

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института геологии и минералогии  
им. А.П. Виноградова СО РАН

Д.Г.-М.Н.

«14» октября 2021 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Аржанниковой Анастасии Валентиновны "Морфоструктурная эволюция Прибайкалья и Забайкалья в позднем мезозое-кайнозое", представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – геотектоника и геодинамика.

Проблемы пространственно-временных закономерностей развития рельефа Прибайкалья и Забайкалья в позднем мезозое – кайнозое уже не одно десятилетие привлекают внимание специалистов различных направлений. При этом результаты, полученные при структурно-геоморфологических, седиментологических и геохронологических исследованиях играют важную роль в геодинамических построениях и решении проблем глобального преобразования литосферы. Решению именно этих вопросов и посвящена диссертационная работа А.В. Аржанниковой, в которой рассматриваются основные этапы и особенности морфоструктурной эволюции Прибайкалья и Забайкалья от закрытия Монголо-Охотского океана до Байкальского рифтогенеза. До последнего времени изучение истории развития рельефа базировалось на относительных определениях его возраста по данным геолого-геоморфологических исследований. С развитием методов абсолютной геохронологии появилась возможность точного датирования различных форм рельефа земной поверхности, а также оценки скоростей тектонических смещений и эрозионных процессов. Использование методов абсолютной геохронологии для определения времени формирования различных морфоструктур в комплексе с традиционными геоморфологическими, седиментологическими и палеосейсмологическими исследованиями является новым современным подходом к изучению эволюции рельефа. Комплексный подход особенно хорошо применим к изучению многофазного рельефа, как раз такого, как в районе Монголо-Охотского шва и южной границы Сибирской платформы.

Работа А.В. Аржанниковой является, безусловно, актуальной. **Научная новизна** исследования не вызывает сомнений. Автор исследования дает информацию для построения пространственно-временной модели формирования рельефа Прибайкалья и



Забайкалья, а количественная оценка возраста морфоструктурных элементов, скоростей тектонических смещений и эрозионных процессов позволяет соответствовать данным исследованиям современному мировому уровню. Создание такой модели имеет **практическую значимость**, так как позволяет оценивать скорости смещения и сейсмический потенциал главных сейсмогенерирующих разломов Прибайкалья и Забайкалья. Оценка скоростей смещения по разломам является необходимым звеном при прогнозе сейсмического риска, что особенно актуально в таком сейсмоопасном регионе, как Байкальский.

В основу диссертационной работы А.В. Аржанниковой положен **фактический материал**, собранный автором за 20 лет полевых, морфотектонических, седиментологических и палеосейсмологических исследований. Приведенные в работе многочисленные авторские геохронологические характеристики позволили установить и описать этапность рельефообразующих процессов при формировании морских и континентальных позднемезозойских отложений Забайкалья. Исходный материал, на котором основана работа, изучен с применением **новейших методов исследования** вещества различных геологических комплексов.

Работа А.В. Аржанниковой состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем работы составляет 410 страниц, включая 16 таблиц, 118 рисунков. Список литературы состоит из 410 наименований.

Глава 1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ представляет собой «введение в проблему» морфоструктурной эволюции Прибайкалья и Забайкалья в позднем мезозое и кайнозое.

В первой части этой главы дана краткая характеристика двух крупнейших тектонических событий – (1) закрытия Монголо-Охотского океана в юре, приведшего к коллизии сибирских и монголо-китайских блоков, и последующего за этим раннемелового рифтогенеза, охватившего обширную территорию юга Сибири, Монголии и Китая и (2) Индо-Азиатской коллизии, напряжения от которой транслировались до края Сибирского кратона, где реализовывался Байкальский рифтогенез.

Обзор опубликованных данных и рассмотрение этих тектонических событий позволило автору утверждать, что активные этапы были разделены периодом относительного тектонического спокойствия, во время которого сформировалась широкомасштабная поверхность выравнивания, остатки которой до сих пор наблюдаются в современном рельефе.

Субдукционные и коллизионные процессы должны были привести к значительному коровому утолщению и интенсивному рельефообразованию. При этом верхняя часть терригенных осадков, заполняющих верхнемезозойские впадины вдоль зоны Монголо-Охотского шва, носит мелкообломочный характер, свидетельствующий об отсутствии



активных рельефообразующих процессов. Автор справедливо связывает данное несоответствие с большим разносом во времени формирования высокогорного рельефа и впадин, заполненных мелкозернистыми осадками, на одной и той же территории, либо с быстрой деструкцией высокогорного рельефа, сформированного в зоне закрытия океана.

