

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Институт геологии и
минералогии им. В.С. Соболева» Сибирского
отделения Российской академии наук
д-р м. наук Крук Н.Н.



«02 ноября 2017 г.»

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН) на диссертационную работу КАЛАШНИКОВОЙ Татьяны Владимировны «ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПЕТРОГЕНЕЗИС МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ИЗ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ ОБНАЖЕННАЯ (ЯКУТСКАЯ КИМБЕРЛИТОВАЯ ПРОВИНЦИЯ)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (науки о Земле).

Актуальность. Диссертационная работа посвящена одной из фундаментальных проблем, связанных с изучением развития Земли, в частности эволюции литосферной мантии под северо-восточными неалмазоносными кимберлитовыми полями. Детальные петрографические, минералогические и геохимические исследования ксенолитов из кимберлитовых трубок окраинных частей кратонов необходимы для понимания полной картины формирования отдельных блоков Земли. Наряду с имеющимся колоссальным набором данных по центральным частям Сибирского кратона приходится констатировать скудность добротных аналитических данных и их современного петрологического осмысления для его краевых частей. Поэтому изучение широкого спектра мантийных пород, в том числе различных слюдитов, из Северо-Восточных трубок Обнаженная, Слюдянка, Пятница представляется весьма своевременным.

Цель работы – выяснение условий происхождения различных петрографических разновидностей мантийных ксенолитов из трубки Обнаженная, а также выявление особенностей состава литосферной мантии и процессов, влиявших на ее становление в районе Куйковского поля. Считаем, что поставленная в работе цель достигнута. Проведены детальное петрографическое изучение образцов мантийных ксенолитов, исследование геохимических особенностей пород и распределения главных и редких элементов в минералах, оценка Р-Т

условий формирования ксенолитов, а также датирование геологических процессов в литосферной мантии под северо-восточной частью Сибирского кратона ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ метод; Re-Os изотопный метод).

Фактический материал и методы исследований.

В работе использовался материал, собранный лично диссертантом во время полевых сезонов 2014-2015 гг., а также коллекции мантийных ксенолитов разных парагенезисов из трубок Обнаженная, Слюдянка, Пятница, предоставленные старшими коллегами: научным руководителем С.И. Костровицким, Л.В. Соловьевой, С.С. Мацюком, А.В. Ухановым. Изученная коллекция включает более 100 образцов. В ходе исследования автором использовался комплекс современных методов, включающий в себя рентгенофлуоресцентный силикатный анализ на многоканальном X-Ray спектрометре СРМ-25 (ЗАО Научприбор, Орел, Россия), рентгеноспектральный электронно-зондовый микроанализ (JEOL JXA-8200 в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (Иркутск)), масс-спектрометрию вторичных ионов (SIMS) на микроанализаторе Cameca IMS 4f Ion probe (Ярославский филиал Физико-технического института РАН (г. Ярославль)). Определения изотопного состава кислорода $\delta^{18}\text{O}$ отдельных минералов (оливин, гранат, клинопироксен – 40 определений) были выполнены в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток) на масс-спектрометре Finnigan MAT 252 (Thermo Scientific, Germany), датирование флогопитов $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом (7 определений) с использованием мультиколлекторного масс-спектрометра Argus VI – в Институте земной коры СО РАН. Для 12 образцов было проведено аналитическое определение содержания элементов платиновой группы (Os, Ir, Rh, Pt, Pd) и Re в валовых пробах, а также Re-Os изотопные исследования. Анализы были проведены методом изотопного разбавления в Институте геологии и геофизики Китайской Академии наук, Пекин. Хотя далеко не все анализы сделаны лично диссертантом, но разнообразие методов и обширная география используемой приборной базы свидетельствуют о серьезном зрелом подходе к научной работе.

Научная новизна работы

Впервые детально исследован процесс метасоматических преобразований в ксенолитах из трубки Обнаженная, получены первые данные по содержанию редких элементов во флогопитах, амфиболах и ильменитах из этой трубки. В работе приводятся новые данные по содержанию элементов платиновой группы (Os, Ir, Rh, Pt, Pd), особенности фракционирования которых в валовых пробах ксенолитов указывают на наличие не менее двух этапов в процессе формирования литосферной мантии. Впервые детально проанализированы флогопит-ильменит содержащие ксенолиты из данной трубки, получены их геохимические характеристики и возрастные датировки.

