

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Геологический институт  
Российской академии наук



Член-корреспондент РАН К.Е. Дегтярев  
6 сентября 2019 г.

**ОТЗЫВ  
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**на диссертационную работу «РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИЙ ГРАНИТОИДНЫЙ МАГМАТИЗМ СИБИРСКОГО КРАТОНА», представленную Донской Татьяной Владимировной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.01 – «Общая и региональная геология» и 25.00.04 – «Петрология, вулканология»**

Диссертационная работа Донской Татьяны Владимировны посвящена раннепротерозойскому гранитоидному магматизму Сибирского кратона и его роли в качестве индикатора роста и эволюции континентальной коры, становления структуры кратона. В работе представлен широкий круг вопросов, касающихся характеристики раннепротерозойской эры в истории Земли, геологического строения Сибирского кратона, положения гранитоидных комплексов в различных выступах фундамента кратона, этапов и геодинамической обстановки формирования гранитоидов на протяжении раннего протерозоя; изотопного датирования, петро-геохимической характеристики и изотопного состава Nd гранитоидов, а также петрологических моделей их образования.

Актуальность диссертации обусловлена своеобразием раннепротерозойского этапа в геологической истории Земли, когда происходило объединение архейских блоков земной коры в кратоны и формирование первого суперконтинента Колумбия, частью которого, возможно, являлся и Сибирский кратон, а также различием во взглядах на время проявления ключевых событий формирования структуры Сибирского кратона и возможностью использования раннепротерозойских гранитоидов как показателей масштабов роста и эволюции континентальной коры в данное время. В работе использован обширный авторский и опубликованный материал по структурному положению, возрасту, изотопно-геохимическим особенностям раннепротерозойских гранитоидов различных выступов фундамента Сибирского кратона.

Рассматриваемая работа общим объемом 410 страниц состоит из Введения, девяти глав, Заключения, списка литературы (373 наименования) и приложений (таблицы). В работе представлено 202 рисунка, иллюстрирующих все главные положения диссертации, и 4 таблицы, содержащие оригинальные и опубликованные данные о возрасте и условиях формирования раннепротерозойских гранитоидов и ассоциирующих с ними магматических образований Сибирского кратона; авторские анализы гранитоидов и вулканитов среднего и кислого состава на петрогенные и редкие элементы; авторские

определения изотопного состава Nd гранитоидов и вулканитов среднего и кислого состава; оригинальные и опубликованные данные о возрасте, петро-геохимическом типе и изотопном составе Nd гранитоидов.

Во введении (с. 6–12) изложен весь круг вопросов, связанных с работой. Определена ее актуальность, цели и задачи исследования, отмечен личный вклад автора, научная новизна, сформулированы шесть защищаемых положений, представлен большой список всероссийских и международных совещаний, на которых докладывались результаты исследований по теме диссертации и отдельные ее положения. Даны общая характеристика работы и авторское видение практической значимости работы, приведены благодарности, отмечены номера грантов РФФИ и РНФ, при поддержке которых была выполнена работа.

Небольшие замечания к защищаемым положениям.

1. В третьем и четвертом положениях лучше убрать слово «южный», иначе получается, что части кратона перекрываются, в то время как в работе для каждой из частей перечисляются свои выступы фундамента.

2. В четвертом положении отмечено, что есть различные эволюционные тренды в изменении вещественного состава раннепротерозойских гранитоидов для юго-восточной и юго-западной частей, но из представленной формулировки для юго-западной части вытекает, что тренда как раз нет.

3. Не очень удачно сформулирована вторая часть пятого положения – составы гранитоидов не могут коррелировать с событиями.

