. 1. а – три кристаллических сегмента Восточно-Европейского кратона [3]; б – кристаллические домены Сарматии [3, 4]. Воронежский кристаллический массив (ВКМ) выделен темным цветом.

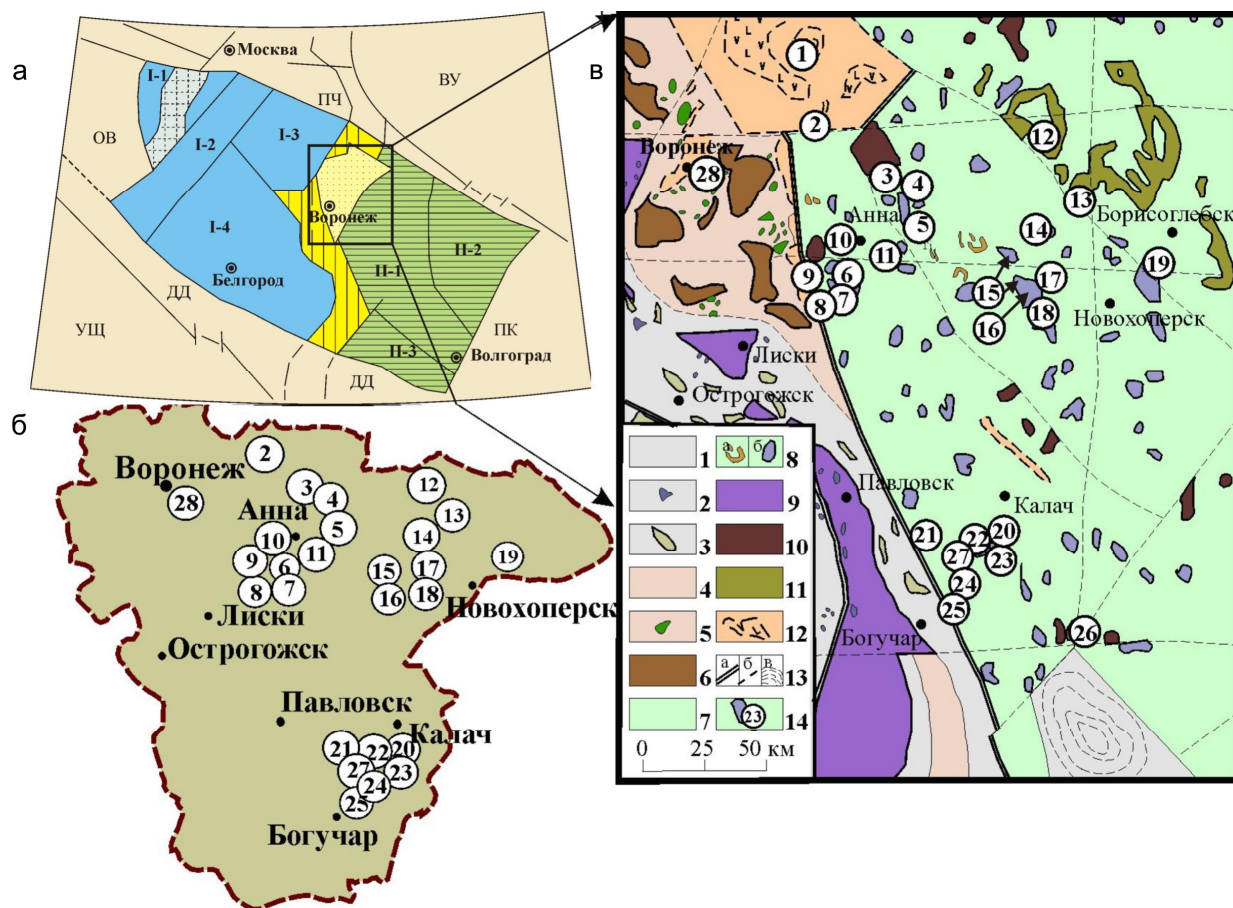


Рис. 2. Схема структурно-формационного районирования ВКМ (а) и размещение сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений и рудопроявлений мамонского и еланского типов на прогнозно-минералогической карте платино-металльного и золото-платинометалльного оруденения докембрия Воронежского кристаллического массива в рамках Хоперского мегаблока (б) и Воронежской области (в): а: I – мегаблок КМА, II – Хоперский мегаблок, III – Лосевская шовная зона, IV – Ольховско-Шукавская грабенсинклиналь; б: 1 – обоянский гранулит-мигматит-гнейсовый комплекс (AR₁ob); 2 – белогорьевский комплекс базит-гипербазитов (AR₂bg); 3 – михайловская осадочно-вулканогенная (коматитит-базальтовая и базальт-риодацитовая) серия (AR₂mh); 4 – лосевская базальт-риолитовая серия (AR-K₁ls); 5 – габброиды рождественского комплекса (K₁r); 6 – усманский комплекс тоналит-плагиогранитов (K₁us); 7 – воронцовская углеродисто-терригенно-сланцевая серия (K₁vc); 8 – трахибазальтовая (K₂rp – панинская толща), сиенитовая и щелочно-сиенитовая (K₂ag – артюшковский комплекс) формации; еланский и мамонский комплексы базит-гипербазитов (K₁e, K₁m); 9 – мигматит-гранит-граносиениты павловского комплекса (K₁p); 10 – субщелочные граниты бобровского комплекса; 11 – траппы новогольского комплекса (K₂n); 12 – вулканогенно-осадочная формация (K₁vg – воронежская свита); верлит-габбровая (K₁sk – шукавский комплекс) и габбронорит-кварцмонзонит-гранитная формации (K₁ol – ольховский комплекс); 13: а – региональные глубинные разломы, б – разрывные нарушения, в – купольные структуры; 14 – месторождения, рудопроявления и потенциально перспективные участки; в: 1 – Ольховский; 2 – Шукавский; 3 – Садовский; 4 – Восточно-Садовский; 5 – Моховской; 6 – Шишовский; 7 – Астаховский; 8 – Песковатский; 9 – Икорецкий; 10 – Рябиновско-Большемартыновский; 11 – Анненский; 12 – Новогольский; 13 – Жердевский; 14 – Троицкий; 15 – Елань-Коленовский и Вязовский; 16 – Центральный; 17 – Еланский; 18 – Елkinский; 19 – Уваровский; 20 – Ширяевский; 21 – Мамонский; 22 – Артюховский; 23 – Бычковский; 24 – Юбилейный; 25 – Подколodновский; 26 – Пионерский (Липов Куст); 27 – Сухой Яр; 28 – Воронежский.

Совместное проявление нескольких минералогическо-геохимических типов и подтипов платиносодержащих руд определяет многокомпонентный, полиминеральный состав и многообразие форм распределения минеральных фаз цветных, благородных и других металлов. Уникальность РМС расслоенных комплексов определяется природой их магматических расплавов, условиями и механизмами их формирования.

В настоящее время нет единого подхода к оценке генетических аспектов процессов становления этого типа РМС. В их решении определяющая роль принад-

лежит трем конкурирующим концепциям [10]: а) базирующаяся на известном представлении Н. А. Боуэна, модель кристаллизации и дифференциации базальтовой магмы в камере в процессе охлаждения плутона в условиях конвекционных явлений; б) периодические поступления (инъекции) новых порций расплавов в интрузивную камеру в условиях протекающей кристаллизационной дифференциации, осложняемой смешением различных по составу магм [11, 14-16]; в) ликвационная концепция флюидно-магматического расслоения, как главного механизма

образования ритмично расслоенных плутонов.

Неоднозначны и представления о составе расплавов, родоначальных для ультрамафит-мафитовых расслоенных плутонов, которые рассматриваются в качестве: а) производных бонинитоподобных магм [17] и б) продуктов ассимиляции корового материала частично дифференцированным расплавом, соответствующим перидотитовым коматитам и приводящим к образованию рудоносных магм, сходных по петрохимическим параметрам с платиноносными РМС бушвельдско-стиллиуотерского типа [10, 17, 18, 19]

При всем многообразии концептуальных подходов, в совокупности, они отражают, по-существу, сложную генетически многокомпонентную природу исходных магматических расплавов, условий и механизмов формирования платиноносных РМС расслоенных комплексов, что отчетливо прослеживается в специфике их места в общей эволюции становления докембрийской литосферы, в особенностях их внутреннего строения при отчетливой смене в разной мере контаминированного ультрамафитового расплава толеитовым, при неоднократной инъекции в полициклически кристаллизующуюся систему, в смене кумулюсных минеральных парагенезисов и ряда специфических критериев (петрохимических, рудно-геохимических, геохимических) выделения контаминированных магматических образований бушвельдско-стиллиуотерского типа плутонов [10-12, 20, 21].

Их минералого-петрохимический облик определяется [1, 9, 10, 11, 18, 20, 22, 23] несоответствием между повышенными содержаниями MgO и повышенными концентрациями SiO₂, K₂O, повышенной известковистостью, высокими величинами соотношений MgO/CaO, SiO₂/CaO, MgO/FeO. Одним из ведущих минералогических критериев выступает наличие высокомагнезиального оливина и ортопироксена, который, вследствие повышенной кремнеземистости, первым появляется на ликвидусе кристаллизующегося контаминированного расплава. Повышенные концентрации SiO₂ и K₂O определяют появление в контаминированных ультрамафит-мафитовых породах кварца и калишпата, флогопита.

Важнейшим геохимическим критерием РМС расслоенных комплексов является преобладание крупноионных литофильных элементов (K, Rb, Ba, легкие РЗЭ) над элементами с высокими зарядами (Zr, Y, Nb, Ta, тяжелые РЗЭ) и, как следствие, высокие величины отношений Ce/Yb, Ce/Nb, Ba/Zr и пониженные – Zr/Rb, Ti/Cr, Ti/Rb, высокие величины отношений ¹⁸O/¹⁶O ($\delta^{18}\text{O} > 60 \text{ ‰}$) и ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ($\epsilon_{\text{Sr}} > 0$) и низкие – ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd ($\epsilon_{\text{Nd}} < 0$).