Практическая значимость

В результате детальных и многоплановых исследований получены данные по составу, строению и термальному режиму литосферной мантии под северо-восточной частью Сибирского кратона. Материалы диссертации, безусловно, будут востребованы геохимиками, мантийными петрологами, а также геологическими организациями, занимающимися поисками алмазов.

Степень обоснованности и достоверности научных положений.

Большой объем приведенных в работе аналитических данных, а также степень их научного осмысления, позволяет считать защищаемые положения вполне обоснованными.

Небольшое стилистическое замечание: во втором защищаемом положении используется глагол «наблюдаются», уместный больше для описания образцов или изложения полученных результатов. Опасливое «предполагается» также, на наш взгляд, не подходит для четкой формулировки защищаемого положения.

Апробация работы.

По теме диссертации опубликовано 25 работ, в том числе 4 статьи, из них 3 – в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Результаты исследований были представлены на Всероссийских и международных конференциях.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, приложения, списка использованной литературы из 185 наименований, в том числе и иностранных источников. Содержание работы изложено на 258 страницах машинописного текста, иллюстрировано 94 рисунками и 16 таблицами. Всего изучено 120 образцов ксенолитов из трубки Обнаженная. В начале каждой главы подробно описаны аппаратура и методика анализа, применяемого для получения результата. Хочется отдельно отметить, что Список терминов, используемых в работе, сделан со ссылками на первоисточники, очень подробно и четко, что сразу настраивает на мысль о петрологической грамотности автора и умении подать материал.

Соответствие паспорту научной специальности: диссертационная работа соответствует паспорту специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (науки о Земле).

Во Введении изложены цели и задачи работы, объекты и методы исследования, сформулированы защищаемые положения.

В главе 1 приведен обзор гипотез происхождения литосферной мантии Земли и краткий обзор публикаций, посвященных изучению мантийных ксенолитов из кимберлитов. Особое внимание уделено трубке Обнаженная (Куойкское поле Якутской кимберлитовой провинции). Импонирует попытка автора не просто *изложить основные модели образования мантийных пород и литосферной мантии в целом*, но и *проследить эволюцию этих моделей*. Правда, некоторая путанность изложения (в частности, на стр.23 модель

субдукционного формирования эклогитов) не всегда позволяет это сделать.

Вопросы и замечания. На стр. 19 в качестве ссылки используется словосочетание «многочисленные статьи». На стр. 25 (последний абзац главы) говорится, что «несмотря на большое количество данных по исследованию мантийного вещества глубинных ксенолитов из трубки Обнаженная, *многие вопросы* являются остро дискуссионными и требуют дальнейшего изучения». Какие это вопросы? Следовало бы озвучить их, чтобы понять, какой интерес представляло для автора изучение района, по которому уже опубликовано «большое количество данных».

В главе 2 описано геолого-тектоническое строение Сибирского кратона, геологическое строение Куойкского поля и возраст прорыва трубок. К этой главе принципиальных замечаний нет, хотя детальность, с которой диссертант в **2.1** описывает буквально каждую мельчайшую структуру Сибирского кратона, на наш взгляд, представляется излишней. В рамках тематики данной диссертации вполне хватило бы стандартного описания района расположения исследуемого объекта (трубки Обнаженная), которое и дается в **2.2** с концентрацией внимания на датировках трубки Обнаженная и других трубок Куойкского поля.

В главе 3 дана петрографическая информация обо всех типах исследованных пород: перидотит-вебстеритовых, эклогит-клинопироксенитовых, флогопит-ильменитовых.

В части 3.1 приведено подробное петрографическое описание перидотитовых пород по выделенным генетическим разновидностям с качественными информативными фотографиями наиболее часто встречающихся в трубке пород. Очень хорошо описаны полосчатые ксенолиты (ни одной фотографии) и ксенолиты с повышенной концентрацией сульфидов (также, к сожалению, без иллюстраций).

В части 3.2 рассказывается о флогопит-амфиболовой минерализации магнезиальной группы пород, приведены хорошие фотографии шлифов, иллюстрирующие описанные метасоматические процессы.

В части 3.3 повествуется об эклогитах и близких к ним по петрохимии железистых гранатовых клинопироксенитах. Фотографии качественные, соответствуют описанию. Что подразумевает словосочетание «крупные зерна с неправильно ограниченными границами» (стр. 61)?