Нужно отметить, что в оглавлении диссертационной работы названия глав 1–7 имеют разноранговый характер – противопоставляются «гранитоиды, не связанные со становлением структуры кратона», с одной стороны, «надсубдукционные, коллизионные и внутриплитные», с другой стороны, и «гранитоиды Южно-Сибирского постколлизионного магматического пояса», с третьей. То же повторяется и в подписях к некоторым рисункам, например, 2.8, 2.11, 9.3. В названиях разделов 2.2–2.10 не нужно каждый раз повторять «структура и раннепротерозойские гранитоиды», достаточно один раз дать заголовок «Структура и раннепротерозойские гранитоиды выступов фундамента Сибирского кратона» и далее давать только названия выступов в разных разделах. В конце глав 3–5 и 7 приведены «Выводы», а в главе 6 – сначала дважды «Сравнительная характеристика...» для разных выступов фундамента, а потом «Выводы»; лучше, чтобы было единообразно. Слово «обзор», приведенное в названиях отдельных разделов работы кажется лишним.

**В главе 1** (с. 13–22) дана характеристика раннепротерозойской эры в геологической истории Земли и отмечено ее своеобразие, которое заключается в том, что с началом раннего протерозоя связано одно из самых длительных оледенений и глобальное изменение атмосферы Земли, а в течение 2.2–1.8 млрд лет сформировалось значительное количество крупных орогенных поясов, произошло объединение архейских кратонных блоков в более крупные единицы и был образован первый раннепротерозойский суперконтинент Колумбия. На приведенных в главе рисунках отражены различные реконструкции этого суперконтинента и показано место в них Сибирского кратона.

Замечаний к главе нет.

**В главе 2** (с. 23–79) описано геологическое строение Сибирского кратона и дана краткая характеристика раннепротерозойских гранитоидов во всех выступлениях фундамента

кратона. На основании обобщения приведенных в главе данных автор выделяет несколько основных этапов проявления гранитоидного магматизма, отражающих различные стадии эволюции Сибирского кратона. Результаты наглядно представлены в сводной таблице (рис. 2.12).

Замечания:

1. С. 32-33 – отмечено, что граниты второй и третьей групп Ангаро-Канского выступа являются постскладчатými и постметаморфическими, по химическому составу они относятся к А типу, а обстановка формирования в первом случае предполагается постколлизийная, а во втором – внутриплитная. То же самое для гранитоидов второй и третьей групп Станового выступа (с. 68).

2. В подписи к рис. 2.6 – граниты разделены на постколлизийные (обстановка формирования) и А-типа (петро-геохимический тип). В одном случае приведен диорит А-типа, а диориты не характерны для гранитов А-типа.

3. С. 35 – для первой группы гранитоидов Бирюсинского выступа предполагается коллизийная обстановка формирования, но граниты варьируют от низкокалиевых плагиогранитов до двуполевошпатовых гранитов. Последние действительно характерны для коллизийной обстановки, а вот первые нет.

4. С. 46 – гранитоиды первой группы Байкальского выступа охарактеризованы как дометаморфические (реликтовые), а второй группы как дометаморфические (надсубдукционные). Зачем употреблять слово «реликтовые», если эти гранитоиды относятся к гранитам переходного I-S-типа и обстановка их формирования связывается с коллизией островных дуг?

5. С. 51 – гранитоиды чуйско-кодарского комплекса Тонодского выступа S типа, но обстановка не как синколлизийная, а постколлизийная, для которой обычно характерны граниты переходные от I- к А-типу.

6. С. 60 – при описании конкретных метаморфических толщ, для некоторых сразу дается геодинамическая интерпретация (например, Федоровская толща Западно-Алданского блока – Федоровская островная дуга), а для других нет: в итоге геодинамическая обстановка описана ниже на с. 62. Описание должно быть единообразным: сначала фактические данные, потом интерпретация.

7. С. 61 – зачем слово реликтовый для дометаморфических гранитоидов, если они подразделяются на субдукционные, коллизийные и внутриплитные. Не очень хорошо противопоставлять гранитоиды островодужные и активных континентальных окраин, лучше окраин Андского типа (то же с. 74, 119).