Во второй части этой главы автор охарактеризовал новейшие и традиционные методы изучения и датирования осадков, вулканитов, элементов рельефа и определения скоростей тектонических деформаций и эрозионных процессов:

-U-Pb метод датирования цирконов с использованием лазерной абляции с индуктивно связанной масс-спектрометрией (LA-ICP-MS). Этот метод позволяет определять возрасты детритовых цирконов из осадочных пород, что, в свою очередь, позволяет определить источники сноса при осадконакоплении. U-Pb (LA-ICP-MS) также использовался для датирования магматических цирконов из даек.

- Ar-Ar метод датирования магматических пород

- трековый анализ апатитов, основанный на подсчете плотности треков осколков спонтанного деления ядер урана

- радиоуглеродное ( $^{14}\text{C}$ ) осадочных отложений по включенным в них органическим остаткам

- космогенно-изотопное ( $^{10}\text{Be}$ ) датирование аллювиальных поверхностей и расчета скоростей смещения по разломам. Были использованы два подхода – измерение концентрации  $^{10}\text{Be}$  в образцах, отобранных на поверхности, и вдоль глубинных профилей

- дистанционное изучение конкретных геолого-геоморфологических объектов с составлением геоморфологических схем посредством дешифрирования аэрофотоснимков (масштаба 1: 32000-50000), космоснимков, материалов радарной съемки SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) и Tan-DEM-X с разрешением 12 м

- палеосейсмогеологический метод для изучения сейсмогенерирующих разломов

Глава 2 ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИЙ ТЕКТОНИЧЕСКИЙ ЭТАП посвящена характеристике раннего события: закрытия Монголо-Охотского океана в юре, приведшего к коллизии сибирских и монголо-китайских блоков, и последующего за этим раннемелового рифтогенеза, охватившего обширную территорию юга Сибири, Монголии и Китая.

На основании проведенных исследований и анализа опубликованных данных автор выделил несколько основных этапов позднемезозойской морфоструктурной эволюции Прибайкалья и Забайкалья.

1. Раннеюрский этап (плинсбах) - время формирования Иркутского прогиба, где источником сноса выступала относительно поднятая Саянская область. Мелкозернистый характер осадков свидетельствует о слабой расчлененности рельефа. Максимальное угленакопление приходится на ~187 млн лет. В Забайкалье относительно поднятой областью был район Ангаро-Витимского батолита, откуда сносились осадки как на север



через палео-Лену к Верхоянской окраине, так и на юг к Монголо-Охотской континентальной окраине

2. Конец ранней юры (~178 млн лет) - время закрытия Монголо-Охотского океана в Западном Забайкалье и коллизионного сжатия и поднятия этой территории. Эти процессы отразились на погрубении осадков Иркутского бассейна с добавлением нового забайкальского источника сноса осадочного материала.

3. Этап растяжения в Западном Забайкалье, начавшийся не позднее ~168 млн лет, маркируется раскрытием первых постколлизионных грабенів Забайкалья и формированием ичетуйской/березовской свит в пределах Тугнуйской впадины. Перенос осадочного материала с юга и юго-запада с районов Хэнтэйского и Хангайского батолитов свидетельствует о существовании положительного рельефа вдоль зоны Монголо-Охотской сутуры. ~165 млн лет - время закрытия Монголо-Охотского океана и начала коллизии в Восточном Забайкалье, формирование Восточно-Забайкальского бассейна форланда на фундаменте Керулено-Аргунского террейна.

4. ~154 млн лет - начинается тектонически спокойный период в Западном Забайкалье, который характеризуется медленным растяжением и накоплением тонкозернистых осадков тугнуйской свиты. Снос продолжается с южных провинций, но расчлененность рельефа достаточно слабая. В Восточном Забайкалье морское осадконакопление сменяется континентальным, добавляются источники сноса с севера и запада.

5. Конец поздней юры - эрозионный эпизод в Западном Забайкалье, когда осадки тугнуйской свиты подверглись складчатым деформациям и размыву. Эпизод связан с распространением к западу деформаций сжатия от удаленной коллизии в Восточном Забайкалье.

