

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

комиссии Диссертационного совета 24.1.053.01 при ИГХ СО РАН о возможности принятия к защите диссертационной работы Зеленского Михаила Евгеньевича «Редокс-условия как фактор рудоносности, метасоматоза и фракционирования элементов в мантии и надсубдукционных магмах», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. — Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Комиссия отмечает, что диссертационная работа Зеленского М.Е. основана на многолетних комплексных исследованиях современными методами экспериментальной петрологии и минералогии, аналитической химии и физико-химического моделирования, натурных наблюдений влияния состава и окислительного потенциала флюидов и расплавов на метасоматические преобразования мантийных пород, поведение рудных, в том числе критических металлов, золота и элементов платиновой группы.

Целью работы является установление конкретных редокс-процессов, происходящих в веществе под действием флюидов субдуцирующей плиты, и механизмов переноса и концентрирования элементов в перидотитах мантийного клина и их фракционирования в ходе эволюции мантийных расплавов. Глубинный объект исследования потребовал применения методов эксперимента при высоких температурах и давлениях с контролем окислительно-восстановительных условий.

Тема и содержание работы соответствуют пунктам 13 - «Изучение химического состава природного вещества в геологических и связанных с ними системах (земной коре, глубинных геосферах Земли, гидросфере, атмосфере, техносфере, внеземных объектах, живом веществе) и процессах, исследование состояния, форм нахождения, закономерностей распространенности и поведения (распределения, концентрирования, фракционирования) химических элементов и их изотопов», 15 - «Экспериментальные физико-химические исследования, направленные на выявление законов образования минеральных фаз и распределения химических элементов и их изотопов между различными фазами и минералообразующей средой; физико-химическое и математическое моделирование природных процессов массопереноса и поведения химических элементов и их изотопов» и 18 - «Выявление, изучение и геологическая интерпретация ассоциаций химических элементов, характерных для продуктов различных геологических процессов, включая месторождения полезных ископаемых» паспорта научной специальности 1.6.4. – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых – и профилю совета по этой специальности.

Актуальность диссертационной работы. Несмотря на значительный прогресс в изучении субдукционного метасоматоза, остаются недостаточно изученными механизмы изменения редокс-состояния мантийных пород под воздействием субдукционных флюидов и расплавов, процессы мобилизации и концентрирования рудных элементов в перидотитах мантийного клина, а также закономерности их дальнейшего перераспределения в надсубдукционных магмах. Решение этих вопросов имеет принципиальное значение для понимания эволюции вещества в зонах субдукции и механизмов формирования магматических и гидротермальных рудных систем. Распределение и миграция Cu-Ni-Au-

ЭПГ в породах и минералах-концентраторах мантийного клина (шпинелиды, сульфиды и собственные фазы) в ходе метасоматических преобразований и в мантийных расплавах важно для понимания генезиса и поисковых критериев магматических сульфидных, гидротермальных сульфидных (порфирировых) и других типов руд, содержащих эти металлы в концентрированном виде. Понимание поведения халькофильных и высокосидерофильных элементов в мантийных системах важно для разработки поисковых критериев рудных месторождений магматического и гидротермального типов.

Научная новизна результатов не вызывает сомнений и обнаруживается во всех аспектах работы. В экспериментальном плане – ранее в основном изучались безводные системы в восстановительных условиях, не соответствующих природе гидратированного мантийного клина. В аспекте петрологии – не было достоверных данных о происхождении и распространении сульфатных минералов в мантийных ксенолитах; автором сделаны первые достоверные находки значительных количеств сульфатов (в основном, ангидрита) в мантийных породах – гарцбургитах Шивелуча.

Научная и практическая значимость результатов заключается прежде всего в том, что они применимы к целому ряду не решенных пока проблем глубинной петрологии и минералогии, напрямую касающихся методологии поиска и оценки месторождений важнейших полезных ископаемых. Работа имеет ярко выраженный фундаментальный характер. Центральной задачей явилась выработка системы доказательств (методами экспериментальной минералогии и анализа природных объектов) механизма взаимодействия мантийного оливина с водосодержащими флюидами с образованием Mg-оливина, Mg-магнетита и газообразного водорода, который может затем реагировать с сульфатами и другими окисленными компонентами. Появление восстановленной серы в системе, способной образовывать сульфиды металлов, связывается с реакцией диспропорционирования S(IV) диоксида серы, взаимодействующего с Mg-оливином. Построения соискателя выглядят логичными и обоснованными, как и соответствующие защищаемые положения в работе. Таким образом, **работа имеет важное практическое и теоретическое значение**, полученные данные позволяют лучше понять природу глубинных геохимических процессов и связей между элементами. Вместе с тем, желательным было бы большее внимание к формам серы. Например, тиосульфату, который сам по себе «диспропорционирован», поскольку содержит S^{6+} и S^{2-} . Определенно не хватает точных методов диагностики форм серы, таких как РФЭС, которая хорошо различает основные валентные формы элемента.