8. С. 64 – не может сталкиваться Олекмо-Алданская микроплита (палеотектонический термин) с Нечерским террейном (картировочная единица) (то же С. 76, 161).

9. С. 71-72 – граниты второй группы определены как коллизийные, а геохимический тип – I граниты.

10. С. 76 (то же с. 179) – написано, что «интервал 2.0–1.95 млрд лет следует рассматривать как первую крупномасштабную стадию формирования структуры Сибирского кратона», но выше (с. 75) отмечено, что «именно с развития активной окраины (2.06–2.00 млрд лет) в пределах отдельных блоков Сибирского кратона может быть начат отсчет формирования структуры Сибирского кратона».

11. Таблица 2.12 – в названии палеопротерозойские гранитоиды, в тексте раннепротерозойские; с. 297 – в тексте палеопротерозойские, в подписях к рис. 8.1–8.3 – раннепротерозойские, лучше единообразно

Последующие главы 3–6 занимают основной объем работы и содержат обширный авторский материал по геологии, геохронологии, геохимии и изотопному составу Nd гранитоидных комплексов и в ряде случаев ассоциирующих с ними вулканитов среднего и кислого состава.

**В главе 3** (с. 80–118) рассмотрены наиболее древние гранитоиды с возрастом 2.5–2.04 млрд лет, количество которых невелико (зона сочленения Чара-Олекминского и Западно-Алданского блоков Алданского щита, Голоустенский блок Байкальского выступа) и они, по мнению автора, отражают локальные проявления магматической активности в пределах отдельных блоков, впоследствии вошедших в состав Сибирского кратона, и не связаны со стадиями становления его структуры. Отмечено, что эти гранитоиды имеют существенно различные геохимические характеристики, в том числе изотопный состав Nd, для них реконструируются разнообразные по составу источники и геодинамические обстановки формирования.

Замечания:

1. С. 83 – ссылаясь на классификацию Бернарда Барбарина, автор в одном случае пишет, что обогащенные калием известково-щелочные гранитоиды (КСГ тип) – это гранитоиды характерные для постколлизии обстановки растяжения, а в другом случае (с. 87, 135) – что благоприятной тектонической обстановкой для формирования этого же типа гранитоидов является переходный режим от субдукционного к коллизии.

2. С. 92 – судя по описанию автора, ориентированную структуру в катугинских гранитах можно считать признаком магматического течения и тогда не нужно использовать термин гнейсовидность.

3. Описание гранитов Катугинского массива Станового структурного шва выглядит излишне подробным в сравнении с описаниями гранитоидов других структур.

4. С. 109 – почему порода массива Сололи оленекского комплекса называется кварцевым диоритом, а не кварцевым монцодиоритом, если в ней 30% калиевого полевого шпата?

**В главе 4** (с. 119–145) представлены данные по гранитоидам с возрастом 2.06–2.00 млрд лет, присутствующим в пределах нескольких блоках южной и юго-восточной частей кратона, а также в Маганском террейне Анабарской провинции. Для гранитоидов этого этапа предполагается формирование в надсубдукционной геодинамической обстановке в пределах островных дуг или континентальных окраин. Отмечено, что гранитоиды данного этапа обнаруживают сходные геохимические характеристики, относятся к гранитам I типа, имеют преимущественно положительные значения эpsilon неодима. Совокупность данных позволяет реконструировать геодинамическую систему континентальной окраины Анабарской плиты с сопряженной с ней островными дугами, Олекмо-Алданской микроплиты и Федоровской островной дуги, Батомгскую островную дугу. Предлагается с началом развития активной окраины в пределах отдельных блоков начинать отсчет формирования структуры Сибирского кратона.

Замечания:

1. С. 119, подпись к рис. 4.1 – знак 5 – написано, что это гранитоиды, не связанные со становлением структуры кратона, но это, по-видимому, надсубдукционные гранитоиды, которые рассматриваются в данной главе.