6. Граница юры и мела - возобновление растяжения в Западном Забайкалье, погрубение материала в завершающей юрской разрез галгатайской свите. Возобновляется перенос осадочного материала с южных провинций (рис. 2.21F).

7. ~136 млн лет - начало формирования меловых впадин Забайкалья, начало формирования комплексов метаморфических ядер. В Гусиноозерской впадине в это время происходит накопление грубозернистой сангинской свиты с большим вкладом источников сноса из южных провинций.

8. ~116 млн лет – период выравнивания рельефа и медленного прогибания впадин с озерно-болотными условиями седиментации и преобладанием местных источников сноса. Относительно поднятыми участками рельефа остаются районы гранитных батолитов и эксгумированные комплексы метаморфических ядер.

Результаты датирования детритовых цирконов из морских и континентальных отложений северной части Керулено-Аргунского террейна, вместе с анализом



опубликованных данных по другим сегментам Монголо-Охотского пояса, позволили автору сделать вывод о клавишном закрытии Монголо-Охотского океана, при котором северная часть Керулено-Аргунского террейна была последним блоком, присоединившимся к Сибирскому континенту ~165 млн лет назад.

В главе 3 ЭТАП СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ И ВЫРАВНИВАНИЯ РЕЛЬЕФА рассмотрены временные и пространственные закономерности формирования денудационного рельефа. Автор показал, что поверхность выравнивания, сохранившаяся на Окинском плато, развивалась в течение мезозоя в процессе разрушения раннеюрского рельефа, поставлявшего осадки на территорию Иркутского бассейна. Образование пенеplена в районе Окинского плоскогорья приходится, по данным трекового анализа, на конец юры – начало мела (140 – 150 млн лет). Как отмечает автор, похожая история эксгумации образцов с Окинского плоскогорья и с хребта Кропоткина свидетельствует об отсутствии вертикальных смещений между этими блоками с юры до конца миоцена. Сформированная в раннем мелу поверхность выравнивания, на которой присутствовали только небольшие 200-300 – метровые холмы, но не осталось структурированной дренажной сети, начала подвергаться речной эрозии в олигоцене – раннем миоцене. Этот возобновленный врез долин вероятно связан с широкомасштабным куполообразным воздыманием региона и формированием общего наклона поверхности в сторону Сибирской платформы. Вновь сформированные широкие, но не глубокие долины, а также окружающие их плоские поверхности, были затем частично запечатаны миоценовыми лавами.

Долговременная (за 190 млн лет) скорость эксгумации порядка 17,5 м/млн лет, полученная по результатам трекового анализа апатитов для Окинского плато, соответствует кратковременной (несколько сотен тысяч лет) скорости денудации (12-20 м/млн лет), полученной с помощью  $^{10}\text{Be}$  анализа, что по мнению автора свидетельствует о том, что средняя скорость денудации плато остается в целом постоянной во времени. Эта денудация препятствует формированию на поверхности латерит-каолининовой коры выветривания, которая наблюдается на других остатках древнего пенеplена Южной Сибири.

Термальное моделирование показало, что Монголо-Охотская субдукция повлияла на горообразование в районе Восточного Саяна в районе 190 млн лет. Однако последующая коллизия, сформировавшая положительный рельеф в районе Западного Забайкалья, о чем было сказано в предыдущей главе, не значительно отразилась на территории Восточного Саяна, где продолжалась постепенная планация рельефа. Денудация этой территории способствовала прекращению осадконакопления в Иркутском бассейне в начале средней юры.



Автор заключает, что формирование поверхности выравнивания в районе Восточного Саяна происходило одновременно с коллапсом Монголо-Охотского орогена. Позднее, продолжающаяся денудация способствовала постоянному обновлению сформированной поверхности и не позволяла образовываться латерит-каолининовой коре выветривания.

Глава 4 НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЙ ЭТАП МОРФОСТРУКТУРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ РЕГИОНА является самой объёмной среди всех глав диссертации. В ней рассмотрены закономерности распределения деформаций, отражающие особенности морфоструктурной эволюции региона на позднемиоцен-четвертичном этапе.