Комплекс этих признаков, в более полном варианте детально освещенный в ряде авторских публикаций [7-10, 20] и существенно дополненный новыми аналитическими данными, был положен в качестве определяющих критериев выделения расслоенных ультрамафит-мафитовых интрузивов в пределах Хоперского мегаблока ВКМ и оценки их перспективности на цветные и благородные металлы. Среди них особый интерес

представляют Елань-Вязовский и Липов Куст в составе никель-платиноносной дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой формации внутриконтинентального рифтинга (мамонский комплекс), сформировавшийся в характерных, по-существу, для всех упомянутых ранее платиноносных расслоенных ультрамафит-мафитовых плутонов бушвельдско-стиллиуотерского типа, условиях особого геодинамического этапа – «протоактивизации» – развития земной коры.

Сложнодифференцированный Елань-Вязовский плутон включает два пространственно сближенных и, по геологическим данным, вероятно, имеющих общий магматический источник, интрузива – Вязовский (80 км²) и Елань-Коленовский (120 км²), которые приурочены к раннепротерозойской углеродсодержащей воронцовской серии в пределах Волгоградско-Чернышевской реактивизированной неоархейской зеленокаменной структуры Хоперского мегаблока (см. рис. 2). Формирование каждого из них происходило за счет периодических поступлений новых порций расплавов в самостоятельные магматические камеры, о чем свидетельствуют неустойчивости кумулятивной стратификации (расслоенности), несистемное положение в разрезе породных ассоциаций, появление высокотемпературных кумулятов в качестве своеобразных «ксенолитов» (дунитов, перидотитов), ранее относимых к ультрамафитам мамонского структурно-вещественного типа интрузивов, несколько предшествующих становлению расслоенного плутона [1, 7, 8].

Внутренняя структура каждого из этих интрузивов определяется масштабами проявления и характером распределения породных ассоциаций двух, последовательно сменяющихся во времени фаз [1]: а) ранней ультрамафит-мафитовой (см. рис. 4) и б) поздней мафитовой. Их детальная минералого-петрографическая характеристика представлена в ряде публикаций [1, 9, 10, 25]. В совокупности они определяют расслоенный характер плутона с отчетливо выраженной последовательной сменой в разрезе зон, среди которых выделяются [1, 7, 25]: 1) нижняя, включающая контактовую (маргинальную) и расслоенную ультрамафит-мафитовую; 2) средняя существенно мафитовая; 3) промежуточная, являющаяся контрастным рубежом между центральной и верхней зонами с многократно ритмично переслаивающимися породами ультраосновного и основного состава; 4) верхняя, несущая специфические признаки, определяющиеся преимущественным развитием в ее составе водо-флюидосодержащих минералов. Сингенетический ряд пород ранней стадии консолидации Елань-Вязовского плутона включает плагиоперидотиты (оливиниты) плагиоклаз- и пироксенсодержащие, оливин-плагиоклазовые вебстериты, троктолиты и количественно преобладающие в разной мере обогащенные оливином и ортоклазом габбронориты, реже отмечаются оливинсодержащие монцогаббронориты. В целом для ритмично-расслоенной серии этой фазы становления плутона характерна последовательная сменяемость в вертикальном разрезе ассоциаций кумулятов с постепенным уменьшением

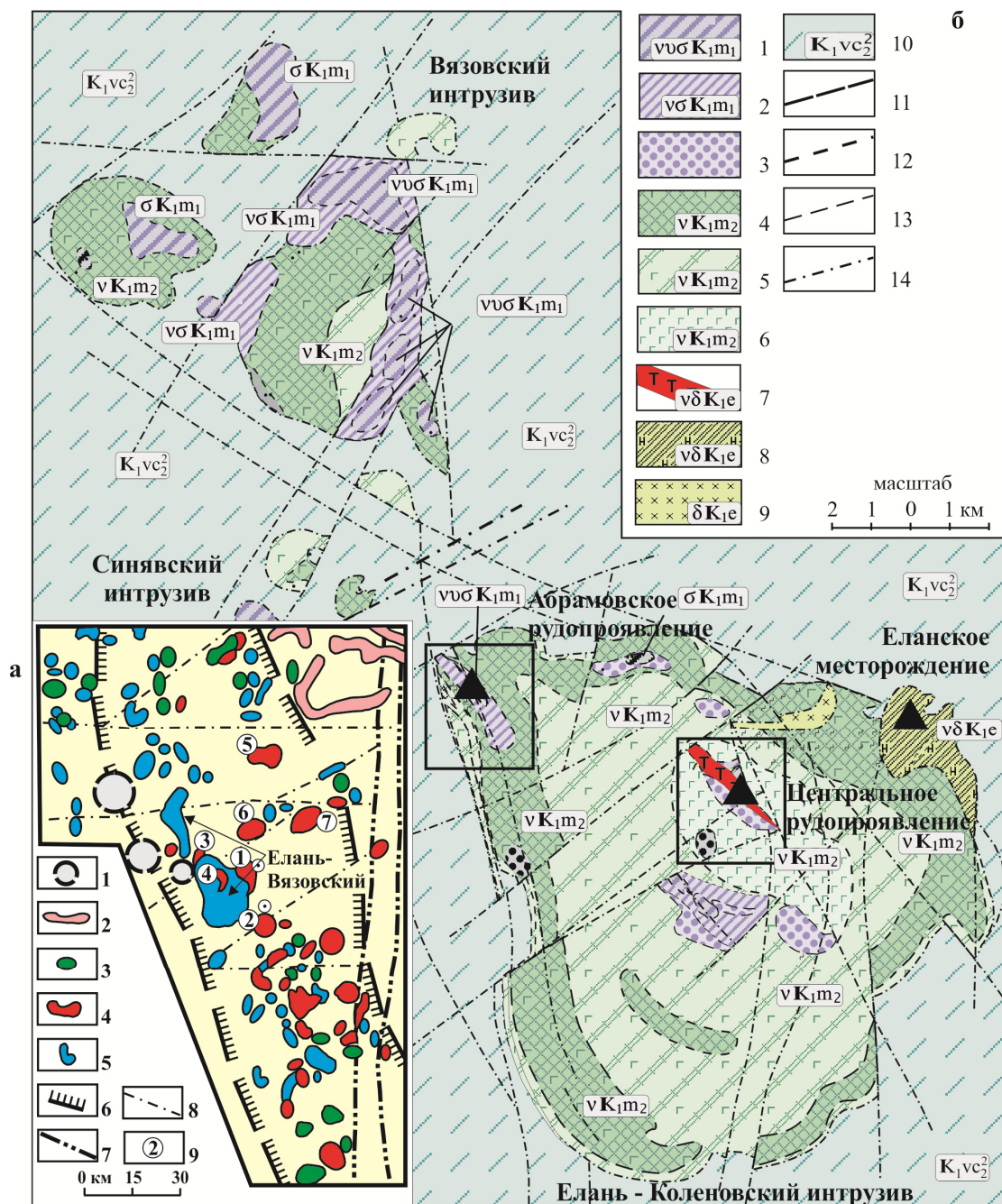


Рис. 3. Положение Елань-Вязовского плутона (а) и сульфидных медно-никелевых месторождений еланского типа в структуре геолого-тектонической схемы Хоперского блока ВКМ, схема геологического строения Елань-Вязовского массива (б; по [1]): а) 1 – кольцевые интрузии и “рои” даек сиенитов и сиенит-порфиров артюшкинского комплекса; 2 – интрузии новогольского габбро-долеритового комплекса; 3 – нормальные и субщелочные гранитоиды бобровского комплекса; 4 – норит-диоритовые субвулканические тела еланского комплекса; 5 – мафит-ультрамафитовые интрузии мамонского комплекса; 6 – западная и восточная границы Тамбовско-Чернышевской зоны в пределах Еланского рудного района; 7 – Новохоперская зона глубинных разломов, контролирующая проявления девонского траппового магматизма; 8 – разновозрастные разрывные нарушения более высоких порядков; 9 – сульфидные медно-никелевые месторождения (1 – Еланское, 2 – Елкинское) и рудопроявления (3 – Абрамовское, 4 – Центральное, 5 – Листопадовское, 6 – Новопокровское, 7 – Новотроицкое) еланского типа; б): 1-2 – ультрамафит-мафитовые породы кумулятивной серии I интрузивной фазы: 1 – ритмичнорасслоенные серии перидотит-пироксенит-меланократовый габбронорит (троктолит) – габбронорит; 2 – чередование троктолитов и оливиновых габброноритов с редкими слоями перидотитов; 3 – ультрамафиты мамонского типа интрузий; 4-6 – мафитовые породы дифференцированной серии габброноритов II интрузивной фазы: 4 – оливиновые и оливин-ортоклазовые габбронориты, 5 – биотит-амфиболовый габбронорит, 6 – биотит-амфиболовый габбронорит и биотитовое габбро, 7 – ортопироксениты; 8 – нориты и 9 – диориты еланского комплекса; 10 – метапесчаники воронцовской серии, 11-13 – контакты интрузивных пород: 11 – интрузивные контакты с вмещающими метапесчаниками воронцовской серии, 12 – межфазовые интрузивные контакты, 13 – постепенные петрографические границы, 14 – тектонические разрывные нарушения.

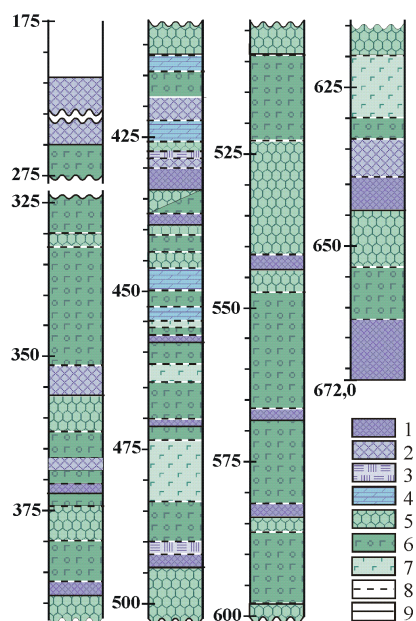


Рис. 4. Разрез кумулятивной серии первой интрузивной фазы Елань-Вязовского массива (скв. № 7623; Вязовский интрузив; по [8]): 1 – перидотиты (±оливиниты); 2 – флогопитовые перидотиты; 3 – плагиоперидотиты; 4 – пироксениты оливиновые (вебстериты); 5 – троктолиты; 6 – габбронориты оливиновые; 7 – габбронориты; 8 – постепенный петрографический контакт; 9 – контрастный петрографический контакт.