2. С. 130 – написано, что «наиболее вероятно имело место утолщение коры в пределах формирующегося аккреционного орогена, объединяющегося в себя островные дуги, задуговые бассейны, океанические плато, небольшие континентальные блоки и т.д.» – наверное, правильнее говорить о наличии фрагментов этих структур в аккреционном орогене.

**В главе 5** (с. 146–179) рассмотрены гранитоиды, имеющие распространение в пределах всех выступов кратона, внедрение которых происходило в течение продолжительного интервала времени от 2.00 до 1.87 млрд лет и связано с коллизионной геодинамической обстановкой. В ряде случаев внедрение гранитоидов продолжалось и на постколлизионном этапе. Наличие большого массива данных по гранитоидам данной группы позволяет автору разделить длительный период их формирования на три этапа, каждый из которых отвечает определенной стадии становления структуры Сибирского кратона. В итоге сделаны выводы о том, что коллизионные гранитоиды с возрастом 2.00–1.87 млрд лет, с одной стороны, имеют черты сходства геохимических характеристик по ряду параметров, с другой стороны включают разные типы гранитов по «алфавитной» классификации, что объясняется разнообразием составов источников, подвергавшихся плавлению на различных участках Сибирского кратона. Отмечено, что коллизионные гранитоиды одного из этапов (2.00–1.96 млрд лет) имеют положительные значения эpsilon неодама, что автор связывает с переплавлением метамагматических пород, которые сформировались на более раннем этапе развития активных континентальных окраин или метатерригенных пород, отложение которых происходило непосредственно перед коллизионными событиями.

Замечания:

1. С. 151-152 – гранито-гнейсы Голоустенского блока Байкальского выступа фундамента определяются как коллизионные и формирование их протолитов предполагается за счет плавления позднеархейских пород континентальной коры, но величина эpsilon неодама в них небольшая отрицательная (-1.8), вероятно, при таком происхождении она должна быть значительно более отрицательной.

2. С. 163 – непонятно, что такое протемагматическая гнейсовидность?

3. С. 176-177 – Расположение точек составов коллизионных гранитоидов в поле постколлизионных гранитов на диаграмме Rb–Y+Nb (Pearce, 1996) не свидетельствует о том, что они были сформированы за счет плавления чисто коровых источников. В работе (Pearce, 1996) отмечено, что для гранитоидов постколлизионных обстановок характерно взаимодействие мантийного источника и коровых расплавов.

4. В разделе выводов по данной главе намечается некоторое противоречие между выводом о том, что коллизионные гранитоиды с возрастом 2.00–1.87 млрд лет обнаруживают сходные геохимические характеристики по ряду параметров (вывод б) и в то же время среди гранитоидов того же возраста есть объекты, имеющие гетерогенные химические характеристики (вывод в).

**В главе 6** (с. 180–283) изложен материал по гранитоидам с возрастом 1.88–1.84 млрд лет, которые пользуются широким распространением в южной части Сибирского кратона, формируют наиболее крупные массивы среди всех исследованных гранитоидов и в ассоциации с одновозрастными вулканическими породами объединяются в Южно-

Сибирский магматический пояс, прослеживающийся на расстоянии более 2500 км и пересекающий все основные тектонические структуры. Отмечено, что по геохимическим характеристикам гранитоиды и вулканиты различных частей пояса обнаруживают сходство с анорогенными гранитами А-типа (Байкальский выступ), с гранитами I-, S- и А-типов (Бирюсинский выступ), с гранитами S- и А-типов (Тонодский выступ) и большинство пород было образовано за счет плавления смешанных корово-мантийных источников. Показано, что разнообразие составов гранитоидов и ассоциирующих вулканитов в Южно-Сибирском поясе зависит от разнообразия состава их источников, а также от условий кристаллизации родоначальных расплавов. Формирование пород Южно-Сибирского пояса, по мнению автора, фиксирует окончательную стадию становления структуры Сибирского кратона и, возможно, вхождения его в структуру палеопротерозойского суперконтинента Колумбия.