Блоковое поднятие хребтов Восточного Саяна происходило в транспрессивном деформационном режиме с преобладанием на отдельных этапах вертикальных либо горизонтальных перемещений по основным морфоконтролирующим разломам. Ранний этап блокового поднятия, который начался в конце миоцена, характеризуется направлением сжатия от субмеридионального до север-северо-восточного, в результате чего преобладали надвиги, как по субширотным, так и по северо-западным разломам. На позднечетвертичном этапе направление действия сжимающих усилий для данного района склоняется к северо-восточному, в результате чего по субширотным разломам стали преобладать левосторонние сдвиговые перемещения. На примере хребта Кропоткина и западной части Тункинского хребта показан механизм формирования субширотно ориентированных хребтов в условиях северо-восточного сжатия в виде «цветковой» структуры. Деформации растяжения в Восточном Саяне являются локальными и сопутствуют зонам главных субширотных сдвиговых структур.

Комплексное геоморфологическое, геохронологическое и сейсмотектоническое изучение террасовых комплексов речных долин, деформированных бортовыми разломами в различных впадинах Байкальского рифта и Забайкалья, позволили оценить возраст, скорости вреза на разных этапах формирования лестниц террас, а также соотношение вертикальных скоростей смещения по разломам, контролирующим развитие впадин Байкальской рифтовой системы и Забайкалья. Исследования автора показали, что возраст террас крупных рек, дренирующих хребты, расположенные вдоль активных бортов впадин, различается как для районов Прибайкалья и Забайкалья, так и внутри Байкальской рифтовой системы. Самые молодые террасы формируются в подножье Тункинского хребта на юго-западном фланге Байкальского рифта, их возраст не выходит за рамки MIS 2. На примере р. Кынгарга показано, что для рек, дренирующих южный склон Тункинского хребта, характерно большое количество террас (в данном случае шесть), часть из которых обособилась за счет климатических изменений, а часть – за счет смещений по Тункинскому разлому, вертикальная скорость смещения для которого составляет  $\sim 0.9$  мм/год. Для рек, дренирующих Кичерский и Баргузинский хребты



возраста террас значительно древнее и охватывают промежуток времени от ~42 тыс. лет для первой террасы до >315 тыс. лет для пятой. Большой возраст террас и небольшие амплитуды их деформаций определяют низкие скорости смещения по бортовым разломам в пределах ~0.2-0.5 мм/год. На примере Северо-Байкальской (Кичерской) и Баргузинской впадин показано, что минимальные скорости опускания приурочены к краевым частям впадин. Результаты датирования деформированной террасовой поверхности в зоне Хилокского разлома в Забайкалье показали самый древний возраст по сравнению с террасами Байкальского рифта и минимальные скорости смещения по разлому в ~0.07 мм/год. При этом в Хилокской впадине геоморфологическая выраженность позднекайнозойских деформаций наиболее яркая по сравнению с другими впадинами Забайкалья. Это свидетельствует о том, что в кайнозое тектоническая активность переместилась из Забайкалья на границу с платформой, но при этом растяжение не концентрируется в пределах Байкальского рифта, а распространяется в юго-восточном направлении, наследуя активные в мезозое структуры.

Юго-Западный фланг Байкальского рифта тесно связан с деформациями, господствующими в Северной Монголии, и развивается в транспрессивном режиме деформирования. Для Тункинской системы впадин характерна позднечетвертичная инверсия кинематики субширотных сегментов главных морфоконтролирующих разломов. Восток-северо-восточное направление движения Хамар-Дабанского блока приводит к реализации взбросо-сдвиговых деформаций вдоль северной его границы на субширотных сегментах Мондинского, Тункинского и юго-восточного участка Главного Саянского разломов, что отражено в разрезах и в морфоструктуре палеосейсмодислокаций. Оцененная позднеплейстоцен-голоценовая скорость сдвигового смещения по Тункинскому, Мондинскому и юго-восточному сегменту Главного Саянского разломов заключена в пределах 1.1 - 3.9 мм/год.

Скорости смещения, определенные для Мондинского, Тункинского и юго-восточного сегмента Главного Саянского разломов, вместе с датированием палеосейсмических событий, позволили автору оценить период повторяемости землетрясений с магнитудой 7-8 в 3.9-4.2 тыс. лет для всех трех разломов. Полученные данные показали, что сильные землетрясения по этим разломам происходили на протяжении последних ~13 тыс. лет в одни и те же промежутки времени, то есть разломы могли вскрываться одновременно или последовательно друг за другом.