доли оливина и пироксенов и увеличением плагиоклаза [1, 9].

Отчетливо дифференцированная мафитовая породная ассоциация второй фазы представлена оливиновыми и оливин-ортоклазовыми габброноритами, оливинсодержащими и безоливиновыми биотит-амфиболовыми габброноритами, амфиболовыми и биотит-амфиболовыми габбро, а также роговообманковыми пироксенитами-вебстеритами и пироксеновыми горнблендитами. Обогащение биотитом и роговой обманкой габбро центральной части Елань-Коленовского плутона является закономерным результатом завершающей стадии кристаллизации фронта затвердевания от периферии к центру с накоплением в остаточном расплаве флюидного компонента [9]. Более

позднее формирование этой ассоциации подтверждается присутствием среди них ксенолитов и разномаштабных «реликтовых» участков пород ранней фазы плагиоперидотитов, вебстеритов, оливиновых и оливин-ортоклазовых габброноритов), наличием реакционных зон оталькования.

Петролого-геохимический облик ультрамафит-мафитового Елань-Вязовского плутона отличается: 1) существенным преобладанием мафитовых дифференциатов (> 80 об. %) над плагиоклазовыми ультрамафитами с кумулятивными структурами; 2) высокомагнезиальным составом оливина и ортопироксена при значительных вариациях основности плагиоклаза; 3) повышенной кремнекислотностью (табл. 1) при повышенной концентрации MgO, а также титана. Особенность пород заключается в обогащенности их K₂O (при отсутствии щелочных пироксенов и амфиболов). Содержание K₂O в ультрамафитах достигает 1 %, в мафитах ~4 %, при этом Na₂O незначительно доминирует над K₂O со средним отношением Na₂O/K₂O=1,3. Ранняя оливинсодержащая ассоциация характеризуется: а) последовательным обогащением конечных продуктов дифференциации кремнекислотой (SiO₂ = 41,5–55,0 мас. %) и щелочами (0,8–8,1 мас. %; с преобладанием в конечных продуктах K₂O над Na₂O), возрастанием титана (TiO₂ = 0,2–0,8 мас. %), относительной железистости с понижением общей основности, содержания магния (MgO = 27,0–6,8 мас. %) и хрома (0,2–0,5 мас. %), уменьшением концентрации Ni (0,2–0,1 мас. %), Co (0,020–0,002 мас. %), Cu (0,10–0,03 мас. %); б) увеличением железистости феррических минералов и содержания ортоклаза от меланократовых к мезо- и лейкократовым разновидностям габброноритов. Породы поздней, существенно роговообманковой ассоциации отличаются сравнительно стабильной кремнекислотностью (SiO₂ = 45–49 мас. %) и невысокой в целом магнезиальностью (8 < MgO < 20 мас. %), последовательно возрастающей ролью щелочей (1,8–5,3 мас. %) и собственно калия (Na₂O ≥ K₂O), P₂O₅ (0,3–0,8 мас. %), пониженными содержаниями рудообразующих элементов (Ni = 0,20–0,10 мас. %; Cu = 0,06–0,02 %; Co = 0,012–0,004 %; S = 0,10–0,06 %; Cr = 0,30–0,10 %).

| | Серия | Зона | Разрез | Обобщенная характеристика состава зон |
|--------------------|---|-------------------------|--------|--|
| Поздняя ассоциация | Амфибол-биотит-содержащая габброперидотитовая | Верхняя (500-1200 м) | | Биотитовые габбронориты, обогащенные апатитом с многочисленными шпироподобными обособлениями (от 0,3 до 1 м и более) биотитовых пироксенитов, биотитовых слюдитов и ортопироксенитов |
| | | Промежуточная (0-500 м) | | Ассоциация роговообманковых пород с многократным чередованием пироксеновых и плагиоклазовых горнблендитов (прослои 10-25 м), роговообманковых пироксенитов (максимально до 20-100 м), роговообманкового габбро |
| | Ультрамафит-мафитовая | 0-500 м | | Ритмичное чередование оливиновых вебстеритов, "пластов" (30 м) плагиоперидотитов с оливинсодержащими и безоливиновыми габброноритами |
| Ранняя ассоциация | Оливиноклаз-содержащая габброперидотитовая | Средняя (800-2500 м) | | Преобладают безоливиновые габбронориты, среди которых выделяются оливин- и ортоклазсодержащие разновидности и габбронориты с кумулюсным плагиоклазом, а также плагиопироксенитовые маломощные прослои. Участками отмечаются лейкократовые пегматоидные безоливиновые габбронориты, сингенетичные оливиновые и безоливиновые нориты |
| | Ультрамафит-мафитовая | Нижняя (500-1500 м) | | Преобладают оливин-ортоклазовые габбронориты, участками до оливиновых монцититов. Горизонты или слои гравитационно-кристаллизационного осаднения оливина различные по мощности представлены плагиодунитами (до 10 м), плагиоперидотитами (от 10 до 40 м), троктолитами (15-25 м), оливиновыми плагиопироксенитами (20-50 м) |

Рис. 5. Модель внутреннего строения дифференцированного Елань-Вязовского типа плутона (по [24, 25] с дополнениями).

Средние химические составы (мас. %) пород сложнодифференцированного Елань-Вязовского плутона (по [1, 25, 26])

| Компонент | Породы I фазы | | | | | | Породы II фазы | | | |
|--------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|--------|--------|---------|
| | 1 (20) | 2 (21) | 3 (11) | 4 (17) | 5 (25) | 6 (14) | 7 (14) | 8 (65) | 9 (42) | 10 (16) |
| SiO ₂ | 42,96 | 48,17 | 45,10 | 45,52 | 48,58 | 48,11 | 52,37 | 53,68 | 53,40 | 54,18 |
| TiO ₂ | 0,48 | 0,53 | 0,66 | 0,83 | 1,11 | 0,47 | 0,97 | 0,89 | 0,87 | 0,80 |
| Al ₂ O ₃ | 4,18 | 9,18 | 10,03 | 8,87 | 12,80 | 8,73 | 14,13 | 14,68 | 14,00 | 13,82 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,36 | 3,14 | 2,34 | 2,77 | 1,83 | 3,34 | 2,58 | 2,11 | 2,99 | 2,12 |
| FeO | 9,94 | 7,72 | 6,38 | 8,67 | 7,47 | 8,45 | 6,06 | 5,36 | 5,35 | 5,29 |
| MnO | 0,18 | 0,11 | 0,11 | 0,08 | 0,07 | 0,15 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 0,06 |
| MgO | 27,46 | 19,99 | 20,37 | 18,42 | 12,07 | 18,79 | 9,75 | 8,58 | 8,91 | 8,67 |
| CaO | 5,12 | 6,70 | 6,27 | 6,95 | 7,93 | 8,62 | 5,99 | 5,64 | 6,08 | 5,48 |
| Na ₂ O | 0,58 | 1,49 | 1,56 | 1,18 | 2,29 | 1,52 | 3,29 | 3,37 | 3,05 | 2,92 |
| K ₂ O | 0,53 | 1,02 | 1,12 | 0,96 | 1,71 | 1,17 | 3,40 | 3,87 | 3,42 | 3,84 |
| P ₂ O ₅ | 0,21 | 0,19 | 0,39 | 0,33 | 0,45 | 0,47 | 0,53 | 0,54 | 1,08 | 2,04 |
| SO ₃ | 2,08 | 0,21 | 0,27 | 2,45 | 0,54 | 0,02 | 0,47 | 0,65 | 0,35 | 0,43 |
| CO ₂ | 0,16 | 0,36 | 0,25 | 0,78 | 0,18 | 0,51 | 0,15 | 0,05 | 0,21 | 0,12 |
| ппп | 0,40 | 0,11 | 0,97 | 0,79 | 0,23 | 1,64 | 0,21 | 0,32 | 0,28 | 0,16 |
| Сумма | 99,64 | 98,92 | 95,82 | 98,60 | 97,26 | 101,99 | 99,95 | 99,82 | 100,06 | 99,93 |
| MgO/CaO | 5,36 | 2,98 | 3,25 | 2,65 | 1,52 | 2,18 | 1,63 | 1,52 | 1,47 | 1,58 |
| SiO ₂ /CaO | 8,39 | 7,19 | 7,19 | 6,55 | 6,13 | 5,58 | 8,74 | 9,52 | 8,78 | 9,89 |
| MgO/FeO | 1,79 | 1,84 | 2,34 | 1,61 | 1,30 | 1,59 | 1,13 | 1,15 | 1,07 | 1,17 |

Примечания: 1 – перидотиты; 2 – оливиновые меланократовые габбронориты; 3 – троктолиты; 4 – пироксениты; 5 – биотит-роговообманковые габбронориты; 6 – вебстериты; 7 – оливиновые габбронориты; 8 – габбронориты оливин-, ортоклазсо-держащие; 9 – габбронориты; 10 – габбро амфиболовое. В скобках – количество анализов.

По ряду признаков: а) минералогических (высокая степень структурно-текстурной и кристалломорфологической неоднородности минералов, отсутствие строго выдержанной линейной зависимости и существенный разрыв в распределении железистости со-существующих оливина и ортопироксена при общей сравнительно повышенной их магнезиальности, сравнительно широкое развитие ортоклаза (\pm кварц, биотит), специфический комплекс акцессорных минералов); б) петрохимических (несколько повышенная кремнекислотность при повышенной и умеренной роли MgO, повышенная концентрация Sr, характерная для флюидонасыщенных магм, повышенная роль калия и фосфора, сходные с контаминированными ультрамафит-мафитовыми расплавами величины отношений главных петрогенных компонентов – MgO/CaO, SiO₂/CaO, MgO/FeO); Елань-Вязовский плутон обнаруживает значительные черты сходства с контаминированными петротипами (Бушвельд, Стиллиуотер и др.), которые, как отмечалось, характеризуются высокой степенью продуктивности на руды цветных и благородных металлов [1, 7, 8].