В части 3.4 представлена группа флогопит-ильменитовых пород. Рис.3.16 А и Б, судя по подписям, надо поменять местами. На каком основании зерна ильменита на рис.3.18 Б (подпись к рисунку) интерпретируются как продукты распада в слюде, хотя в тексте они все время упоминаются как реликты, а в конце части 3.4 (стр. 69) как включения? Подпись к рис. 3.20 А: розетки *амфибола*. В тексте (стр. 68)

сказано, что на этом рисунке представлены розетки *ортопироксена*. Что там на самом деле?

Замечания и вопросы. Вряд ли можно считать 2 оливиновых включения разной формы и размера в ортопироксене, показанные на рис. 3.4-Г, пойкилитовыми. Не стоит также называть графические срастания структурами распада (стр. 44) – это два разных процесса. Выражение «микропластинки и ламелли ильменита и рутила» (стр. 49) представляется некорректным, т.к., во-первых, *ламель* (в русском языке обычно с одной буквой «л») – это и есть пластинка, во-вторых, рутил выпадает в виде игл, а не ламелей. При описании эксоллюционных структур в породах Mg-группы (стр. 49) гранат сначала рассматривается исключительно в контексте процесса гранатизации, и создается впечатление, что пластинки граната в пироксенах — это не ламели распада, а результат более позднего замещения ламелей ортопироксена и шпинели гранатом. Ниже гранат уже фигурирует в качестве «эксоллюционных пластинок». Какова все-таки, по вашему мнению, природа пластинок граната в пироксене из перидотитовых ксенолитов трубки Обнаженная?

В главе 4 части 1 детально охарактеризован химический состав исследуемых пород в целом. На стр. 76 автор пишет «устанавливается прямая корреляция соотношений MgO–FeO, которая определяется последовательным уменьшением содержания этих оксидов при переходе от гарцбургитов к безоливиновым пироксенитам и вебстеритам», однако на рис. 4.5 шесть вебстеритов (из 16) откровенно выпадают из этого тренда. Четко показано, что влияние кимберлитового расплава на формирование флогопит-ильменитовых пород незначительно.

В части 4.2 приводятся содержания редких элементов исследованных пород в сравнении с таковыми для кимберлита трубки Обнаженная. Делается вывод о возможности как позднего воздействия на породы магнезиальной группы кимберлитовых флюидов, так и метасоматического воздействия высокощелочных расплавов. Наглядно представляется сходство геохимического состава деформированных слюдитов и кимберлита (Рис. 4.11 Б), что может свидетельствовать об их генетическом родстве.

Замечания. При постулировании корреляции между величинами желательно приводить на диаграмме линию и коэффициент корреляции.

В главе 5 (части 5.1.1-5.1.8) рассматриваются особенности химического состава породообразующих минералов. На наш взгляд, описание размеров и форм минеральных зерен, их соотношения (с приводимыми фотографиями, нередко повторяющимися в главе 3) уместней было бы разместить в **главе 3** (петрографическое описание пород), оставив в **данной** главе таблицы и диаграммы, демонстрирующие именно *состав*. Данные по химическому составу минералов разных парагенезисов изложены в целом неплохо, проиллю-

стрированы диаграммами соотношений компонентов, композиционными треугольниками, таблицами. Рис. 5.4 А: называется «замещение *оливина* серпентином и кальцитом», в то время как на фото показано замещение *ортопироксена* серпентином и кальцитом. Что автор имел в виду, говоря «резкие границы сосуществующих минералов могут свидетельствовать о влиянии расплава» (стр. 102)? *Какого* расплава и на влиянии на *что*? На диаграмме CaO - Cr₂O₃ в гранате (стр. 112) по непонятной причине отсутствуют гранаты эклогитов (согласно условным обозначениям), хотя в тексте (стр. 114) упоминаются со ссылкой на эту диаграмму. При разбиении минералов на группы желательно пользоваться современными классификационными схемами, учитывающими последние рекомендации Международной Минералогической Ассоциации (ИМА). Так, в случае с амфиболами, расклассифицированными по классической работе Leake et al., 1998, можно было применить и более современную работу Losock, 2014.

