

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Кхлифа Незара

«Минеральный состав и происхождение среднекембрийских диопсид-содержащих эффузивов усть-семинской свиты и интрузий барангольского комплекса (Горный Алтай)» представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология

Диссертационная работа Кхлифа Незара направлена на изучение среднекембрийских вулканогенных пород усть-семинской свиты и, ассоциированных с ними гипербазит-габбровых массивов барангольского комплекса, залегающих в Катунской аккреционной зоне Горного Алтая. Природа и геодинамические условия формирования вулканогенных и интрузивных пород Катунской зоны обсуждается в научной литературе на протяжении многих лет, но до сих пор не имеет окончательного решения, хотя от этого зависит корректность построения геодинамической модели геологического развития региона и металлогеническое прогнозирование. Новые данные, полученные в ходе выполненного исследования и выводы, сделанные на их основе, должны быть учтены при проведении геологических съемок и поисково-оценочных работ разного масштаба. Так, одним из главных результатов диссертации Кхлифа Незара является обоснование анкарамитовой природы части вулканогенных пород усть-семинской свиты. Анкарамнты – это высокомагнезиальные породы основного и ультраосновного состава с высоким  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  отношением, состав и дифференциация которых контролируется оливин-клинопироксеновой котектикой без участия плагиоклаза. Способность анкарамнтов продуцировать значительные объемы клинопироксена и оливина ( $\pm$ хромшпинелид и минералы платиновой группы) позволяет рассматривать их как наиболее приемлемый вариант родоначального расплава для дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урало-Аляскинского типа и, связанных с ними хром-платиновых и титаномагнетитовых месторождений. Другой важный теоретический аспект формирования анкарамитовых расплавов связан с тем, что они не могут быть получены в результате плавления примитивных или деплетированных мантийных перидотитов с хондритовыми характеристиками. Мантийный субстрат для выплавления анкарамнтов должен быть обогащен кальцием и, по-видимому, иметь верлитовый состав, что подтверждается современными данными экспериментальной петрологии. Следовательно, проявление анкарамитового магматизма отражает существование в данном сегменте литосферы аномальной, метасоматически измененной мантии на кембрийском возрастном уровне. Эти два аспекта определяют **актуальность** проведенного исследования и его значение как для фундаментальной петрологии, так и для практического применения.

Актуальность, цели и задачи исследования, характеристика собранного и изученного фактического материала и использованных аналитических методов кратко рассмотрены во введении и принципиальных замечаний не вызывают. В этом разделе сформулированы 3 защищаемых положения. Подтверждено, что главные результаты исследования были опубликованы в журналах по списку ВАКа и доложены на конференциях и совещаниях разного уровня, включая международные, то есть прошли квалифицированную, профессиональную апробацию.

**Научная новизна исследования**, как было отмечено выше, определяется выделением среди вулканогенных пород усть-семинской свиты анкарамнтов, которые в более ранних исследованиях других авторов интерпретировались как бониниты или обогащенные

клинопироксеном базальты. Другим важным заключением, претендующим на научную новизну, может служить отнесение гипербазит-габбровых массивов барангольского комплекса к интрузиям Урало-Аляскинского типа. Этот вывод базируется на присутствии среди ультраосновных пород клинопироксенитов и сходстве состава и геохимических характеристик пород и минералов из барангольского комплекса с массивами Урало-Аляскинского типа. В то же время пункты 1 и 3 раздела «Научная новизна», где отмечается, что впервые получены данные по геохимии пироксенов усть-семиной свиты и пород барангольского комплекса, не следовало бы помещать в этот раздел, поскольку это простое указание на использованный инструментарий, без каких-либо научных выводов.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списков сокращений и литературы. Объем работы составляет 135 страниц, включая рисунки и таблицы. Список литературы состоит из 132 наименований, из которых 37 публикаций на русском языке и 95 публикаций на английском.