Анализ содержаний редкоземельных элементов (РЗЭ), являющихся высокочувствительными геохимическими индикаторами магматических процессов, в породах исследуемого плутона позволяет сделать выводы об их принадлежности к образованиям с различной степенью дифференциации магматического вещества и влиянием процессов ассимиляции пород континентальной коры. Дифференциации Елань-Вязовского плутона характеризуются (табл. 2) положительным спектром распределения РЗЭ (рис. 6) со

значительным обогащением легкими относительно тяжелых ((Ce/Yb)_N в среднем более 6,5, за исключением амфиболитизированных разновидностей).

Высокие значения (La/Yb)_n и (Ce/Yb)_n (табл. 2) могут свидетельствовать о вхождении в первичный расплав пород материала коры. Значение отношения Eu/Eu* подразделяет [27] породы Елань-Коленовского массива на два типа: имеющие показатель на уровне 0,4 – 0,6 (т.е. отрицательная аномалия) и на уровне 0,7 – 1,2 (т.е. близкий к единице). Это свидетельствует об интенсивном процессе фракционирования (уходе в остаточную фазу) плагиоклаза в случае пород 1-ой группы («ранняя породная ассоциация») и гораздо слабее проявленном у пород 2-ой группы («поздняя породная ассоциация»). Для пород Елань-Вязовского массива характерны повышенные отношения: 1) Ва/Th (83 – 628 (в среднем порядка 100 – 200), за исключением амфиболитизированных и высокомагнезиальных пород); 2) U/Th – 0,3 – 0,6; 3) Cs/Th – 0,3 – 1,4, и обогащение крупноионными литофильными элементами (Rb, Ва, К, La, Се), что указывает на флюидное насыщение магматического расплава. Вышеперечисленные критерии указывают на корово-мантийную природу исходных расплавов Елань-Вязовского плутона, подтверждая его сходство с контаминированными по своей природе рудообразующими системами бушвельдско-стиллиуотерского типа.

В известной мере, подобное внутреннее строение, состав породных ассоциаций и их положение в разрезе характерно и для достаточно крупного (свыше 60 км²) расслоенного интрузива Липов Куст (рис. 7), включающего различные по мощности зоны: 1) нижняя

Таблица 2

Геохимическая характеристика расслоенных плутонов

| Компоненты | Массив Липов куст | | | Елань-Вязовский плутон | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------|--------|---------|------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Cs | 18,62 | 3,19 | 0,85 | 3,4 | 3,2 | 2,3 | 0,49 | 0,17 | 0,74 | 0,33 | 0,85 | 0,46 | 2,5 |
| Rb | 29,96 | 5,95 | 1,61 | 43,9 | 81,1 | 59,4 | 4,8 | 1,7 | 37,4 | 15,5 | 28,6 | 23,4 | 104 |
| Ba | 93,36 | 60,58 | 61,83 | 80 | 339 | 235 | 19 | 10 | 265 | 123 | 211 | 359 | 637 |
| Th | 26,21 | 33,45 | 20,00 | 4,0 | 2,3 | 2,1 | 0,69 | 0,30 | 0,78 | 0,61 | 2,5 | 0,53 | 3,0 |
| U | 21,25 | 58,75 | 27,50 | 1,5 | 0,78 | 0,76 | 0,25 | 0,12 | 0,45 | 0,35 | 1,2 | 0,31 | 1,5 |
| Nb | 4,31 | 49,59 | 67,48 | 2,9 | 4,6 | 3,9 | 0,73 | 0,59 | 1,7 | 0,80 | 2,1 | 1,3 | 10,4 |
| Ta | 7,14 | 41,43 | 56,43 | 0,29 | 0,37 | 0,32 | 0,091 | 0,07 | 0,23 | 0,15 | 0,23 | 0,17 | 0,72 |
| La | 15,57 | 76,79 | 81,86 | 9,7 | 11,0 | 10,5 | 4,9 | 5,0 | 12,0 | 11,8 | 19,9 | 14,5 | 25,5 |
| Ce | 14,84 | 83,17 | 79,08 | 19,6 | 25,8 | 24,5 | 15,0 | 13,9 | 30,4 | 29,7 | 41,0 | 32,0 | 56,6 |
| Pr | 13,37 | 77,58 | 73,79 | 2,5 | 3,2 | 3,1 | 2,3 | 2,1 | 4,1 | 4,2 | 4,6 | 4,2 | 6,2 |
| Sr | 41,74 | 70,11 | 77,27 | 54,7 | 168 | 186 | 81,4 | 239 | 420 | 454 | 746 | 694 | 396 |
| Nd | 12,46 | 70,88 | 71,52 | 8,0 | 13,4 | 12,8 | 11,0 | 9,9 | 18,8 | 19,0 | 18,0 | 17,3 | 24,0 |
| Sm | 5,29 | 40,78 | 38,50 | 1,7 | 2,9 | 2,6 | 2,9 | 2,5 | 3,8 | 4,0 | 3,3 | 3,5 | 4,4 |
| Hf | 8,82 | 28,14 | 17,54 | 2,5 | 1,4 | 1,4 | 1,6 | 0,77 | 0,43 | 0,57 | 1,2 | 0,64 | 3,1 |
| Eu | 7,07 | 29,83 | 41,21 | 0,2 | 0,44 | 0,46 | 0,44 | 0,38 | 0,95 | 1 | 1,3 | 1,1 | 1 |
| Ti | 4,58 | 24,54 | 32,09 | 734,7 | 2704 | 1909 | 1173 | 1340 | 2540 | 1674 | 1096 | 1664 | 4240 |
| Gd | 5,69 | 25,99 | 25,74 | 1,4 | 2,4 | 2,2 | 2,6 | 2,3 | 3 | 3,4 | 2,6 | 2,9 | 3,4 |
| Tb | 4,28 | 15,24 | 16,58 | 0,23 | 0,37 | 0,35 | 0,43 | 0,37 | 0,44 | 0,51 | 0,4 | 0,43 | 0,51 |
| Dy | 5,71 | 20,43 | 16,22 | 1,2 | 2 | 1,9 | 2,3 | 2,1 | 2,2 | 2,6 | 2 | 2,2 | 2,6 |
| Y | 4,11 | 11,97 | 11,21 | 6,5 | 9,8 | 8,9 | 11,4 | 10,3 | 12 | 13,7 | 9,1 | 9,8 | 12,6 |
| Ho | 4,59 | 15,37 | 13,43 | 0,27 | 0,41 | 0,37 | 0,48 | 0,43 | 0,44 | 0,5 | 0,4 | 0,44 | 0,53 |
| Er | 4,53 | 12,33 | 9,37 | 0,8 | 1,2 | 1,1 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,1 | 1,2 | 1,4 |
| Tm | 3,69 | 9,41 | 8,63 | 0,12 | 0,17 | 0,15 | 0,2 | 0,18 | 0,16 | 0,18 | 0,14 | 0,16 | 0,19 |
| Yb | 3,82 | 9,47 | 7,76 | 0,8 | 1,1 | 1 | 1,3 | 1,2 | 1 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,3 |
| Lu | 3,27 | 11,02 | 9,45 | 0,13 | 0,17 | 0,15 | 0,19 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 0,14 | 0,14 | 0,19 |
| (Ce/Yb) _N | 3,88 | 8,78 | 10,19 | 6,81 | 6,52 | 6,81 | 3,21 | 3,22 | 8,44 | 7,50 | 12,65 | 9,88 | 12,09 |
| (La/Yb) _n | 4,07 | 8,11 | 10,54 | 8,70 | 7,17 | 7,53 | 2,70 | 2,99 | 8,61 | 7,69 | 15,86 | 11,56 | 14,07 |
| Ce/Nb | 8,57 | 4,17 | 2,92 | 6,76 | 5,61 | 6,28 | 20,55 | 23,56 | 17,88 | 37,13 | 19,52 | 24,62 | 5,44 |
| Eu/Eu* | 1,29 | 0,92 | 1,31 | 0,40 | 0,51 | 0,59 | 0,49 | 0,48 | 0,86 | 0,83 | 1,36 | 1,06 | 0,79 |
| Ba/Th | 296,05 | 150,52 | 256,90 | 20,00 | 147,39 | 111,9 | 27,54 | 33,33 | 339,74 | 201,64 | 84,40 | 677,36 | 212,33 |
| U/Th | 0,22 | 0,48 | 0,38 | 0,38 | 0,34 | 0,36 | 0,36 | 0,40 | 0,58 | 0,57 | 0,48 | 0,58 | 0,50 |
| Cs/Th | 4,61 | 0,62 | 0,28 | 0,85 | 1,39 | 1,10 | 0,71 | 0,57 | 0,95 | 0,54 | 0,34 | 0,87 | 0,83 |
| Th/Yb | 1,17 | 0,60 | 0,44 | 5,00 | 2,09 | 2,10 | 0,53 | 0,25 | 0,78 | 0,55 | 2,78 | 0,59 | 2,31 |
| Ti/Rb | 29,35 | 791,30 | 3818,18 | 16,74 | 33,34 | 32,14 | 244,38 | 788,24 | 67,91 | 108,0 | 38,32 | 71,11 | 40,77 |
| Rb/Sr | 0,23 | 0,03 | 0,01 | 0,80 | 0,48 | 0,32 | 0,06 | 0,01 | 0,09 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,26 |
| Nd/Sm | 7,19 | 5,30 | 5,67 | 4,71 | 4,62 | 4,92 | 3,79 | 3,96 | 4,95 | 4,75 | 5,45 | 4,94 | 5,45 |
| Nb/Yb | 1,63 | 7,58 | 12,58 | 3,63 | 4,18 | 3,90 | 0,56 | 0,49 | 1,70 | 0,73 | 2,33 | 1,44 | 8,00 |

Примечания: 1-3 – массив Липов Куст (1 – плагиопироксенит (6001), 2 – роговообманковый габбронорит (4404), 3 – роговообманковый габбронорит (4406); 4-13 – Елань-Вязовский плутон (4 – лерцолит (7646/238,0), 5 – вебстерит (7658/279,5), 6 – вебстерит (7658/278,5), 7 – амфиболлизированный вебстерит (7319/394,30), 8 – амфиболлизированный вебстерит (7319/484,0), 9 – вебстерит плагиоклазовый (7694/409,5), 10 – вебстерит плагиоклазовый (7694/413,5), 11 – оливиновый габбронорит (7658/280,0), 12 – габбронорит (7694/579,0), 13 – габбронорит (7318/370,0). Проверк – значения не определялись, концентрации редкоземельных и малых элементов в мкг/г (ppm), 1-3 – авторские данные, 4-13 – [27].