Несомненным достоинством диссертации является то, что содержательные главы 2,3,4 с фактическим авторским материалом структурированы по единой системе, начинаются с обзора литературных данных и продолжаются подачей результатов и их обсуждением. Рисунки и таблицы хорошего качества с указанием всех необходимых



индексов с соответствующими пояснениями в подписях. Текст читается легко и не содержит грамматических ошибок.

Основываясь на изложенном материале, А.В. Аржанникова формулирует пять защищаемых положений. Все они не вызывают сомнения. В то же время, необходимо отметить следующее:

Во втором, третьем и четвертом защищаемых положениях соискатель на разных объектах показывает особенности морфоструктурной эволюции литосферы по южному обрамлению Сибирской платформы. Например, во втором защищаемом положении на основании изменений условий седиментации и источников сноса указывается на существование 8 основных этапов морфоструктурной эволюции между ~187 и ~116 млн лет, которые характеризовались сменой, усилением и ослаблением деформаций сжатия и растяжения.

Представляется логичным попытаться сопоставить между собой эти этапы с этапами магматической активности и с составами магматических ассоциаций, которые меняются во времени по мере омоложения. Опираясь на данные соискателя, можно предположить, что тектонические перестройки, деформации сжатия и растяжения и этапы морфоструктурной эволюции будут коррелировать с этапами формирования, масштабами и вещественными параметрами вулcano-плутонических комплексов Прибайкалья, Забайкалья, Восточного Саяна и Байкальского рифта, что имеет важнейшее значение для палеогеодинамических реконструкций.

Возможно, в пятом защищаемом положении следовало бы пояснить, почему скорости смещения по разломам Байкальского рифта постоянны на всем позднемiocен-четвертичном этапе развития и, в среднем, на порядок выше, чем для впадин Забайкалья. Какой вывод следует из того, что магнитуды разрывообразующих палеоземлетрясений для основных сейсмогенерирующих разломов Байкальского рифта оцениваются в интервале 6.6-8?

Эти замечания являются дискуссионными и рекомендательными и не снижают научную ценность работы А.В. Аржанниковой.

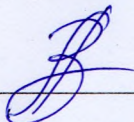
Огромный собственный геологический материал соискателя, комплекс использованных современных методов исследования вещества позволяет характеризовать диссертацию как законченный научный труд, внесший вклад в решение крупной научной проблемы: пространственно-временные закономерности развития рельефа Прибайкалья и Забайкалья в позднем мезозое – кайнозое. Исследования А.В. Аржанниковой, касающиеся оценки скоростей смещения и сейсмического потенциала главных сейсмогенерирующих разломов Байкальского рифта и Забайкалья с определением возможных магнитуд и периодов повторяемости разрывообразующих землетрясений, являются необходимым звеном при геологическом картировании, стратиграфических исследованиях и оценке сейсмической опасности континентальной литосферы.



Актуальность темы исследований, широта и высокий научный уровень, показанный автором, его личный вклад в решение проблем морфоструктурного и геодинамического развития литосферы Прибайкалья и Забайкалья в позднем мезозое-кайнозое, позволяет говорить о том, что рассматриваемая рецензируемая работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Основные результаты исследований, позволившие сформулировать защищаемые положения, опубликованы в зарубежных научных журналах и российских периодических изданиях, рекомендованных ВАК. Содержание автореферата полностью отражает содержание диссертационной работы. Ее автор, Аржанникова Анастасия Валентиновна, несомненно, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.03 – геотектоника и геодинамика.

Воронцов Александр Александрович  
доктор геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник ИГХ СО РАН

Я, Воронцов Александр Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

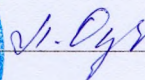


13 октября 2021 г.

Подпись д.г.-м.н. Воронцова А.А. заверяю

Начальник Отдела кадров ИГХ СО РАН

13 октября 2021 г.

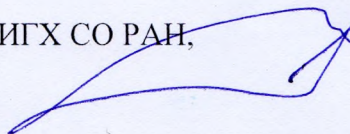



Л.Н. Одареева

Отзыв на диссертационную работу Аржанниковой А.В. рассмотрен и принят в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета ИГХ СО РАН от 13 октября 2021 г., Протокол № 10.

Председатель Ученого совета ИГХ СО РАН,

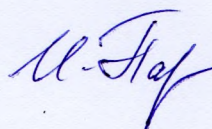
д.г.-м.н.



А.Б. Перепелов

Секретарь Ученого совета ИГХ СО РАН,

к.х.н.



И.Ю. Пархоменко