

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Зиндоброго Виктора Дмитриевича “Тектоника и геодинамика восточной части Горного Алтая в палеозое”, представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 1.6.1 – Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика, 1.6.3 – Петрология, вулканология.

Горный Алтай и сопредельные территории являются одним из ключевых регионов для изучения эволюции Центрально-Азиатского орогенного пояса – крупнейшего орогена Земли. **Актуальность** диссертационной работы В.Д. Зиндоброго заключается в изучении магматических и метаморфических комплексов восточной части Горного Алтая для сопоставления с сопредельными террейнами центральной части Горного Алтая, Западной Тувы и Западного Саяна и выявлении особенностей геологического развития Алтае-Саянской складчатой области. Изучение геологических структур, расположенных на границе Горного Алтая и Западного Саяна – более детально изученных областей – является достоинством диссертации.

Научная новизна диссертации В.Д. Зиндоброго состоит в геологическом картировании, опробовании, геохимическом и геохронологическом изучении метаморфических комплексов, офиолитов, прорывающих гранитоидов на опорных участках в пределах Телецкого блока восточной части Горного Алтая. **Достоверность** полученных данных обусловлена использованием современных аналитических методов исследования, включая определение содержаний петрогенных и редких элементов в породах, определение состава минералов, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и U-Pb геохронологические исследования.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что представленные новые результаты восполняют недостаток имеющихся геологических, геохронологических, геохимических данных для Улаганского сегмента Горного Алтая и могут быть использованы для геологических корреляций и сопоставлений с сопредельными областями Центрально-Азиатского складчатого пояса. Выявленные характеристики Кабак-Тайгинского офиолитового меланжа могут быть использованы при поисках рудопроявлений, связанных с офиолитами.

Личный вклад автора диссертации заключается в проведении полевых исследований, геологическом картировании и опробовании ключевых объектов исследования, изучении петрографии образцов и состава минералов метаморфических пород, расчете P-T условий метаморфизма, пробоподготовке для геохронологических исследований и проведении U-Pb датирования циркона, а также интерпретации совокупности полученных геохимических и геохронологических данных.

Диссертация В.Д. Зиндоброго состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации (включая список литературы и приложения) – 184 страницы. Диссертация содержит 74 рисунка, 22 таблицы (включая 10 таблиц в приложениях). Список литературы включает 235 наименований.

Защищаемые положения (их три) **обоснованы фактическим материалом**. К формулировке защищаемых положений есть замечания и вопросы.

Во втором защищаемом положении указано, что “Протолитом метатерригенных пород послужили позднекембрийско-раннесилурийские надсубдукционные магматические образования”. Стоит сформулировать это предложение так: «Источником сноса для протолита метатерригенных пород послужили ... надсубдукционные магматические образования». Термин «протолит» характеризует первичную природу метаморфических пород – осадочную или магматическую.

Третье защищаемое положение включает утверждение: “В ордовике-раннем силуре” [аккреционно-коллизийная] “зона формировалась как аккреционный комплекс при погружении кембрийского задугового бассейна под венд-кембрийскую Таннуольскую

островную дугу”. Почему выбрана именно модель погружения задугового бассейна под островную дугу? Обычно аккреционные комплексы формируются во фронтальной части конвергентных границ.

Рассмотрим содержание диссертации по главам.

В главе 1 приведена история геологического изучения восточной части Горного Алтая и эволюция взглядов на геологическую эволюцию изучаемого района.

Глава 2 содержит сведения о тектоническом положении Горного Алтая в структуре Центрально-Азиатского складчатого пояса и геологическом строении восточной части Горного Алтая, с акцентом на строении и тектоническом положении Телецкой зоны и ее взаимоотношениям с сопредельными структурами Горного Алтая и Западного Саяна. В этой главе также рассмотрена геологическое строение Телецкого и Чульчинского метаморфических комплексов, изученное на опорных участках.

Замечания к главе 2.