**Глава 1. Литературный обзор по анкарамитовому магматизму.** Большая глава, где на 23 страницах в 4-х подразделах по литературным данным приводится достаточно полное описание критериев выделения анкарамитов в семействе магматических горных пород. Отмечаются структурные особенности анкарамитов, характерная для них порфировая структура с преобладанием во вкрапленниках клинопироксена над оливином и отсутствием ранних вкрапленников плагиоклаза. Отмечается важная роль  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  отношения, как одного из главных петрохимических критериев, позволяющего классифицировать высокомагнезиальные породы на пикриты, бониниты и анкарамиты. Приводится определение термина «анкарамит», согласно решению Подкомиссии по систематике изверженных пород IUGS (Le Maitre, 2002), где анкарамит определяется как порфировый меланократовый базанит с обильными вкрапленниками пироксена и оливина. Это определение весьма спорное и дискуссионное и противоречит большому количеству опубликованных данных по анкарамитам. В диссертационной работе Кхлифа Незара большая часть высоко-Са эффузивов на классификационной диаграмме  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  (TAS диаграмма, рис. 1.6, стр. 23) тоже не попадает в поле базанитов, а лежит в области базальтов и пикробазальтов. Вопрос о петрологическом и петрохимическом соотношении анкарамитов и базанитов в диссертационной работе не рассматривается. Рациональные подходы для выделения анкарамитов в особый тип были предложены в статьях и диссертационной работе Делла-Паскуа (Della-Pasqua, Varne, 1997; Della-Pasqua, 1997). В диссертации Кхлифа Незара не используются также подходы, предложенные для более точной классификации высокомагнезиальных вулканических пород (Le Bas M.J. UIGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology*. 2000. V. 41. № 10. P. 1467-1470).

В первой главе приводится краткая информация о распространении анкарамитов в мире, показано, что чаще всего они встречаются в конвергентных островодужных обстановках и реже во внутриплитных. Обсуждаются геохимические индикаторы, которые различают их между собой. По литературным данным дается характеристика состава главных пороодообразующих и акцессорных минералов из анкарамитов петротипических комплексов. Рассматриваются особенности петрохимии и геохимии пород и дается достаточно подробный обзор моделей образования анкарамитов с учетом данных экспериментальной петрологии.

При общей добротности этой главы автор не акцентирует внимание на том, что анкарамиты принадлежат к особому семейству магматических горных пород – продуктам кристаллизации примитивных высоко-Са мантийных расплавов, состав и дифференциация которых определяется оливин-клинопироксеновой котектикой без участия плагиоклаза. Эта

особенность анкармитов определяет сложную, изогнутую конфигурацию полного кристаллизационного тренда клинопироксена, когда для раннего этапа фиксируется положительная корреляция железистости ( $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ ) и содержаний глинозема, а для позднего – отрицательная (Пушкарев, 2017, 2018; Barsdell, Berry, 1990). Оливин-клинопироксеновая ( $\pm$ хромшпинель) котектическая кристаллизация анкармитов определяет и своеобразие эволюционного тренда хромшпинелидов, которые на диаграмме трехвалентных катионов  $\text{Al-Cr-Fe}^{3+}$  эволюционируют от вершины Cr к стороне  $\text{Al-Fe}^{3+}$  до достижения поверхности хромшпинелевого сольвуса, где могут испытывать распад твердого раствора (Пушкарев, 2000, 2016; Barsdell, Berry, 1990; Mossman et al., 2000). К сожалению, диаграмма  $\text{Al-Cr-Fe}^{3+}$  (одна из основных для хромшпинелидов) ни в этой, не в других главах диссертации использована не была.

**Глава 2. Геология и история изучения пород усть-семинской свиты и барангольского комплекса.** Необходимо сразу сделать замечание к названию главы. Традиционно, в геологической литературе словосочетание «геология и история изучения...» используется для описания территорий, крупных геологических подразделений, комплексов и тд, но не используется по отношению к слову «порода». Это слово надо было исключить из названия.

Глава представляет собой довольно добротню выполненную краткую компиляцию литературных данных по региональной геологии Катунского аккреционного комплекса с акцентом на несколько наиболее значимых работ (Гибшер и др., 1997; Зыбин, 2006; Сафонова и др., 2008, 2011; Buslov et al. 1993, 2001). Знатоки региональной геологии, вероятно, смогут сделать свои замечания или дополнения к этому описанию, но для стороннего читателя, оно выглядит самодостаточным. Это описание сопровождается региональными схемами геологического строения северной части Горного Алтая, Бийской и Усть-Семинской вулканических построек (рис. 2.1, стр. 34). Даже две последние схемы покрывают территорию более 100 кв. км каждая. На этих региональных схемах отмечены точки отбора проб, но не приведены их номера, что не позволяет привязать пробы к их реальному геологическому положению. Геологическое описание изученных объектов весьма поверхностное и сводиться к общей географической привязке, указанию площади объекта и к перечислению пород. Больше никакой геологической информации не приводится. Наибольшее сожаление вызывает отсутствие в диссертации крупномасштабных геологических схем изученных участков, зарисовок или фотографий обнажений, где была бы видна морфология и взаимоотношения геологических тел и пород, и показаны места отбора проб с их номерами. Например, осталось непонятным из каких фаций вулканических пород усть-семинской свиты были отобраны пробы: из лавовых потоков, из даек или гиабиссальных интрузивных тел, из вулканических бомб или туфов? Возможно, эта геологическая информация стерта деформациями и метаморфизмом, но об этом тоже ничего не говорится в тексте. Отсутствие конкретной геологической информации о месте отбора проб является самым серьезным замечанием к этому разделу.