такситовая габброноритовая с маргинальными гибридными образованиями (мощность 400-500 м); 2) главная с двумя сериями: а) ритмической с разномаштабными (от 40 до 100 м) слоями (горизонтами) оливиновых плагиопироксенитов, мелано-, мезо- и лейкократовых габброноритов; б) ультрамафитовой с тремя (снизу вверх) горизонтами: дуниты (110-385 м) → перидотиты (100-150 м) → оливиновые плагиопироксениты (130-150 м).

Характерными особенностями ультрамафит-мафитового массива Липов Куст являются: 1) значительное преобладание в разрезе мафитов над ультрамафитами; 2) для породообразующих минералов в ультрамафитах отмечается форстерит-хризолитовый

состав оливина и, как правило, ассоциирующие с ним ксеноморфные выделения пирротина, ассоциирующие с ним ксеноморфные выделения пирротина, доминирование среди группы пироксенов высокомагнезиальных ромбических (энстатит-бронзит) и широкое развитие в мафитах плагиоклаза (лабрадор-битовнит) и бурой титанистой роговой обманки; 3) умеренные содержания кремнезема и магния (42 < SiO₂ < 50 %, 17 < MgO < 25 % для ультрамафитов, 48 < SiO₂ < 53 %, 4,5 < MgO < 10 % для мафитов), сравнительно высокие содержания щелочей (Na₂O+K₂O > 1 в ультрамафитах и Na₂O+K₂O > 2,5 % в мафитах), а также повышенные концентрации титана, особенно в роговообманковых разностях (TiO₂ > 0,7 %).

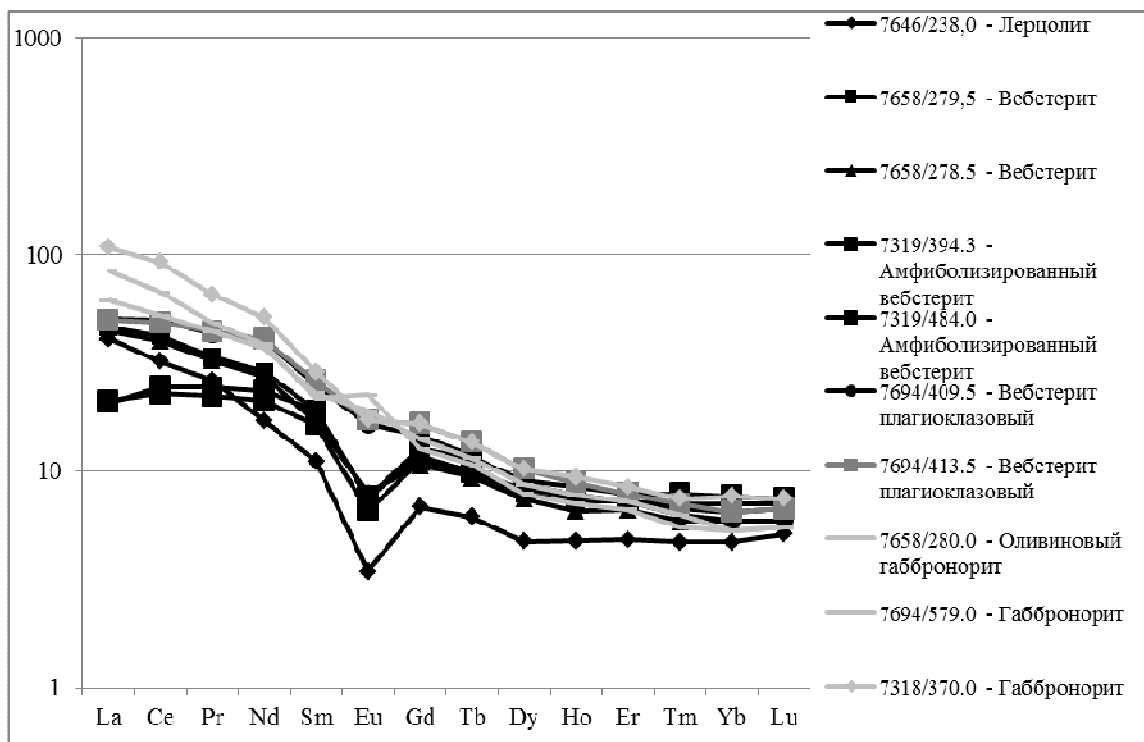


Рис. 6. Распределение РЗЭ в породах Елань-Вязовского плутона. Номера образцов соответствуют номерам в таблице 2. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989).

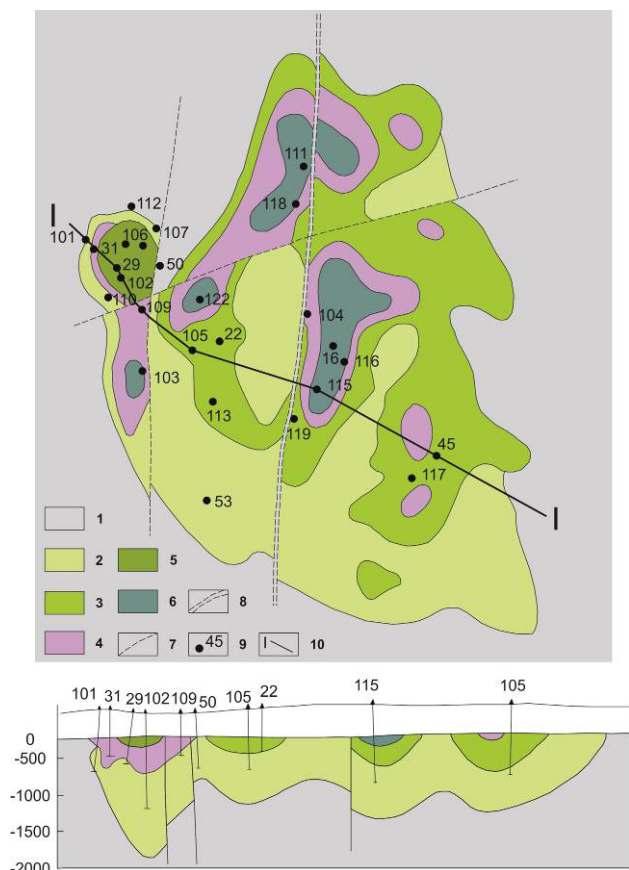


Рис. 7. Схематическая геологическая карта массива Липов Куст (по [28] с дополнениями): 1 – вмещающие породы воронцовской серии. Породы интрузии – нижняя зона; 2 – серия такситовых габброноритов; главная зона; 3 – ритми-

чески расслоенная серия (лейко-, мезо- и меланократовые габбронориты, плагиопироксениты, пироксениты); 4 – ультрамафитовая серия (меланократовые оливиновые габбро, оливиновые пироксениты, перидотиты, дуниты); 5 – серия оливиновых габбро; 6 – норитовая серия (нориты и габбронориты); 7 – тектонические нарушения; 8 – зона развития предполагаемых жильных руд; 9 – положения скважин; 10 – линия геологического разреза.

Породы (табл. 3) плутона Липов Куст характеризуются положительным спектром распределения редкоземельных элементов с накоплением их суммы от пироксенитовых разностей к габброидным (рис. 8). Отсутствие ярко выраженного отрицательного европиевого минимума, а в отдельных случаях наличие небольшого максимума свидетельствует о том, что характер дифференциации меняется с полевошпатового на амфиболовый. Судя по отдельным параметрам: 1) обогащение легкими РЗЭ относительно тяжелых – $(Ce/Yb)_N = 6,81-10,19$, $(La/Yb)_n = 8,11-10,54$; 2) отношения $Va/Th > 150$ (152,52-296,05), $U/Th = 0,22-0,38$, $Cs/Th > 0,28$; – формирование расслоенной интрузии Липов Куст связано с контаминированной природой исходного расплава.