В главе 2 на рисунке 2.2.1. приведена структурная схема восточной части Горного Алтая. На ней показаны основные геологические комплексы изучаемого региона. В пределах изученной Телецкой зоны, на схеме показаны массивы гранитоидов силур-девонского (условный знак 8) и пермо-триасового (условный знак 9) возраста. В то же время, в сопредельных Горно-Алтайской и Западно-Саянской зонах также распространены разновозрастные гранитоиды (геологические карты масштаба 1:1 000 000), однако они не показаны на рис. 2.2.1, и это вводит в заблуждение. Если в одной зоне гранитоиды показаны на схеме, то их присутствие в сопредельных зонах также необходимо демонстрировать.

В главе 3 описаны методы исследований, использованные в работе. Они включают петрографическое изучение пород, методы анализа химического состава горных пород (РФА, ICP-MS) и состава минералов (SEM-EDS, EPMA), геохронологические методы ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование калий-содержащих минералов с применением методики ступенчатого прогрева и U-Pb датирование циркона методом LA-ICP-MS). Составы минералов использованы для оценки температур и давлений метаморфизма по геотермометрам и геобарометрам.

В главе 4 представлены данные о петрографии, химическом составе, геохронологии и P-T условиях формирования Телецкого, Саратанского, Чульчинского метаморфических комплексов, включающих метабазалты и метаморфизованные терригенные осадки.

Замечания к главе 4.

В разделе 4.2. при классификации кальциевых амфиболов нужно использовать соответствующие диаграммы или пределы составов. В цитированной классификации Hawthorne et al., 2012 амфиболы тремолит-ферро-актинолитового ряда имеют номенклатурное разделение на тремолит ($\text{Mg\#} (\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})) > 0.9$), актинолит ($\text{Mg\#} = 0.5-0.9$), и ферро-актинолит ($\text{Mg\#} < 0.5$). Термины “низкощелочная роговая обманка”, “высокощелочная роговая обманка”, “низко-щелочной актинолит” являются жаргонными и не должны использоваться. Роговые обманки классифицируются по магнезиальности на магнезиальные и железистые. При описании состава лучше указывать высокое или низкое содержание Na + K.

В разделе 4.2. на изображениях в обратно-рассеянных электронах, полученных на электронном микроскопе (рис. 4.2.1, 4.2.2), необходимо подписывать все минеральные фазы, присутствующие на рисунке. Для классификации полевых шпатов лучше использовать общепринятую тройную диаграмму Ab-An-Or, а не диаграмму Ab-Or- Al_2O_3 (рис. 4.2.7). Не охарактеризованы акцессорные минералы и их состав.

При описании нормированных спектров распределения редкоземельных и редких элементов нельзя характеризовать их как “отрицательные спектры”, “положительные спектры”. Нужно описывать их соответственно как «спектры с отрицательным наклоном», «спектры с положительным наклоном».

Метабазальты являются измененными породами, и при процессах изменения возможно подвижное поведение ряда химических элементов. В породах основного состава при постмагматическом изменении и метаморфизме наиболее подвижны K_2O , Na_2O , крупноионные литофильные элементы (LILE), могут быть подвижны CaO , MgO , SiO_2 . Вопросы подвижности элементов при метаморфизме рассматриваются во многих работах, в которых предложены диаграммы, использующие немобильные элементы – чаще всего высокочargedные элементы (HFSE) и тяжелые редкоземельные элементы (HREE). Для проверки подвижного или неподвижного поведения элементов необходимо строить бинарные диаграммы, на одной из осей которых показано содержание неподвижного элемента (обычно Zr). Вопросы подвижности химических элементов при вторичных изменениях и метаморфизме базитов, а также использования диаграмм, основанных на немобильных элементах, рассмотрены в публикациях J.A. Pearce (Pearce, 2008, Lithos; Pearce, 2014, Elements). В связи с подвижным поведением щелочных и щелочноземельных элементов, вызывает сомнение корректность использования диаграмм TAS и AFM, а также диаграммы $TiO_2 - K_2O$ для метабазальтов, метаморфизованных габбро и долеритов. Диаграмму $TiO_2 - K_2O$ можно заменить диаграммой $TiO_2 - P_2O_5$, где оба компонента немобильны, а P_2O_5 отражает обогащение умеренно несовместимыми элементами. Вместо диаграммы TAS можно использовать диаграмму Zr/Ti – Nb/Y (Pearce, 2014, Elements, и ссылки в этой работе), вместо диаграммы AFM – диаграмму Дженсиена Al – Fe+Ti – Mg (Jensen, 1976, Ontario Division of Mines, Miscellaneous Paper). Приведенные замечания справедливы и для базитов офиолитовых комплексов, рассмотренных в главе 5.