**Глава 3. Петрография, петрохимия и геохимия пород усть-семинской свиты и барангольского комплекса.** В этой главе на 40 страницах в 4-х подразделах дается характеристика петрографии, минералогии, петрохимии и геохимии вулканических пород усть-семинской свиты и интрузивных пород барангольского комплекса. Почему слово «минералогия» выпало из названия? Это один из ключевых разделов диссертации. Автором было показано, что по составу и количеству вкрапленников вулканыты усть-семинской свиты могут быть разделены на две группы. В первую группу Кхлиф Незар включил породы,

содержащие 25-50% порфировых вкрапленников клинопироксена в плагиоклаз-клинопироксеновой основной массе, которые он интерпретировал как анкармиты. **Вторая группа** представлена эффузивами, для которых характерно наличие вкрапленников диопсида, плагиоклаза и, реже, оливина, амфибола и хромшпинелида. В более ранних работах (Гибшер и др., 1997; Зыбин, 2006) эти вулканы получили название «диопсид-порфировые базальты» или «диопсидовые базальты», но непонятно, почему это название сохранено и в этой работе, при наличии ранних вкрапленников плагиоклаза в породах?

Эти две петрографические группы соответствуют двум выделенным автором петрохимическим группам по величине  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  отношения: 1)  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ , анкармиты; 2)  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1$ , диопсид-порфировые базальты (стр. 59). При этом автор указывает на то, что все породы образуют единый тренд на диаграммах. Вопрос: «Насколько тогда обосновано выделение этих двух групп?». Если построить гистограмму распределения отношения  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  в породах, получим ли мы бимодальную картину, которая позволит нам аргументировано выделять две группы? Или мы имеем непрерывную дифференциацию первичного анкармитового расплава, приводящую в итоге к формированию остаточных порций расплава, близкого к нормальным базальтам, а деление на две группы по величине  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  - это формальная процедура? Можно ли дать оценку реальным пропорциям пород с высоким, нормальным и низким  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  отношением в составе усть-семиной свиты? Судя по рисунку 3.6-б (стр. 56) и по данным А.С.Гибшера с соавторами (1997), В.А.Зыбина (2006), И.Ю.Сафоновой с соавторами (2011), доля высококальциевых пород в усть-семиной свите существенно меньше, чем пород с нормальным и низким  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  отношением. Почему-то автор не воспользовался богатым фондом петрохимических данных из этих опубликованных работ.

В этой главе автор делает сравнения составов анкармитов и диопсид-порфировых вулкаников усть-семиной свиты с толеитами разных геодинамических обстановок. Делать это можно, но большого смысла не имеет, поскольку, как было подчеркнуто выше, анкармиты и толеиты - это породы двух принципиально разных семейств магматических горных пород. Если автор уверен в генетической общности анкармитов и диопсидовых базальтов, то последние, скорее всего, являются поздними дифференциатами анкармитов, а толеиты являются примитивными расплавами.

Обилие вкрапленников клинопироксена в породах первой группы дает основание классифицировать их как анкармиты. Однако для большей уверенности следует ответить на вопрос, не является ли высокое содержание клинопироксена следствием кумулятивного накопления ранних фаз при дифференциации расплавов *in situ* либо в результате течения расплава по магматическим каналам, дайкам и т.д. - гидродинамический эффект накопления твердых фаз. Соответствует ли валовый состав пород анкармитовому расплаву или это анкармитовая магма, то есть какой-то расплав, насыщенный кристаллами клинопироксена? Наличие 50% вкрапленников может свидетельствовать о кумулятивном обогащении. Как следствие, встает вопрос, какие из изученных проб эффузивов наиболее близки к первичному расплаву, а какие являются его дифференциатами или кумулятивными фациями, обогащенными ликвидусными минералами? К сожалению, этот вопрос автором не обсуждается. Важным аргументом для решения этого вопроса было бы установление анкармитового состава основной массы пород, как было показано нами ранее на Южном Урале (Готтман, Пушкарев, 2017; Пушкарев и др., 2018) либо обнаружение закаленных фаций, имеющих анкармитовый состав.