Актуальность решенных задач не вызывает сомнений. В диссертационной работе представлены результаты исследований, позволяющие соискателю корректно аргументировать **пять защищаемых положений**. Основные выводы сводятся к следующему. Анализируются процессы взаимодействия мантийного перидотита с водным флюидом при температурах выше области устойчивости серпентина – редокс-механизм мантийного метасоматоза, определяющего поведение соединений серы и состав шпинелидов в надсубдукционной мантии. Взаимодействие мантийного оливина с окисленным H–O–S флюидом субдукционного происхождения приводит к образованию Fe–Ni-сульфидов и H₂S-содержащих метасоматических флюидов, а взаимодействие с надсубдукционными расплавами, богатыми SiO²⁻ и S – к метасоматическому

формированию гарцбургитов. При концентрации общей серы до 1.2 мас.% примитивные надсубдукционные магмы способны достигать сульфидного насыщения и инициировать сульфидную ликвацию даже в окислительных условиях. Фракционирование элементов платиновой группы и Au в мантийных перидотитах и надсубдукционных магмах контролируется фугитивностью кислорода и серы: в окислительных условиях Ir, Os, Ru и Rh концентрируются преимущественно в хромшпинели, тогда как Pt и Pd на поздних стадиях эволюции магмы способны отделяться от силикатного расплава в виде многокомпонентных Fe–Cu–Au–S–Se–Te-содержащих жидкостей, а также собственных минеральных фаз.

Таким образом, результаты диссертационной работы позволяют представить последовательность процессов от взаимодействия мантийного оливина с водными и серосодержащими флюидами до формирования сульфидных расплавов и минералов, и концентрирования рудных элементов в надсубдукционных магмах. Понимание этих взаимосвязанных процессов важно для реконструкции геохимической эволюции вещества в зонах субдукции и для разработки новых поисковых критериев магматических и гидротермальных месторождений Ni, Cu, Au и ЭПГ.

Достоверность результатов обеспечивается экспериментально-теоретическим характером работы, их сопоставлением с природными наблюдениями и фактами, детальными анализами пород и минералов современными высоко чувствительными методами, корректностью экспериментов и физико-химических моделей. Вместе с тем, признавая возможность значительных погрешностей моделирования реальной системы при использовании уравнения состояния идеального газа и задания летучести газов, равной 1, соискатель воздерживается от количественных оценок этих погрешностей, что несколько снижает достоверность моделирования.

Личный вклад соискателя в работу является определяющим и бесспорным. Комиссия отмечает высокий уровень компетентности соискателя в области химических реакций и процессов, практически безошибочное написание соответствующих уравнений. Автор осуществлял планирование экспериментов, разработку новых экспериментальных и аналитических методик, организовывал полевые исследования, непосредственно участвовал в аналитической работе. Следует отметить международное сотрудничество, что отразилось в публикациях.

Соискатель представил по теме диссертации 16 работ, опубликованных в высокорейтинговых международных журналах, индексируемых в базах WoS и Scopus, в 8 из которых он является первым автором; 6 статей по тематике работы вышли в сборниках, индексируемых в РИНЦ. Основные положения диссертации полностью раскрыты в опубликованных работах.

Таким образом, требования к полноте изложения материалов диссертации в опубликованных работах выполнены. Недостоверные сведения о работах, опубликованных соискателем, отсутствуют.

По своей актуальности, уровню поставленных и решенных задач, объему и качеству экспериментальных данных, новизне и значимости полученных научных результатов

работа Зеленского М.Е. полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в п. 9 Постановления правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней». Работа соответствует паспорту научной специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», в частности, разделам 13, 15, 18.

Требования пп. 11, 13 и 14 Положения правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 N 842 выполнены полностью. Текст диссертации, представленный в диссертационный совет, идентичен тексту диссертации, размещенному на официальном сайте ИГХ СО РАН. Публикации и автореферат в полной мере отражают содержание диссертационной работы и раскрывают её основные положения.

Комиссия констатирует, что диссертационная работа Зеленского М.Е. «Редокс-условия как фактор рудоносности, метасоматоза и фракционирования элементов в мантии и надсубдукционных магмах» может быть принята в диссертационный совет 24.1.053.01 ИГХ СО РАН к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Председатель комиссии:

доктор геолого-минералогических наук

И.С. Перетьяжко

Члены комиссии:

доктор геолого-минералогических наук

А.В. Иванов

доктор химических наук

В.Л. Таусон

26.06.2026 г.