Замечания:

1. С. 207-208 (то же с. 228, 237, 261) – приведены составы минералов, выше при описании гранитоидов других групп их не было, за исключением гранитов Катугинского массива. В целях единообразия описания, можно было только сослаться на эти данные.

2. С. 207 – упомянуто, что изучался Гиргантуйский массив, но ниже в описании его нет. Неясно изучала ли его автор и не вставила описание в текст или он изучался Левицким и др. 2002.

3. С. 209 – излишне приводить методику выделения цирконов, выше при описании гранитоидов других групп она не приводилась.

4. С. 254-256 – приведена оценка вклада мантийного и корового материала в источники вулканитов кислого состава акитканской серии с использованием модели двухкомпонентного смешения. Однако для гранитоидов других групп и вулканитов моделирование не проводилось, поэтому представлять его в работе кажется излишним, нарушает единообразие описания, можно было просто сослаться на результаты.

Все-таки остается неясным, что такое постколлизийная обстановка формирования? Южно-Сибирский протяженный пояс накладывается на разные тектонические структуры, сформированные ранее, и имеет сходство с окраинно-континентальным поясом надсубдукционного происхождения. В то же время в различных его участках встречаются как гранитоиды, сходные с анорогенными гранитами А-типа, формирующимися во внутриплитных обстановках, так и с гранитами I-, S- и А-типов, одновременное проявление которых сопоставляется с коллизийной обстановкой предшествующего этапа становления Сибирского кратона.

**В главе 7** (стр. 284–296) рассмотрены гранитоиды с возрастом 1.76–1.71 млрд лет, локально распространенные в пределах юго-западной и юго-восточной частей кратона. В данной главе автор обобщила опубликованные в последние годы данные по гранитоидам этого возраста Ангаро-Канского и Бирюсинского выступов, а также Билякчан-Улканского вулcano-плутонического пояса. Сделаны выводы о том, что фиксируется перерыв около 100 млн лет между предшествующим магматизмом Южно-Сибирского пояса и формированием анорогенных гранитоидов данного этапа; гранитоиды и ассоциирующие вулканиты имеют сходные геохимические характеристики и относятся к внутриплитным гранитам А-типа, за исключением вулканитов енисейского комплекса. Внедрение гранитоидов, вулканитов, а также даек основного состава связано с процессами внутриконтинентального растяжения в пределах Сибирского кратона, не приведшими к разрушению его структуры.

Замечания:

1. С. 285 – написано, что гранитоиды и вулканы образуют Билякчан-Улканский вулканический пояс, но по классике анорогенные гранитоиды А-типа образуют кольцевые плутоны. Нет ли соответствующих примеров для данного региона?
2. Анорогенные гранитоиды юго-западной части кратона относятся к гранитам А-типа, но почему-то не попадают в поле внутриплитных гранитов Дж. Пирса, хотя должны бы.

**Главы 8 и 9** (стр. 297–334) являются итоговыми, в них проанализирована эволюция вещественного состава раннепротерозойских гранитоидов Сибирского кратона; выделены два основных этапа роста раннепротерозойской континентальной коры, связанные с трансформацией первичной коры среднего состава в зрелую континентальную кору и увеличением ее объема в обстановке постколлизии растяжения; протестированы предложенные ранее модели становления структуры кратона и предложена собственная с использованием всей совокупности авторских данных о возрасте и вещественном составе раннепротерозойских гранитоидов.

Замечания:

1. С. 303 – «Однако важно отметить, что точки изотопного состава всех коллизионных гранитоидов вне зависимости от возраста и блока, в котором они расположены, попадают в поля эволюции изотопного состава Nd вмещающих их пород (рис. 8.4 – 8.8)» – не везде это так, например, рис. 8.4 б, 8.5 а (зеленые квадраты не расшифрованы в подписях).