В пределах ультрамафит-мафитового интрузива Липов Куст установлено 2 типа сульфидного медно-никелевого оруденения [28]. Первый из них (Пионерское рудопроявление) представлен преимущественно вкрапленными интеркумулусными рудами. Выделено 2 горизонта руд. Первый расположен среди горизонта оливиновых пироксенитов и приурочен к контакту Верхней и Главной зон. Руды этого горизонта являются преимущественно пирротиновыми с низкими

Таблица 3

Средние химические составы (мас. %) дифференцированного плутона Липов Куст (по [28])

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| SiO ₂ | 44,08 | 44,06 | 50,22 | 49,15 | 49,03 | 51,80 | 48,35 | 47,93 | 50,89 | 48,52 | 52,26 |
| TiO ₂ | 0,37 | 0,32 | 0,38 | 0,73 | 0,72 | 0,20 | 0,30 | 1,06 | 0,61 | 0,20 | 0,40 |
| Al ₂ O ₃ | 2,74 | 5,11 | 3,65 | 10,40 | 12,37 | 12,38 | 15,45 | 17,76 | 18,31 | 20,77 | 21,50 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,25 | 1,92 | 2,00 | 3,55 | 5,04 | 0,09 | 6,18 | 5,13 | 0,95 | 6,05 | 5,28 |
| FeO | 12,22 | 13,00 | 9,68 | 7,05 | 7,01 | 11,16 | 2,90 | 5,33 | 7,97 | 4,26 | 1,40 |
| MnO | 0,21 | 0,37 | 0,20 | 0,27 | 0,30 | 0,34 | 0,10 | 0,23 | 0,17 | 0,10 | 0,15 |
| MgO | 22,50 | 20,94 | 17,95 | 14,35 | 11,78 | 10,23 | 8,77 | 7,71 | 6,59 | 5,42 | 4,83 |
| CaO | 8,69 | 8,14 | 12,32 | 11,16 | 9,84 | 8,05 | 11,51 | 10,77 | 8,74 | 10,16 | 9,09 |
| Na ₂ O | 1,19 | 2,80 | 1,45 | 1,70 | 2,15 | 3,20 | 2,14 | 2,77 | 3,30 | 3,60 | 4,21 |
| K ₂ O | 0,20 | 0,14 | 0,23 | 0,40 | 0,26 | 0,31 | 0,23 | 0,32 | 0,29 | н.о. | 0,23 |
| SO ₃ | 1,81 | 1,00 | 1,70 | 0,35 | 0,71 | 0,47 | 0,70 | 0,24 | 0,42 | 0,62 | 0,36 |
| п.п.п. | 2,34 | 3,08 | 0,38 | 0,52 | 0,87 | 1,74 | 2,08 | 0,61 | 1,91 | 0,77 | 0,22 |
| Сумма | 99,60 | 100,88 | 100,16 | 99,63 | 100,08 | 99,97 | 98,71 | 99,86 | 100,15 | 100,47 | 99,93 |
| MgO/CaO | 2,59 | 2,57 | 1,46 | 1,29 | 1,20 | 1,27 | 0,76 | 0,72 | 0,75 | 0,53 | 0,53 |
| SiO ₂ /CaO | 5,07 | 5,41 | 4,08 | 4,40 | 4,98 | 6,43 | 4,20 | 4,45 | 5,82 | 4,78 | 5,75 |
| MgO/FeO | 1,45 | 1,40 | 1,54 | 1,35 | 0,98 | 0,91 | 0,97 | 0,74 | 0,74 | 0,53 | 0,72 |

Примечание: 1 – перидотит (12), 2 – плагиоперидотит (2), 3 – пироксенит (6), 4 – роговообманковый пироксенит (6), 5 – роговообманковый меланократовый норит (8), 6 – меланократовый норит (2), 7 – мезократовый оливиновый габбронорит (2), 8 – мезократовый роговообманковый габбронорит (10), 9 – мезократовый габбронорит (4), 10 – лейкократовое оливиновое габбро (1), 11 – лейкократовый норит (2).

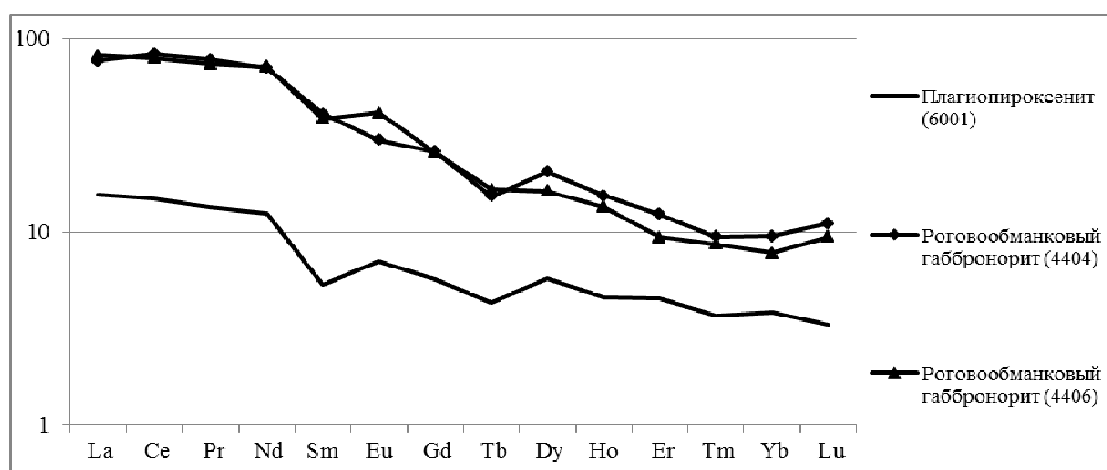


Рис. 8. Распределение РЗЭ в породах плутона Липов Куст. Номера образцов соответствуют номерам в таблице 2. Нормирование производилось по (S.-s. Sun, W. F. McDonough, 1989).

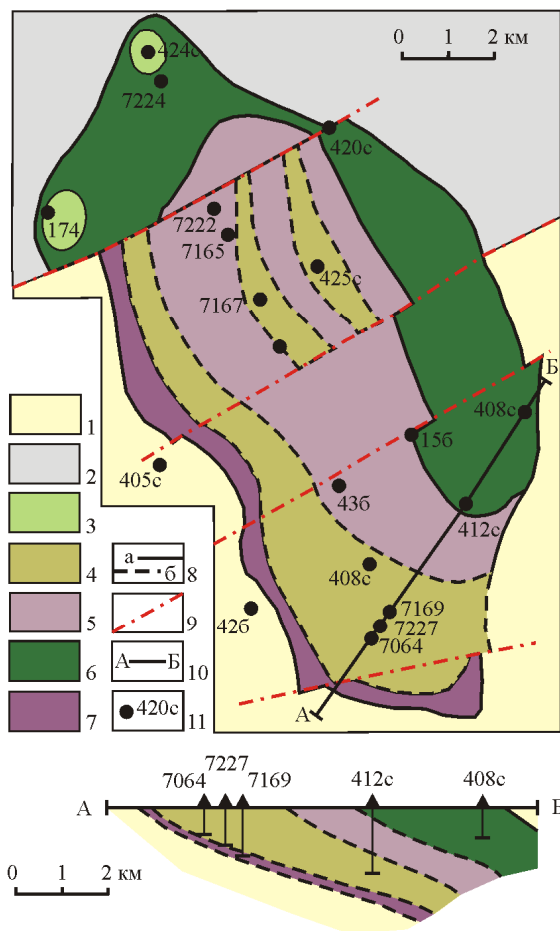
содержаниями цветных металлов. Более продуктивными являются руды, ассоциирующие с перидотитами и дунитами (оливинитами). В составе руд преобладает пирротин (65-70 %), пентландит (18-30 %), халькопирит (3-12 %), в незначительных количествах присутствуют хромшпинелиды, кубанит, макинавит. Содержание цветных металлов: Cu (0,1-0,25 %; 0,30–0,54 %), Ni (0,2-0,35 %; 0,25-0,85 %), Co (0,01-0,046 %; 0,03-0,04 %). Второй тип (Центральное рудопроявление) представлен сплошными (жилными) и густокрапленными (сидеронитовыми) рудами. Для них характерно повышенное содержание Cu (до 1,1 %), Ni (0,4-0,6 %), Co (до 0,07 %).

Выделенными типами не ограничивается возможность выявления более масштабного сульфидного платиноидно-медно-никелевого, а также малосульфидного собственно платинометалльного оруденения

среди ритмично расслоенной серии ультрамафит-мафитовых пород Центрального рудопроявления.

Ширяевский ультрамафит-мафитовый плутон (рис. 2, 9) характеризуется чередованием в расслоенных сериях ультрамафитов и количественно преобладающих мафитов, сопровождающийся сульфидными медно-никелевыми рудами преимущественно в ультраосновных породах и реже в оливиновых норитах и габброноритах.

Типовыми петролого-генетическими признаками плутона являются [1, 24, 26, 29]: 1) почти пятикратное преобладание габброидов над ультраосновными дифференциатами, при этом первые слагают обычно мощные однородные неупорядоченные расслоенные ритмы, а гипербазиты – пачки сравнительно тонкого ритмичного переслаивания, что весьма характерно для формации расслоенных ультрамафит-мафитовых



| Мощность м | Зоны | Модель разреза | Характеристика |
|------------|-----------------------|----------------|--|
| 500-2000 | Дiorитовая | | Диориты биотит-роговообманковые, среднезернистые, местами обогащены кварцем, калишпатом. Постоянно содержат жильные гранитоиды. |
| 1500-3000 | Габбронориговая | | Преимущественно габбронориды, среднезернистые, лейко- и мезократовые, местами содержат оливин и бурую роговую обманку (титанистая); малоомощные горизонты такситовых пород - оливин-роговообманкового и роговообманкового габбро. |
| 500-1500 | Ультрамафит-мафитовая | | Зона многократного чередования горизонтов такситовых (преобладающих) пород: оливин-роговообманкового габбро с сульфидной минерализацией, роговообманкового габбро среднезернистого меланократового (до плагиогриблендитов), редких слоев роговообманковых и роговообманково-оливиновых пироксенитов и оливинсодержащих габброноридов. Сульфидной минерализацией обогащены оливиновые пироксениты и участками оливин-роговообманкового габбро такситового облика. |
| 100-200 | Приконтактовая | | Гранодиориты (двупироксеновые, роговообманковые, с оливином) гибридизированы - обогащены кварцем, биотитом, актинолитом, содержат гранат, графит, включения кордиеритовых роговиков, ксенолиты вмещающих пород |

Рис 9. Схематическая геологическая карта и модель строения дифференцированного Ширяевского массива по геолого-геофизическим данным: 1 – биотитовые гнейсы; 2 – песчаниково-сланцевые вмещающие породы воронцовской серии; 3 – ультрамафиты мамонского комплекса. Расслоенная серия Ширяевского массива: 4 – зоны многократного чередования дифференциатов – оливин-роговообманкового и роговообманкового такситового габбро с мезо-, лейкократовыми безоливиновыми габброноридами; 5 – габбронориды, переходящие в габбродиориты; 6 – диориты биотит-роговообманковые; 7 – гибридизированные габброиды приконтактовой зоны с включениями кордиеритовых роговиков и вмещающих пород; 8 – границы: а) дифференциатов, б) массива; 9 – тектонические нарушения; 10 – линия разреза; 11 – скважины и их номера.

