

Сведения о проекте

1.1 Название проекта на русском языке

Факторы и механизмы новейшей и активной тектоники Тувино-Монгольского региона

Название проекта на английском языке

Factors and mechanisms of recent and active tectonics of the Tuva-Mongolian region

1.2. Описание возможного содействия в рамках реализации проекта выполнению национальных проектов технологического лидерства

Проект направлен на изучение новейшей тектоники Тувино-Монгольского региона. Новейшие тектонические движения контролируют распространение опасных геологических процессов, как экзогенных (оползни, обвалы, карст, сход селей и лавин и так далее), так и эндогенных. Наиболее опасное их проявление - землетрясения. Результаты исследования позволяют уточнить риски связанные с сейсмической опасностью региона, а также обосновать новый критерий оценки сейсмической опасности, который позволит с большей точностью проводить сейсморайонирование, необходимое для снижения опасности и выбора необходимых сейсмостойких конструкций при осуществлении инфраструктурных проектов и жилищного строительства, для повышения безопасности граждан РФ и устойчивого развития общества.

1.3. Ключевые слова

на русском языке

неотектоника, активная тектоника, структурные парагенезы, стратиграфия неоген-четвертичных отложений

на английском языке

Neotectonics, active tectonics, structural paragenesis, stratigraphy of Neogene-Quaternary sediments

1.4. Аннотация проекта

на русском языке

Проект направлен на решение комплексной научной проблемы, заключающейся в выявлении факторах и механизмах формирования новейшей тектонической структуры внутриплитных территорий и оценке сейсмической опасности, связанной с активными разрывными нарушениями, развитыми на подобных территориях. Для решения этой проблемы выбрана область Тувино-Монгольского региона, которая отличается высокой тектонической активностью, в том числе сейсмической и, являясь частью Центральноазиатского складчатого пояса, развивается на древнем палеозойском субстрате. Таким образом, формирование новейшей структуры обусловлено многими факторами, в первую очередь, она развивается под воздействием коровых факторов, определяющих современное поле тектонических напряжений, и под влиянием мантийных процессов (плюмов), оказывающих значительное воздействие как на современный облик рельефа, так и на строение земной коры и процессы в ней протекающие. Вопросы внутриплитного горообразования до сих пор являются недостаточно изученными, а углубление понимания этого процесса позволит с большей точностью реконструировать подобные процессы минувших геологических эпох. Важным элементом новизны проекта является внимание к факторам, усложняющим структурный ансамбль новейших структур, в том числе рисунок активных разломов. К таким факторам относится:

1. тектоническая структура региона, сформировавшаяся в общих чертах еще в позднем докембрии-среднем палеозое. В условиях современных тектонических напряжений древние структуры испытывают реактивацию, придавая новейшему структурному ансамблю уникальные черты;
2. влияние вещественного геологического субстрата на параметры активных разломов. В работе [Трифонов В.Г., Бачманов Д.М., 2025; Трихунков Я.И. и др., 2024] авторы выдвинули предположение, что зоны развития офиолитовых комплексов существенно влияют на параметры активных разломов в сторону увеличения амплитуд смещений и длины вспарывания земной поверхности во время землетрясений. Это предположение требует дальнейшего изучения, в том числе на основе статистических методов, что позволит выявить новый, важный критерий оценки сейсмической опасности;

3. взаимодействие блоков, разделенных крупными разломными зонами, которое формирует локальные тектонические напряжения, вызванные условиями тренстенсии или транспресси и т.д. К таким взаимодействиям можно отнести и вращение блоков друг относительно друга, что сопровождается формированием специфических комплексов тектонических структур. Такие движения могут быть реконструированы на основе характеристик остаточной намагниченности горных пород с высокой естественной намагниченностью, например кайнозойских базальтов, широко развитых на севере Монголии;

4. кайнозойский вулканизм, петрография, петрология и история развития, как проявление мантийной компоненты новейшей геодинамики. Его изучение позволит понять параметры мантийных и коровых источников плюмового вулканизма;

5. формирование межгорных и внутригорных впадин, отложения которых отражают историю и динамику развития горных сооружений, палеогеографию и палеоэкологию изучаемых территорий, сопоставить геологические события и их масштаб в разных районах Центральноазиатского региона.