При обсуждении петрохимических особенностей вулканических пород усть-семиной свиты и интерпретации некоторой их части в качестве анкармитов Кхлиф Незар использует литературные данные по гомогенизированным расплавленным включениям из вкрапленников клинопироксена (Симонов и др., 2010; Buslov et al., 1993). Состав этих включений характеризуется высоким отношением  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ , соответствующим анкармитам. Изучение составов расплавленных включений в ликвидусных минералах является мощным инструментом для выявления наиболее примитивных, недифференцированных расплавов. Так были получены доказательства примитивного характера высоко-Са расплавов в эффузивах и анкармитах Пацифики (Della-Pasqua, Varne, 1997; Shiano et al., 2000 и др.). Однако, в большинстве случаев, для этого были использованы расплавленные включения во вкрапленниках оливина и хромшпинелида, то есть в минералах, не содержащих кальций. Представляется, что надо с осторожностью относиться к высоким  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$  в гомогенизированных расплавленных включениях в клинопироксенах и проверять их по включениям в бескальциевых минералах.

В 3-й главе приводится петрографическая и геохимическая характеристика ультраосновных и основных пород из интрузий барангольского комплекса. Показано присутствие в этих массивах разных типов клинопироксенитов и перидотитов, а также сходство геохимических особенностей пород и клинопироксенов усть-семиной свиты и барангольского комплекса, что может служить доказательством их комагматизма. Для реализации идеи о сходстве массивов барангольского комплекса с дунит-клинопироксенит-габбровыми интрузиями Урало-Аляскинского (У-А) типа, ультраосновные породы имеют первостепенное значение. Можно согласиться, что амфиболовые клинопироксениты Апшухтинского массива имеют некоторое сходство с клинопироксенитами (верлитами) из У-А интрузий. Однако флогопитовые пироксениты (скорее всего это метасоматически измененные породы) и перидотиты не имеют явных признаков сходства с породами из комплексов У-А типа. Неясна также природа, описанных в диссертации пикритов, хотя они и имеют высокое  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  отношение, но почему-то не были детально рассмотрены.

Таблицы с составами оливина, плагиоклаза, амфибола и хромшпинелидов (табл. 3.1 – 3.4) не содержат номеров проб, из которых эти минералы были изучены. Это явное нарушение к требованиям ведения геологической документации и лишает представленные данные существенной доли информативности, поскольку непонятно из каких пород они проанализированы.

**Глава 4. Минералогия и геохимия клинопироксена.** Специальная глава исследования, посвященная изучению закономерностей изменения химического состава клинопироксена и его геохимических особенностей в ходе кристаллизации вулканогенных и интрузивных пород. Автор использует геохимию клинопироксена как индикатор геодинамических условий кристаллизации пород, хотя, с нашей точки зрения, для этого лучше использовать геохимию самих пород. В этой же главе приводятся оценки Р-Т параметров кристаллизации пород и минералов, которая не вызывает принципиальных возражений, хотя к ним можно было добавить опубликованные результаты экспериментов по выплавлению и кристаллизации анкармитовых расплавов или котектический анализ.

Правильно подобранные объекты исследования – зональные вкрапленники и зерна основной массы в эффузивах, и методы – микрорентгеноспектральный и лазерная абляция, позволили получить оригинальные, интересные и информативные данные. В результате проведенного исследования были установлены главные кристаллизационные тренды клинопироксена. Показано, что на фоне снижения его магнезиальности от ядер к каймам

происходит рост содержаний  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  (отрицательная корреляция) и снижение концентраций  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Эти данные полностью соответствуют закономерностям эволюции составов клинопироксенов при кристаллизации анкармитов и генетически связанных с ними пород и легко объясняются фракционированием оливин-клинопироксеновой котектики. Отметим также, что во многих случаях, при достижении максимума  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в каймах вкрапленников его содержания заметно падают в клинопироксенах основной массы, несмотря на продолжающееся снижение магнезиальности (положительная корреляция). Этот эффект связан со сменой кристаллизации оливин-клинопироксеновой котектики на ранней стадии на котектическую кристаллизацию фемических минералов с участием плагиоклаза на поздней стадии, что и приводит к снижению  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в темноцветных минералах, что справедливо отмечает автор в Главе 5. Этот эффект хорошо проявляется в полных кристаллизационных трендах клинопироксенитов и анкармитов Урала и Пацифики (Ферштатер, Пушкарев, 1987; Пушкарев и др., 2000, 2017, 2018; Barsdell, Berry, 1990).