интрузивных тел других регионов [30, 31]; 2) скрытая расслоенность, которая проявляется в закономерном уменьшении снизу вверх содержания в плагиоклазах анортитовой молекулы с одновременным повышением железистости темноцветных минералов (оливин, ортопироксен, клинопироксен); 3) крайне низкое количественное значение ортопироксена и постоянное присутствие в породах титанистой роговой обманки, выступающей в качестве типоморфного минерала для дифференцированных интрузий этого типа [1, 24, 26, 29, 32]; 4) умеренная магнезиальность (табл. 4) ультрамафитов ($15 < \text{MgO} < 25 \%$) и повышенная ($7 < \text{MgO} < 17 \%$) мафитов (при общей повышенной железистости ($10 < \text{FeO} < 19 \%$) и относительном накоплении этого элемента в конечных продуктах), сравнительно высокие содержания щелочей и титана в ультрамафитах и мафитах ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 1,0-3,3$ и $2,5-4,3 \%$, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$; $\text{TiO}_2 = 0,6-1,1 \%$ и $0,8-1,4 \%$ соответственно) и пониженные Cr_2O_3 ($0,03-0,2 \%$).

Совокупность вышперечисленных данных позволяет предположить вероятность лишь незначительно-

го процесса контаминации при формировании Ширяевского плутона.

Структурно-вещественные, петролого- и рудно-геохимические особенности расслоенных плутонов Хоперского мегаблока ВКМ отчетливо проявляются в их потенциальной перспективности на цветные и благородные металлы.

Разномасштабные по мощности (от 0,3 до 2,1 м) проявления сульфидного медно-никелевого оруденения Ширяевского плутона ассоциируют преимущественно с горизонтами (слоями) тонкоритмичного чередования ультрамафитов (плагиоперидотиты±дуниты, плагиопироксениты) и, в целом, характеризуются невысокими содержаниями цветных металлов ($\text{Ni} = 0,2$ до $0,4$, в редких случаях – до $0,96$ мас. %, $\text{Cu} = 0,3$ мас. % и $\text{Co} = 0,01-0,02$ мас. %; скв. 7162, 7165) при ведущей роли пирротина (75-80 %) относительно халькопирита и пентландита. Концентрации ЭПГ не превышают $0,2-0,3$ г/т. Мафитовая породная ассоциация (преимущественно оливиновые разновидности) лишь в редких случаях содержит повышенные количества

Таблица 4

Средние химические составы (мас. %) пород
Ширяевского дифференцированного плутона (по [1, 25, 33])

| | 1 (1)* | 2 (13) | 3 (11) | 4 (35) | 5 (56) | 6 (15) | 7 (52) |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 43,20 | 47,71 | 50,57 | 49,53 | 49,56 | 50,18 | 52,40 |
| TiO ₂ | 0,85 | 0,90 | 0,65 | 0,94 | 0,95 | 1,04 | 0,82 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,12 | 0,05 | 0,03 | 0,01 |
| Al ₂ O ₃ | 3,43 | 5,99 | 5,90 | 7,51 | 10,41 | 10,95 | 16,17 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,21 | 2,87 | 2,86 | 2,35 | 2,09 | 3,38 | 2,15 |
| FeO | 15,66 | 10,19 | 9,48 | 10,46 | 10,23 | 9,27 | 7,38 |
| MnO | 0,13 | 0,07 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
| MgO | 21,54 | 17,83 | 15,75 | 15,25 | 12,64 | 11,46 | 7,08 |
| CaO | 6,36 | 9,33 | 11,12 | 10,12 | 9,47 | 9,49 | 8,30 |
| Na ₂ O | 0,80 | 1,36 | 1,25 | 1,49 | 2,01 | 1,94 | 3,06 |
| K ₂ O | 0,15 | 0,50 | 0,37 | 0,42 | 0,51 | 0,66 | 1,36 |
| P ₂ O ₅ | 0,22 | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,21 | 0,23 | 0,28 |
| SO ₃ | 0,20 | 0,75 | 0,90 | 0,57 | 0,52 | 0,50 | 0,97 |
| п.п.п. | 3,51 | 2,77 | 1,40 | 1,36 | 1,65 | 2,10 | 0,60 |
| Сумма | 100,46 | 100,62 | 100,70 | 100,43 | 100,35 | 100,28 | 100,62 |
| MgO/CaO | 3,39 | 1,91 | 1,42 | 1,51 | 1,33 | 1,21 | 0,85 |
| SiO ₂ /CaO | 6,79 | 5,11 | 4,55 | 4,89 | 5,23 | 5,29 | 6,31 |
| MgO/FeO | 1,08 | 1,37 | 1,28 | 1,19 | 1,03 | 0,91 | 0,74 |

Примечания: 1 – роговообманковый плагиоперидотит; 2 – оливин-роговообманковые плагиопироксениты; 3 – роговообманковые плагиопироксениты; 4 – меланократовые оливин-роговообманковые габбронориты; 5 – мезократовые оливинсодержащие роговообманковые габбронориты; 6 – мезократовые роговообманковые габбронориты; 7 – лейкократовые роговообманковые габбронориты. В скобках – количество анализов.

цветных металлов (Ni = 0,27 мас. %, Cu = 0,15 мас. %, Co < 0,04 мас. %; скв. 7169). Следует отметить наличие в такситовых габброидах массивных пирротиновых рудных зон с крайне низкими содержаниями Ni, Cu, Co (< 0,1 мас. %).

Перспективы Елань-Вязовского плутона связаны с наличием малосульфидного платинометалльного оруденения стиллуотерского типа в горизонтах (слоях) тонкоритмичного чередования и контрастной смены кумулусных минеральных парагенезисов нижней расслоенной и в большей мере промежуточной, являющейся своеобразным рубежом между центральной и верхней, обогащенной флюидонасыщенными минералами, зонами [1, 8]. Об этом свидетельствуют единичные анализы, показавшие существенное обогащение платиноидами (платиной и палладием в сумме до 410 мг/т) и золотом (до 570 мг/т) пироксенитов промежуточной зоны, которую в целом следует рассматривать в качестве своеобразного “критического” горизонта локализации благородных металлов нового весьма перспективного типа малосульфидного платинометалльного оруденения. Вероятными горизонтами локализации малосульфидного платинометалльного оруденения являются так же структурно-текстурно неоднородные такситовые крупнокристаллические габбронориты и биотит-роговообманковые габбронориты и габбро со сложными по морфологии выделениями (прожилки, гнезда и т.п.) кумулусного плагиоклаза верхней зоны, характеризующиеся (по единичным анализам) обогащением ЭПГ (Pt=60-120 мг/т, Pd=50-80 мг/т, Rh=5-7 мг/т, Ir=2 мг/т, Ru=14-32 мг/т, Os~4 мг/т; сумма ЭПГ>155 мг/т) и отчасти Au (210-

420 мг/т) и резким преобладанием Pt над Pd (табл. 5). Концентрация ЭПГ в породах этих горизонтов на порядок выше по сравнению с плагиоперидотитами (Pt=15 мг/т, Pd=17 мг/т), оливиновыми пироксенитами (Pt=16 мг/т, Pd=16 мг/т), троктолитами (Pt=20 мг/т, Pd=24 мг/т) и оливиновыми габброноритами (Pt=14 мг/т, Pd=10 мг/т) ранней фазы [1, 8].

Статистическое изучение распределения ЭПГ в ультраосновных породах ранней фазы Елань-Вязовского плутона свидетельствует о сонахождении этих металлов в одном кластере с Mg и S, при этом Pd тяготеет к группе Cu-As и теснее связан с S, в то время как поведение Pt в значительной степени определяется магнезиальностью пород.

Повышенные содержания Pt и Ru в породах ранней ультрамафит-мафитовой и поздней мафитовой фазы становления Елань-Вязовского плутона связано, вероятно, с входением их в структуру хромшпинелидов, постоянно присутствующих в составе акцессорной минеральной ассоциации. Характерной особенностью хромшпинелидов этого плутона является довольно высокие содержания Pd, преобладающего обычно над платиной, а так же родия (табл. 6).

Таким образом, сравнительный анализ показывает, что наиболее перспективным в решении проблемы наращивания минерально-сырьевой базы Ni, Cu, Co и платиноидов является Елань-Вязовский расслоенный ультрамафит-мафитовый плутон. Интрузив Липов Куст проявляет признаки принадлежности к контаминированному типу интрузий, что определяет необходимость отнесения его к группе потенциально рудоносных. Совокупность типовых модельных минерало-

Таблица 5

Содержание ЭПГ и золота (мг/т) в некоторых дифференциатах мафитовой фазы Елань-Вязовского плутона [1]

| № п/п | Au | Pt | Pd | Rh | Ir | Os | Ru | Σ ЭПГ | Σ ЭПГ+Au |
|-------|-----|-----|----|-----|----|----|----|-------|----------|
| 1 | 120 | 59 | 80 | 4,3 | 2 | 4 | 6 | 155,3 | 275,0 |
| 2 | 180 | 37 | 61 | 6,5 | 2 | 4 | 11 | 121,5 | 301,5 |
| 3 | 420 | 120 | 60 | 5 | 2 | 4 | 14 | 205,0 | 625,0 |
| 4 | 210 | 61 | 58 | 5,5 | 2 | 4 | 15 | 145,5 | 355,5 |
| 5 | 350 | 88 | 49 | 7,3 | 2 | 4 | 32 | 182,5 | 532,3 |

Примечания: Елань-Коленовский интрузив: 1 – габбронорит роговообманковый крупнокристаллический токситовый (скв. 7669; гл. 433,5-434,0); 2 – микроклин-биотит-роговообманковое габбро с крупнокристаллическим (кумулятивным) плагиоклазом (скв. 7692; гл. 368,0-368,5); Вязовский интрузив: 3-5 – габбронорит с крупнокристаллическим кумулятивным плагиоклазом (скв. 7916; гл. 350,0-352,0; скв. 7619; гл. 373,6-374,6 и 368,0-368,5). Анализы выполнены в ЦНИГРИ.