В частях 5.2.1-5.2.8 приводится содержание редких элементов в минералах мантийных ксенолитов трубки Обнаженная. Отмечена идентичность распределения редких и редкоземельных элементов в гранатах перидотитовых, эклогитового, а также флогопитильменитовых парагенезисов. На стр. 142 соискателем предпринимается попытка осмысления метасоматических процессов на основании сравнения спайдерграмм граната разных парагенезисов из трубок Обнаженная (край кратона) и Удачная (центр кратона). На 10 диаграмм для клинопироксена приходится очень скудное описание – три маленьких абзаца текста. На рис. 5.36, 5.37 фигурирует образец *Ol-Cpx-Ilm* породы из трубки Удачная с признаками кумулатного происхождения и деформации, не упоминающийся в тексте. Хорошо показано отличие распределения редких элементов во флогопитах из флогопитильменитовых парагенезисов и во флогопитах явного метасоматического происхождения.

В части 5.3 приводятся свидетельства модального метасоматоза. Убедительно показано, что химический состав гранатов под влиянием метасоматических процессов изменялся незначительно, в то время как состав испытывавшего метасоматическое воздействие клинопироксена отличается более высокими содержаниями Nb, Ta, La а также редкоземельных элементов. На рис. 5.40 А присутствует фиолетовый кружок с цифрой 2 – ни в подписи к рисунку, ни в легенде, ни в тексте нет пояснения, что он обозначает. Легенды рис. 5.40-5.42 неинформативны.

Вопросы. Какой (петрологический, генетический или иной) смысл имеет сравнение составов минералов из перидотитов трубки Обнаженная с таковыми из деформированных перидотитов трубки Удачная, если в трубке Обнаженная *нет* подобных пород? На стр. 129 (раздел 5.1.8) говорится: «...ильменит демонстрирует гомогенность состава в пределах зерен одного образца», и сразу следом: «По составу ильменит характеризуется высокой изменчивостью», далее опять «По составу зерна ильменита из крупных желваков являются

однородными и по составу почти не отличаются от более мелких зерен». Хотелось бы уточнить, какой состав имеет ильменит: однородный или «высоко изменчивый»? Во всяком случае, на представленных диаграммах (5.25, 5.26) демонстрируются значительные вариации по #mg, Cr₂O₃, TiO₂.

В главе 6 приведены результаты изотопных исследований данных ксенолитов: изотопия кислорода, ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирование, а также геохимия элементов платиновой группы и Re-Os изотопные исследования. Важно подчеркнуть, что все эти методы исследования являются трудоемкими, требующими времени и внимания при пробоподготовке, а также достаточной геохимической эрудированности при интерпретации полученных данных. Соискатель с задачей в основном справился, активно и уместно используя сравнения своих данных с самыми последними литературными данными. Единственное недоумение вызывает немотивированная или внятно не обоснованная ссылка на работу [Похиленко и др., 2013] по датированию ксенолитов из трубок Мир и Удачная. К сожалению, всего несколько строк посвящено интерпретации состава ЭПГ ксенолитов с распределениями, близкими к примитивной мантии, и не рассматривается гипотеза воздействия базальтового расплава типа сибирских траппов, которой уделено много внимания в предыдущей дискуссии. Но как раз в данном случае это может быть резонной гипотезой, так как эти образцы обогащены Pt, Pd и Re и величина γOs в образце 7-362 близка к таковым в других группах образцов, что является прямым свидетельством сравнительно недавней добавки Re в систему образца 7-362. Получены новые качественные данные по составу изотопов кислорода в мантийных минералах. Задokumentированы повышенные относительно мантийных величин значения δ¹⁸O в клинопироксенах и гранатах эклогитов и пироксенитов. Сделан правильный вывод, что такие значения являются результатом взаимодействия с флюидами при субдукции океанической коры. Возрасты разных групп флогопит-содержащих пород трубок Обнаженная и Слюдянка логично приурочены к определенным этапам магматической активности района. На основании полученных данных соискатель выделяет два этапа ранней эволюции мантийной литосферы на северо-западе кратона: 1) формирование магнезиальной группы пироксенит - вебстерит – лерцолитового состава, который представляет собой расслоенную мантийную интрузию с возрастом формирования приблизительно 2.8 млрд лет; 2) воздействие богатых серой метасоматических флюидов субдукционного происхождения, возраст этого процесса приблизительно равен 1.9-2.0 млрд лет и соответствует возрасту присоединения Биректинского террейна к Сибирскому кратону.