Изучение геохимии клинопироксенов из эффузивов усть-семинской свиты и интрузий барангольского комплекса подтверждают их сходство и, вероятно, их генетическую общность. Однако интерпретировать это сходство как доказательство того, что клинопироксены принадлежат к одной популяции (Глава 4, стр. 102 и Защищаемое положение 2) не совсем корректно. Термин «популяция» в этом случае не подходит. Даже разные участки в одном зональном кристалле пироксена следует относить к разным популяциям. Сходство моделей распределения РЗЭ и редких элементов в клинопироксенах из пород усть-семинской свиты и барангольского комплекса, из анкармитов других провинций и интрузий Урало-Аляскинского типа является аргументом для авторского заключения о единой природе всех этих образований (смотри Глава 5). **Раздел 4.2. Изоморфизм** можно было не включать в диссертацию. Новой информации к известным и давно опубликованным исследованиям по изоморфизму пироксенов он не добавляет. В целом Глава 4 выглядит вполне информативной и презентабельной и показывает большой вклад автора в полученные результаты.

**Глава 5. Дискуссия и выводы.** В этой главе обобщаются результаты проведенных исследований, более подробно рассматриваются особенности геологии и состава дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урало-Аляскинского типа и делается заключение о том, что массивы барангольского комплекса могут им соответствовать, несмотря на неполный набор петрографических разностей пород, отсутствие концентрически-зональной структуры и проявлений хромит-платиновой минерализации. Обосновывается островодужная природа анкармитов и сопутствующих вулканитов усть-семинской свиты и интрузий барангольского комплекса среднекембрийского возраста. Окончательно формулируется вывод, что именно анкармиты являются родоначальными для всех рассмотренных магматических пород.

В «**Заключении**» Кхлиф Незар в 21 пункте кратко резюмирует основные результаты и выводы, проведенного исследования. С большинством из этих пунктов можно согласиться, кроме пункта 2 и 8. В пункте 2 сказано, что анкармиты – это оливин-клинопироксеновые высокомагнезиальные базальты с  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ . Это неверно, так как базальты – это породы, принадлежащие к семейству плагиоклазовых котектик с темноцветными минералами, а анкармиты – это породы, принадлежащие оливин-клинопироксеновой котектике без плагиоклаза. Плагиоклаз в анкармитах может появляться только на заключительных стадиях кристаллизации, когда состав остаточного расплава приближается к габбровым котектикам. В пункте 8 отмечено, что породы усть-семинской свиты в глобальном смысле принадлежат к толеитовой серии. Это тоже неверно, несмотря на близость некоторых геохимических

параметров у анкарамитов и толеитов. Анкарамнты не дифференцируют по толеитовому тренду. В известных случаях они эволюционируют по известково-щелочному тренду.

Принципиальных замечаний к трем защищаемым положениям нет, несмотря на не вполне удачную формулировку 2-го защищаемого положения, о чем было сказано выше. Все защищаемые положения подкреплены фактическим материалом и результатами, проведенных исследований

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

Диссертационная работа Кхлифа Незара «Минеральный состав и происхождение среднекембрийских диопсид-содержащих эффузивов усть-семиинской свиты и интрузий барангольского комплекса (Горный Алтай)», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология, является полностью законченным исследованием, соответствующим всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Цели и задачи, сформулированные в работе выполнены. Актуальность и практическая значимость исследования не вызывает сомнения. Научная новизна определяется в переинтерпретации клинопироксен-порфировых эффузивов усть-семиинской свиты в анкарамнты и в обосновании сходства массивов барангольского комплекса с интрузиями Урало-Аляскинского типа. Результаты исследования подкреплены представительным фактическим материалом, изученным с применением современных методов исследования, доложены на научных конференциях разного уровня и опубликованы в журналах по списку ВАК, в которых Кхлиф Незар является первым автором, включая одну статью в международном журнале второго квартиля. Кхлиф Незар достоин присуждения ему степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология.

Официальный оппонент: Пушкарев Евгений Владимирович

Кандидат геолого-минералогических наук, по специальности 25.00.04 -петрология, вулканология

И.О. заведующего Лабораторией петрологии магматических формаций, ведущий научный сотрудник, Председатель Уральского регионального Петросвета Межведомственного петрографического комитета ОНЗ РАН.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН), Лаборатория петрологии магматических формаций.

Адрес: 620016, Екатеринбург, ул. акад. Вонсовского, 15

Электронная почта: [pushkarev@igg.uran.ru](mailto:pushkarev@igg.uran.ru)

Телефон: 8-9126043802

Я, Пушкарев Евгений Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

11 марта 2022

Подпись Пушкарёва Евгения Владимировича заверяю

Е.В.Пушкарёв

Подпись Пушкарёва Е.В. заверяю  
Зав. общим отделом