2. С. 314 – отмечено, что «Гранитоиды Анабарского щита обнаруживают составы, типичные для пород коллизионной (постколлизии) геодинамической обстановки», но из работы вытекает, что для коллизионной обстановки характерно присутствие всех типов гранитов – S-, I- и А-типов, т.е. сказать, какой из них типичен для обстановки коллизии, не получается.

Переходя к общим положениям отзыва, можно отметить, что диссертационная работа Т.В. Донской является крупным региональным обобщением и вносит фундаментальный вклад в разработку проблем эволюции раннепротерозойского гранитоидного магматизма, механизмов роста континентальной коры и становления структуры Сибирского кратона.

Новизна исследования и полученных результатов заключается в том, что Т.В. Донская впервые выделила и детально обосновала основные этапы раннепротерозойского гранитоидного магматизма Сибирского кратона, создала схему корреляции раннепротерозойских гранитоидов для всей территории кратона. Автор впервые провела геохимическую и изотопно-геохимическую типизацию раннепротерозойских гранитоидов Сибирского кратона, установила их источники и определила геодинамические условия формирования. Выявлены различия в эволюции гранитоидного магматизма для разных частей кратона и различные эволюционные тренды в изменении вещественного состава раннепротерозойских гранитоидов для юго-восточной и юго-западной частей кратона. Т.В. Донская выделила два основных раннепротерозойских этапа роста континентальной коры и реконструировала основные стадии становления структуры Сибирского кратона.

Степень обоснованности и достоверности каждого научного положения, выводов и заключений соискателя заключается в многочисленных публикациях (45 статей, в том числе 25 в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК и цитируемых в WoS, одна коллективная монография) и докладах на Всероссийских и международных

конференциях. Этот уровень апробации позволяет не сомневаться в достоверности авторских разработок.

Изложенные автором положения и результаты несомненно имеют важное практическое значение и могут быть использованы при разработке легенд к госгеолкартам ГГК-200 и ГГК-1000, корректировке региональных схем магматизма и метаморфизма, геодинамических реконструкциях и постановке прогнозно-поисковых работ.

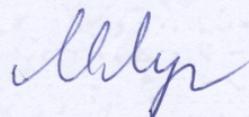
Диссертация и автореферат написаны хорошим языком, содержание каждого последующего раздела логически вытекает из предыдущего. Небольшое количество опечаток и редакционных замечаний нисколько не снижает ее содержательности и высокого научного уровня. Работа требует минимальной редакторской правки, чтобы подготовить ее к изданию, что было бы очень полезно для широкого круга геологической общественности.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и защищаемым положениям.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» для учёной степени доктора наук, а её автор, Донская Татьяна Владимировна, безусловно заслуживает присуждения степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.01 – «Общая и региональная геология» и 25.00.04 – «Петрология, вулканология».

Лучицкая Марина Валентиновна  
Главный научный сотрудник  
Лаборатории тектоники океанов и приокеанических зон ГИН РАН  
доктор геолого-минералогических наук

тел.+7(495)951-96-14  
e-mail: luchitskaya@ginras.ru



Обсуждение диссертационной работы состоялось на заседании Лаборатории тектоники океанов и приокеанических зон ГИН РАН, одним из направлений научной деятельности которой является изучение гранитоидного магматизма. Отзыв на диссертационную работу Донской Татьяны Владимировны рассмотрен и утверждён на заседании Учёного Совета ГИН РАН 5 сентября 2019 года (протокол № 6) в качестве официального отзыва ведущей организации.

Ученый секретарь ГИН РАН,  
кандидат геолого-минералогических наук



Г.Н. Александрова

#### **Сведения об организации**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН)

Почтовый адрес: 119017 г. Москва, Пыжевский переулок, дом 7, строение 1

Интернет адрес: <http://www.ginras.ru/>

тел.: +7 (495) 953-18-19

факс: +7 (495) 951-04-43