на английском языке

The project is aimed at solving a complex scientific problem consisting in identifying the factors and mechanisms of formation of the latest tectonic structure of intraplate areas and assessing the seismic hazard associated with active rupture faults developed in such areas. To solve this problem, we have chosen the area of the Tuva-Mongolian region, which is characterized by high tectonic activity, including seismic activity, and, being a part of the Central Asian fold belt, is developed on the ancient Paleozoic substrate. Thus, the formation of the newest structure is conditioned by many factors, first of all, it develops under the influence of crustal factors that determine the present-day tectonic stress field and under the influence of mantle processes (plumes) that have a significant impact both on the present-day appearance of the relief and on the structure of the Earth's crust and the processes occurring in it. The issues of intraplate mountain formation are still insufficiently studied, and a deeper understanding of this process will allow us to reconstruct similar processes of past geological epochs with greater accuracy. An important element of the novelty of the project is the attention to the factors that complicate the structural ensemble of the latest structures, including the pattern of active faults. Such factors include:

1. The tectonic structure of the region, which was formed in general terms in the late Precambrian-Middle Paleozoic era. Under modern tectonic stresses, ancient structures are undergoing reactivation, giving the newest structural ensemble unique features;

2. The influence of the geological substrate on the parameters of active faults. In their works, Trifonov and Chelik suggest that the zones of development of ophiolite complexes significantly influence the parameters of active faults, increasing the amplitude of displacements and the length of

earth surface rupture during earthquakes. This assumption requires further study, including on the basis of statistical methods, which will allow the identification of a new, important criterion for assessing seismic hazard;

3. the interaction of blocks separated by large fault zones, which forms local tectonic stresses caused by trenstenia or transpression conditions, etc. Such interactions include the rotation of blocks relative to each other, which is accompanied by the formation of specific complexes of tectonic structures. Such movements can be reconstructed based on the characteristics of the residual magnetization of rocks with high natural magnetization, such as Cenozoic basalts, which are widely developed in northern Mongolia;

4. Cenozoic volcanism, petrography, petrology, and history of development as a manifestation of the mantle component of the latest geodynamics. Its study will allow us to understand the parameters of mantle and crustal sources of plume volcanism;

5. The formation of intermontane and intramontane basins, whose sediments reflect the history and dynamics of mountain development, the paleogeography and paleoecology of the studied territories, and allow for the comparison of geological events and their scale in different areas of the Central Asian region.

1.5. Ожидаемые результаты и их значимость

Создание комплексной модели формирования новейшей тектонической структуры Тувино-Монгольского региона, которая включала в себя разномасштабные факторы, от региональных (коровые тектонические напряжения и мантийные плюмы), до локальных, включая:

1. влияние реактивации древних тектонических структур на формирование современного ансамбля структур
2. межблокового взаимодействие, вызванное локальными условиями транстенсии и транспресии, в том числе вращательные движения обособленных крупными разломами блоков земной коры
3. современный внутриплитный вулканизм, как проявление мантийных процессов и их эволюции
4. историю развития горного рельефа, запечатленную в кайнозойских отложениях межгорных впадин

Общественная значимость такого исследования связана с тесной связью неотектонической активности, как с опасными эндогенными процессами (сейсмичность и вулканизм), так и экзогенными (оползни, обвалы, карст и т.д.)

Еще одним важным результатом исследования является обоснование нового критерия оценки сейсмической опасности: влияние офиолитовых комплексов на параметры активных разломов, а также уточнение палеосейсмотектоники Тувино-Монгольского региона. Эти данные позволят повысить точность оценки сейсмичности как района исследования, так и в целом. Это позволит с большей точностью оценивать риски при разработке инфраструктурных проектов, жилищном строительстве, необходимо для устойчивого и безопасного развития общества.