В подписи к диаграмме Ti – V (рис. 4.3.1) лучше указать, что числа у линий (границ полей) означают величины отношений Ti/V (обычно для геохимических диаграмм не используется терминология – котангенсы углов наклона граничных линий). “Классификационные геодинамические диаграммы” (рис. 4.3.3) правильнее называть диаграммами для определения геодинамических обстановок формирования пород.

В таблице 4.1.1 – Петрографическое описание пород метаморфических комплексов восточной части Горного Алтая – вызывает вопрос отдельное выделение метатерригенных пород и осадочных пород. Они здесь разделены по степени метаморфизма?

При рассмотрении геохимии метаосадочных пород не использованы параметры, которые позволяют по химическому составу установить природу протолита (осадочный, магматический) метаморфических пород, например дискриминантная функция DF (Shaw, 1972, Canadian Journal of Earth Sciences; Великославинский, 2013, Доклады Академии наук).

При описании протолита метаосадочных пород лучше указывать, что протолитом являются не “продукты выветривания”, а продукты разрушения надсубдукционных магматических пород.

Глава 5 рассматривает геологическое положение, петрографию, химический состав пород Кабак-Тайгинского офиолитового массива (меланжа) и прорывающих его лейкоплагиогранитов, а также массивов гранитоидов Каракудюрского и Кабадринского комплексов.

Замечания к главе 5.

В диссертации в подписях к некоторым диаграммам химического состава пород (например, 5.1.10, 5.1.11, 5.1.12) в одном списке перечислены авторы диаграмм и авторы работ, данные из которых дополнительно нанесены на диаграмму. Это затрудняет восприятие. Нужно цитировать отдельно работу, в которой была опубликована данная диаграмма и поля составов на ней, и отдельно – данные по каким объектам и из каких работ использованы, без общего перечисления в одном списке. Это замечание справедливо и для других аналогичных подрисуночных подписей.

В таблице 5.1.1. приведен химический состав серпентинита (образец 12-у-1), но он не соответствует серпентинитам из офиолитовых комплексов, которые содержат значительное

количество MgO (>35 %), мало Al_2O_3 и CaO (первые %), и имеют очень высокие значения потерь при прокаливании (п.п.п.) (около 15 %). Судя по химическому составу, эта проба представляет собой породу основного состава, подвергшуюся метасоматическим изменениям, вероятно эпидотизации (развитию цоизита) с выносом SiO_2 и щелочей и привносом CaO .

При сопоставлении пород офиолитов и metabазальтов метаморфических комплексов с породами современной океанической коры автор уделяет повышенное внимание сравнению с задуговым бассейном Вудларк (ЮЗ Тихого океана). Чем обусловлен этот выбор? Ведь в мире довольно много задуговых бассейнов, в которых формируются разнообразные базальты задуговых бассейнов (BABV) – от разностей, близких к N-MORB, до базальтов, имеющих обеднение HFSE и другие геохимические особенности надсубдукционных базальтов, и до базальтов с характеристиками OIB.

Термин “габбро-долерит” лучше заменить отдельными терминами «габбро» и «долерит». Тем более, что автором отдельно приведены фото шлифов габбро и долеритов. Возможно, “габбро-долерит” использован для простоты описания, но при этом теряется генетический смысл. Габбро обычно представляют собой породы закристаллизовавшейся магматической камеры, а долериты слагают дайки в океанической коре.

Есть вопрос к геологической терминологии. Как правильнее называть объект исследования – Кабак-Тайгинский массив или Кабак-Тайгинский меланж? Серпентинитовый меланж может слагать протяженные структуры, подобные изученной, и при этом содержит блоки разнородных пород (серпентиниты, габбро, базальты) размером от первых метров до десятков метров, но не блоки базальтов и габбро протяженностью первые километры и больше, показанные на схеме геологического строения и геологическом разрезе на рис. 5.1.1. Участки развития серпентинитов, габбро, базальтов здесь представляют крупные фрагменты тектонических пластин океанической литосферы.