Таблица 6

Содержание ЭПГ в хромитинелидах Елань-Вязовского плутона (по [1] с дополнениями)

| Интрузивы | № скв., гл. (м) | Pt | Pd | Rh | Ir | Ru | Os | Pd/Pt |
|-------------------|-----------------|-----|-----|-----|----|----|----|-------|
| Елань-Коленовский | 7229, гл.587 м | 300 | 700 | 90 | 8 | 6 | 8 | 2,34 |
| | 7319, гл.342 м | 530 | 720 | 70 | 20 | 5 | 9 | 1,36 |
| | 7626, гл.284 м | 560 | 690 | 100 | 10 | 4 | 2 | 1,23 |
| Елань-Вязовский | 7623, гл.403 м | 320 | 690 | 30 | 5 | 2 | 2 | 2,17 |
| | 7623, гл.432 м | 310 | 650 | 80 | 8 | 2 | 3 | 2,09 |

го-петрографических, петрохимических, геохимических и рудно-геохимических признаков (с учетом крайне ограниченной роли в парагенезисе кумулятов ортопироксена) дает основание предположить вероятность лишь незначительного проявления процесса контаминации при становлении Ширяевского плутона и, как следствие, малую его перспективность на цветные и благородные металлы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2004. – 448 с.
2. Чернышов, Н. М. Промышленно-генетические типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений новой никеленосой провинции России и проблема их освоения // Вест. Воронеж. ун-та. Естеств. науки. – 1993. – Сер. 2. – Вып. 1. – С. 188–215.
3. Щипанский, А. А. Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое. / А. А. Щипанский, А. В. Самсонов, А. Ю. Петров, О. О. Ларионова // Геотектоника, 2007. – №1. – С. 43–70.
4. Gorbachev R., Bogdanova S. R. Precambrian Research, 1993. vol. 64. P.3-22.
5. Чернышов, Н. М. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения еланского типа (геология, закономерности размещения, минералого-геохимические особенности руд, геолого-генетическая модель формирования) / Н. М. Чернышов // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 1998. – №5. – С. 120–151.
6. Чернышов, Н. М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива (породы, руды, генетические особенности) / Н. М. Чернышов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1971. – 312 с.
7. Чернышов, Н. М. Проявления нелинейных петрорудогенетических процессов при формировании некоторых типов ультрамафит-мафитовых интрузий мамонского никель-платиноносного комплекса докембрия ВКМ (Центральная

Россия) / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 1997. – № 4. – С. 43–55.

8. Чернышов, Н. М. Качественная оценка образования первичного магматического расплава Елань-Вязовского плутона / Н. М. Чернышов, Ю. Д. Синоков // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 1998. – № 6. – С. 106–117.

9. Чернышов, Н. М. Типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых и платиновых рудномагматических систем и их структурно-вещественная эволюция в общей модели формирования литосферы. Статья 2. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и платиновые рудообразующие системы расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексов неорхей и раннего протерозоя. Геология, внутреннее строение расслоенных комплексов и общие закономерности размещения платиносодержащих типов оруденения. / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2016. – №3. – С. 103-113.

10. Чернышов, Н. М. Типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых и платиновых рудномагматических систем и их структурно-вещественная эволюция в общей модели формирования литосферы. Статья 3. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и платиновые рудообразующие системы расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексов неорхей и раннего протерозоя. Природа магматических расплавов, условия и механизм формирования платиноносных рудномагматических систем расслоенных комплексов. / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2016. – №4. – С. 50-61.

11. Налдретт, А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд / А. Дж. Налдретт. – СПб: Изд-во СПбГУ. – 2003. – 487 с.

12. Лихачёв, А. П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения / А. П. Лихачёв. – М.: Эслан. – 2006. – 496 с.

13. Митрофанов, Ф. П. Основные результаты исследований платинометалльной рудоносности расслоенного ультрамафит-мафитового интрузива Федорово-Панских тундр / Ф. П. Митрофанов, А. У. Корчагин, Н. Л. Балабонин, Ю. В. Гончаров, С. М. Карпов, В. В. Субботин, П. В. Припачкин // Российская Арктика. Геол. развитие, минерагения, геоэкология. – СПб.: ВНИИОкеангеология, – 2002. – 412 с.

14. Sharpe, M. R. Melting relations of two Bushveld chilled margin rocks and implications for the origin of chromitite / M. R. Sharpe, T. N. Irvine // Carnegie Institute Washington, Yearb. – 1983. – V. 82, – P. 295–300.
15. Harmer, R. E. Field relations and strontium isotope systematics of the marginal rocks of the eastern Bushveld Complex / R. E. Harmer, M. R. Sharpe // Econ. Geol. – 1985. – V. 80, – P. 813–837.
16. Barnes, S.-J. Platinum-group element distributions in the Rustenberg Layered Suite of the Bushveld Complex, South Africa / S.-J. Barnes, W. D. Maier // In The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. Edited by L.J. Cabri. – Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. – 2002. – Special Volume 54, – p. 431–458.
17. Шарков, Е. В. Раннепротерозойская магматическая провинция высокомагнезиальных бонинитоподобных пород в восточной части Балтийского щита / Е. В. Шарков, В. Ф. Смолькин, И. С. Красивская // Петрология, 1997. – Т.5. – № 5. – С. 503–522.
18. Sparks, R. S. J. The role of crystal contamination through geological time / R. S. J. Sparks // Earth Planet. Sci. Letters. – 1986. – V. 78. – № 2/3. – P. 211–223.
19. Чернышов, Н. М. Роль ассимиляции при формировании платиноносных ультрамафит-мафитовых рудномагматических систем кратонной стадии / Н. М. Чернышов, А. В. Переславцев // Магматизм и геодинамика: Мат-лы 1-го Всерос. петрограф. совещ. – Уфа, 1995. – Кн. 4: Петрология и рудообразование. – С. 150–152.
20. Додин, Д. А. Платинометалльные месторождения мира / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Д. В. Полферов, Л. Л. Тарновецкий // Платинометалльные малосульфидные месторождения в ритмично расслоенных комплексах. – М.: "Геоинформмарк". – 1994. – Т. 1. – Кн. 1. – 272 с.
21. Додин, Д. А. Платинометалльные месторождения России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Б. А. Яцкевич // – СПб: Наука. – 2000. – 755 с.
22. Переславцев, А. В. Петрология норит-диоритовых интрузий докембрия Воронежского кристаллического массива в связи с проблемой их никеленосности: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. / А. В. Переславцев – Воронеж, 1993. – 23 с.
23. Chernyshov, N. M. The role assimilation in forming the nickeli-ferrous norite-diorite intrusions of the Voronezh crystalline massif / N. M. Chernyshov, A. V. Pereslavitsev // Int. Geol. Rev. – 1994. – V. 36. – P. 587–604.
24. Чернышов, Н. М. Породообразующие минералы никеленосных интрузий ВКМ / Н. М. Чернышов, Г. Г. Дмитренко // Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 1979. – 248 с.
25. Бочаров, В. Л. Строение и состав Еланского никеленосного плутона в краевой части Воронежского кристаллического массива / В. Л. Бочаров, С. М. Фролов, Н. М. Чернышов // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1986. – №4. – С.10–20; – №5. – С.42–49.
26. Чернышова, М. Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива (Центральный Россия). / М. Н. Чернышова. // – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2005. – 368 с.
27. Овсянников, А. И. Распределение редкоземельных и малых элементов в мафитах и ультрамафитах Елань-Коленовского плутона / А. И. Овсянников // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2013. – №1. – С. 98–109.
28. Лихачев, В. А. Новые данные по геологии и никеленосности массива Липов Куст (Воронежский выступ докембрия) / В. А. Лихачев, А. К. Симон, Г. В. Зеленчиков // Магматизм и рудообразование. – М.: Наука, 1974. – С. 114–134.
29. Хунг, Ч. К. Ширяевская дифференцированная интрузия среднепротерозойского никеленосного мамонского комплекса: Автореф. дис. ... канд. геол. –минерал. наук. / Ч. К. Хунг. – Воронеж. – 1975. – 20 с.
30. Козлов, Е. К. Естественные ряды пород дифференцированных интрузий Кольского полуострова и их металлогения. / Е. К. Козлов. – Л.: Наука, – 1973. – 288 с.
31. Шарков, Е. В. Петрология расслоенных интрузий (на примере массивов Балтийского щита, Сев. Казахстана и Алае-Саянской области) : Автор. дис. д-ра геол. –мин. наук. / Е. В. Шарков. – Москва. – 1978. – 48 с.
32. Фролов, С. М. Петрография никеленосной перидотит-габброноритовой формации ВКМ / С. М. Фролов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 1988. – 171 с.
33. Чернышов, Н. М. Химические составы ультраосновных и основных интрузивных пород докембрия Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов, В. Л. Бочаров // Справочник. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 1972. – 240 с.

Воронежский государственный университет

*Чернышов Николай Михайлович, член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки РФ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии, петрографии и геохимии, руководитель НОЦ «Геология рудных месторождений Центральной России» ВГУ-ИГЕМ РАН
E-mail: petrology@list.ru; Тел.: 8 (4732) 208-681*

*Боброва Елена Михайловна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры петрографии и геохимии
E-mail: samorodok2006@mail.ru; Тел.: 8 (4732) 208-779*

*Остуднев Валерий Михайлович, аспирант кафедры, петрографии и геохимии
E-mail: silentdao@gmail.com; Тел.: 8 (4732) 208-779*

Voronezh State University

*Chernyshov N. M., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Researcher of RF, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Head of Centre for Research and Education "Geology of ore deposits of Central Russia" at VSU-IGEM RAS.
E-mail: petrology@list.ru; Тел.: 8 (4732) 208-681*

*Bobrova E. M., Candidate of the Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor at the Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry
E-mail: samorodok2006@mail.ru; Тел.: 8 (4732) 208-779*

*Ostudnev V. M., postgraduate of the Department of Mineralogy, Petrography and Geochemistry
E-mail: silentdao@gmail.com
Tel.: 8 (4732) 208-779*