на английском языке

Creation of a complex model of the formation of the latest tectonic structure of the Tuva-Mongolian region, which included factors of various scales, from regional (crustal tectonic stresses and mantle plumes) to local, including:

1. the influence of the reactivation of ancient tectonic structures on the formation of the modern ensemble of structures
2. interblock interaction caused by local conditions of transpression and transpression, including rotational movements of blocks of the Earth's crust isolated by large faults
3. modern intraplate volcanism as a manifestation of mantle processes and their evolution
4. the history of mountain relief development, recorded in Cenozoic deposits of intermountain basins

The social significance of such research is related to the close connection between neotectonic activity and dangerous endogenous processes (seismicity and volcanism) and exogenous processes (landslides, rockfalls, karst, etc.). Another important result of the study is the justification of a new criterion for assessing seismic hazard: the influence of ophiolite complexes on the parameters of active faults, as well as the refinement of the paleoseismotectonics of the Tuva-Mongolian region. These data will improve the accuracy of seismicity assessment both in the study area and in general. This will allow for more accurate risk assessment in the development of infrastructure projects and housing construction, which is necessary for the sustainable and safe development of society.

1.7. Планируемый состав научного коллектива

Соколов Сергей Александрович – 38 лет, кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник ГИН РАН – трудовой договор.

Сизов Александр Васильевич - 43 года, кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник ГИН РАН – трудовой договор.

Юшин Кирилл Игоревич – 27 лет, аспирант МГРИ им. Серго Орджоникидзе, младший научный сотрудник ГИН РАН – трудовой договор.

Якимова Альбина Александровна – 29 лет, аспирант МГУ им. Ломоносова, младший научный сотрудник ГИН РАН – трудовой договор.

Соответствие профессионального уровня членов научного коллектива задачам проекта

Все члены научного коллектива подобраны сообразно их квалификации для решения соответствующих задач проекта (см. раздел 4.10).

Содержание проекта

4.1. Научная проблема, на решение которой направлен проект

Новейшая тектоника и ее наиболее яркое проявление – активная тектоника, являются комплексной, многофакторной проблемой, которая важна как для понимания современных геологических процессов и их опасных для человека проявлений, так и для реконструкции процессов прошедших эпох тектогенеза. Они определяют современный облик земной поверхности, являются источником горообразования и требуют решения комплекса научных и практических задач, с ним связанных. До сих пор существует неоднозначность в определении источников формирования горного рельефа, особенно во внутриконтинентальных обстановках, в областях, удаленных от регионов активной коллизии, субдукции, рифтогенеза. Таким образом, изучение закономерностей новейшего тектонического строения внутриконтинентальных горных сооружений Центральной Азии и истории их развития дает нам важную информацию для понимания механизмов их формирования и геодинамических аспектов этого процесса, а также функционирования систем разрывных нарушений. Полученные данные актуальны для анализа неотектоники и геодинамики схожих современных регионов, а также реконструкции геологических обстановок внутриконтинентального горообразования минувших эпох, которые зачастую, оставляют после себя крайне фрагментированную геологическую летопись.