В работе проводится сопоставление изученных офиолитов Кабак-Тайгинского массива (меланжа) с офиолитами Западной Тувы и Южной Тувы, но не проводится сопоставление с офиолитами Куртушибинского пояса Западного Саяна, которые пространственно близки структурам восточной части Горного Алтая.

На дискриминантных диаграммах Пирса для гранитоидов (рис. 5.2.6) показаны не только составы средних и кислых пород Каракудюрского комплекса, но и составы габброидов этого комплекса, что является неверным: на диаграмму для гранитоидов надо наносить только точки состава гранитоидов.

При описании возрастов гранитоидов Каракудюрского комплекса использованы U-Pb датировки цирконов из литературы. Это не указано явно в начале раздела «Возраст пород Каракудюрского комплекса», и создается впечатление, что эти данные получены автором. В подписи к рис. 5.2.7. с результатами U-Pb датирования цирконов из гранитоидов этого комплекса отсутствуют ссылки на литературу.

Термин “тоналит-гнейс” (рис. 5.3.1.) необходимо заменить термином «тоналитовый гнейс», либо «тоналитовый гранито-гнейс».

Глава 6 рассматривает геодинамическую эволюцию комплексов пород, слагающих восточную часть Горного Алтая, в венде-палеозое. В ней рассмотрены четыре этапа развития, приведены хронологические характеристики геологических процессов, показана палеогеодинамическая интерпретация, иллюстрированная палеогеодинамическими реконструкциями Сибирского континента и прилегающего пространства палео-океана.

Замечания к главе 6.

При описании относительного положения геологических структур необходимо указывать, что оно рассматривается в современных координатах (это не везде уточняется в диссертации и автореферате).

В главе 6 приведена геодинамическая модель развития структур южного и юго-западного складчатого обрамления Сибирского кратона в венде – перми (рис. 6.3), где в венде и раннем палеозое действуют две основные островные дуги – Кузнецко-Алтайская и Таннуольская (которая в ряде случаев в диссертации упоминается как Тувино-Монгольская) но при этом не рассматриваются альтернативные сценарии развития Палеоазиатского океана с несколькими островодужными системами, обрамляющими Сибирский континент.

Термин “Тувино-Монгольская островная дуга” представляется неудачным, поскольку возникает путаница с Тувино-Монгольским микроконтинентом (массивом). Лучше использовать термин Таннуольская островная дуга.

Что означает “субдукция литосфер Палеоазиатского океана”? Имеется ввиду субдукция литосферы? Здесь не нужно использовать термин «литосфера» во множественном числе.

В заключении суммированы полученные в диссертации выводы.

Общие замечания к диссертации касаются оформления работы. На рисунках в диссертации и автореферате используются слишком мелкие условные обозначения, а также мелкий текст на осях диаграмм состава минералов и горных пород. Часто в диссертации подрисуночные подписи приведены на странице, следующей за рисунком, что затрудняет восприятие. В диссертации встречаются орфографические ошибки и опечатки.

Приведенные в отзыве замечания по существу работы и представлению фактического материала в основном носят рекомендательный характер и могут быть использованы соискателем в дальнейшей работе.

Основные положения диссертации апробированы на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в достаточном количестве работ, включая 8 тезисов конференций и 3 статьи в рецензируемых журналах из списков WoS и Scopus, рекомендованных ВАК. Автореферат соответствует диссертации. Рассматриваемая диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертация представляет собой законченное исследование, в котором рассмотрены вопросы геологического строения и венд-палеозойской эволюции комплексов восточной части Горного Алтая, а её автор, Зиндобрый Виктор Дмитриевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 1.6.1 – Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика, 1.6.3 – Петрология, вулканология.

Беляев Василий Анатольевич, кандидат геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, научный сотрудник лаборатории геохимии основного и ультраосновного магматизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН). Адрес: 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А, рабочий телефон: (3952)511457, e-mail: belyaev@igc.irk.ru.

Я, Беляев Василий Анатольевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись

Подпись

ЗАВЕДУЮ

Зав. канцелярией
ИГХ СО РАН

31.10.2022

В.А. Беляев