Вопросы и замечания. Нет ни одной модельной датировки с возрастом 2.8, (этап формирования магнезиальной группы образцов), поэтому непонятно, откуда взялась эта цифра: по данным Ionov et al. (2016)? В работе самая древняя «правдоподобная» модельная датировка 3.23 млрд, что может быть следствием как поздней добавки Re, так и отражать ре-

альный возраст, если принять, что состав ЭПГ не менялся со времени образования образца. Далее идут датировки 2.41 -2.26 млрд, которые в следующей главе и в заключении принимаются как возраст образования протолита литосферной мантии террейна.

В главе 7 обсуждаются особенности генезиса и эволюции литосферной мантии под кимберлитовой трубкой Обнаженная.

Замечания. На наш взгляд, не всегда обоснованное (чрезмерное) внимание уделено литературным данным по перидотитам трубки Удачная без использования в дальнейшем этих данных для каких-то выводов. В этой главе образование протолита литосферной мантии террейна принято как 2.4-2.2 млрд. лет, но в главе 6 это событие датируется как 2.8 млрд. лет.

Заканчивая рассмотрение основных разделов диссертации, следует отметить, что работа прекрасно оформлена, содержит необходимые иллюстрации и литературные ссылки, написана в целом грамотно с умеренным для такого объема количеством опечаток. Хотелось бы посоветовать автору в дальнейшем, по возможности, избегать использования в печатных работах геологического сленга, повторов и неточности формулировок (*микрoанализ в точке минерала, эксклюзивные мегакристаллы, рыжая окраска, поле совпадает с пироксенами, состав совпадает с гранатами* и т.п.). Стилистика изложения материала не является «сильным местом» работы, но огромный объем приводимых данных всегда позволяет сориентироваться в словесном лабиринте соискателя и понять основное направление движения его творческой мысли. Импонирует то, что автор не просто излагает интересные факты, полученные в ходе исследований (делая скупые выводы в рамках защищаемых положений), а постоянно пытается *размышлять*, сопоставляя полученные данные, связывая их между собой, что, собственно, и отличает *ученого* от работника конвейера. Диссертация оставляет впечатление большой и серьезно проделанной работы, и имеющие место огрехи не умаляют ее достоинств.

Соответствие автореферата тексту диссертации. Для автореферата соискателем выбрана иная, на наш взгляд оправданная, структура изложения работы. В автореферате выделяются три части. Во «Введении» присутствует вся необходимая информация об актуальности работы, объектах исследования, цели и задачах, методах, научной новизне, практической значимости, публикациях, структуре и объеме работы, а также перечислены защищаемые положения и высказаны благодарности. Далее следует раздел «Общее описание ксенолитов из кимберлитовой трубки Обнаженная», в котором дается геологическое строение района и петрографическое описание исследуемых пород. В разделе «Обоснование защищаемых положений» полученные данные и выводы приводятся в соответствии с защищаемыми положениями. Автореферат информативен и отражает основные положения диссертации. Имеется небольшая неточность в подписи к рис. 12.

Публикация основных результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в открытой печати, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК.

Заключение. Диссертационная работа Калашниковой Т.В. является научно-квалификационной работой, которая соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (науки о Земле).

Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании Ученого совета Института геологии и минералогии им. Соболева СО РАН (протокол № 14 от 02.11.2017 г.)

Председатель ученого совета (02.11.2017) ИГМ СО РАН

доктор геол.-мин. наук

Тел. 8-(383)330-69-53, E-mail: kruk@igm.nsc.ru

Крук Н.Н.

Старший научный сотрудник лаборатории

451 минералов высоких давлений и алмазных месторождений

кандидат геол.-мин. наук

Тел. 8-(383)330-80-68, E-mail: lu@igm.nsc.ru

Л.Н. Похиленко

Старший научный сотрудник лаборатории

451 минералов высоких давлений и алмазных месторождений

кандидат геол.-мин. наук

Тел. 8-(383)330-80-68, E-mail: agashev@igm.nsc.ru

А.М. Агашев

Новосибирск 630090, просп. Академика Коптюга, 3

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)



ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ
ДЕЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ГУРЬЕВА Т.А.
20.11.2017