Территория северо-западной части Монголии и Тувы представляет собой прекрасный объект для исследования обозначенной проблемы. Здесь новейшая тектоническая структура (Рис. 1, Приложение 1) развивается в рамках сформировавшейся в основных чертах еще в палеозое геологической структуры. В связи с этим унаследованность новейших структур и активных разломов весьма высока. Это позволяет оценить механизмы активизации древних тектонических структур в условиях современного поля тектонических напряжений, которое, в свою очередь, подчиняется нескольким геодинамическим источникам. Среди них выделяется северо-восточное сжатие, которое обуславливает развитие линейных складчато-надвиговых структур Монгольского и Гобийского Алтая и является, по мнению многих исследователей, отражением коллизионного взаимодействия Индийской и Евразийской литосферных плит [Molnar, Tapponnier, 1975; Tapponnier, Molnar, 1976, Шерман, Леви, 1978]. Вторым источником тектоногенеза выступает выделяемый по сейсмомагнитным данным Хангайского внутримантийный плюм. Его влияние провоцирует формирование крупных более-менее изометричных поднятий (Хангайское и Хэнтейское), окаймленных серией новейших впадин, выстраивающихся в С-образный пояс [Трифонов, В.Г. и др., 2023]. Проявления активности плюма, выраженные в распространении специфического магматизма, известны с мелового времени [Ярмолюк В.В. и др., 1995, 2019, Yarmolyuk V.V. et al, 2015]. Магматические очаги, связанные с плюмом, существуют и в кайнозое, базальтовый вулканизм широко представлен в пределах Хангайского нагорья [Ярмолюк В.В. и др., 2019,]. Этот материал может служить важным источником информации о составе и строении мантии региона, эволюции вулканических очагов, и о специфических особенностях плюмового вулканизма в целом.

Под воздействием региональных тектонических напряжений отдельные блоки земной коры, разделенные крупными новейшими и, в том числе, активными разрывными нарушениями, вступают в сложные взаимодействия, что предает уникальность локальным новейшим структурам, создавая второстепенные нарушения, зачастую

наложенные или секущие крупнейшие элементы новейшей тектонической структуры [Соколов С.А. и др., 2023, Трифонов и др., 2024]. Одним из важных вариантов такого взаимодействия является вращение отдельных блоков, ограниченных разломами. Это провоцирует формирование специфического структурного рисунка разломов, который наблюдается в северной Монголии. Информация о вращении блоков также может быть запечатлена в характеристике остаточной намагниченности отложений, синхронных движениям блоков. Наиболее информативными в этом случае выступают основные вулканические породы, что еще сильнее повышает интерес к новейшему базальтовому вулканизму Монголии и Тувы. Оценка сейсмической опасности является весьма важным аспектом изучения новейшей тектоники. Выбранная территория отличается высокой сейсмической активностью (известны землетрясения с магнитудой более 8), однако исторический и инструментальный период наблюдения за сейсмичностью региона очень короткий, отсюда период повторяемости землетрясений и максимальные возможные магнитуды могут быть получены лишь на основе палеосейсмологических данных, которых также недостаточно. Однако еще более важной проблемой является выявление критериев, по которым оценивается сейсмоопасность. Последние катастрофические землетрясения, произошедшие в восточной Турции в 2023 году и в Мьянме в 2025 году, отличаются аномально высокой протяженностью выхода разрывного нарушения на дневную поверхность и аномально высокими значениями амплитуд смещений, которые находятся на пределе эмпирически установленных закономерностей зависимости параметров активных разломов [Wells, Coppersmith, 1994]. Было установлено что такие аномальные параметры разломов могут быть вызваны присутствием олиголитовых пород в геологическом субстрате, которые выступают в роли тектонической смазки. Это предположение может стать потенциально очень важным критерием сейсмоопасности, но оно требует более полного и глубокого изучения на фактическом материале. Реконструкция тектонических событий новейшего этапа невозможна без подробного изучения стратиграфии, палеографии коррелятивных отложений межгорных впадин, несущих информацию о времени геологических событий, интенсивности прогибания впадин (мощности отложений) и скорости поднятий сопредельных территорий (анализ фаций отложений). Важной проблемой является формирование корреляционных схем межгорных впадин, что позволит восстанавливать региональную геологическую историю и коррелировать тектонические события в разных частях региона.

4.2. Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы

Научная значимость проекта обусловлена несколькими аспектами, от наиболее общих, теоретических, заканчивая важными частными и практическими моментами, которые призван решить данный проект.

Первый аспект заключается в слабой изученности внутриконтинентального горообразования. Эту проблему обычно рассматривают в контексте удаленного влияния процессов, протекающих на окраинах литосферных плит (коллизия, субдукция и т.д.) или влияния пллюм-тектоники, но в целом она остается слабо изученным в сравнении с процессами горообразования на границах литосферных плит. Важными вопросами внутриплитного горообразования в настоящий момент выступают – взаимодействие блоков земной коры, ограниченных крупными новейшими разломами, характер относительных движений этих блоков и генерируемый этими процессами структурный ансамбль. В том числе актуальны вопросы современного вулканизма, сопровождающего горообразование, его петрографические и петрологические особенности и эволюция магматических

очагов внутриплитного магматизма.

Научная значимость работы также раскрывается во втором ее аспекте: территории современного внутриплитного горообразования представляют собой «научную экспериментальную лабораторию» по изучению и реконструкции завершившихся тектонических процессов, оставивших после себя крайне фрагментарную геологическую летопись, которая ограничивается коррелятивными отложениями, плоскостями несогласий и сформированными тектоническими структурами. Таким образом изучение новейший внутриполитных областей тектоногенеза позволяет с большим пониманием подходить к реконструкции тектонических событий прошлого. Отсюда исходит особенная важность определения стратиграфии новейших отложений, заполняющих межгорные впадины, и их связи с тектоническими событиями новейшего этапа активизации.

Третьим аспектом значимости проекта является выявление зависимости новейшего структурного плана, развивающегося в условиях современного напряженного состояния, от тектонической структуры, завершившей свое развитие в минувшие эпохи тектонической активности. Данная тематика широко изучалась специалистами по неотектонике прошлого столетия, во время господства геосинклинальной тектонической концепции, но во многом была упущена современными исследователями. Таким образом этот вопрос остался в значительной мере недоисследован. Территория Центральной Азии является весьма перспективной для решения этой группы вопросов, так как новейшие горные сооружения здесь развиваются на палеозойском фундаменте.

Четвертый аспект заключается в недоизученности неотектоники и кайнозойской стратиграфии выбранного региона, где активные работы по этой тематике проводились в 60 – 80ые годы XX в., во время работы Советско-Монгольской экспедиции, но были свернуты в 90ые годы. Особенno важным моментом в этом вопросе является изучение активной тектоники, что формирует пятый аспект актуальности проекта. Выбранный регион является крайне сейсмоопасным, здесь располагаются протяженные сейсмогенерирующие разломы, способные продуцировать землетрясения магнитудой до 8 и больше. Однако параметры этих разломов изучены слабо, что связано с малой историей инструментальных и исторических наблюдений и небольшим числом палеосейсмологических работ в регионе, на основе которых было бы возможно компетентно оценить его сейсмическую опасность.

Наконец, важнейшим аспектом данного проекта является выявления зависимости параметров сейсмособытий от реологических свойств пород, внутри которых находится активный разлом, в частности, оценки значения офиолитов при оценке сейсмической опасности. Этот аспект делает представленный проект не только важным научным исследованием, но актуальным в практической плоскости, позволяя уточнить методику сейсморайонирования, что очень важно для безопасности населения, а также устойчивого развития общества и промышленности.

4.3. Конкретная задача (задачи) в рамках проблемы, на решение которой направлен проект, ее масштаб и комплексность

Перечисленные выше направления исследований кажутся, на первый взгляд, разными темами, но на самом деле являются разными аспектами единой задачи изучения развития новейшей структуры региона, требующей комплексного подхода. Поэтому важной особенностью предложенного проекта является его комплексность, позволяющая более полно и глубоко изучить проблему новейшего внутриплитного горообразования. Для достижения обозначенных в разделе 4.1 целей нужно решить

ряд частных задач:

1. Уточнение новейшей тектонической структуры Тувино-Монгольского региона в контексте выявления признаков разных перегенезов новейших структур и, в частности, рисунка активных разломов. Региональная неотектоническая структура выражается закономерными структурными ансамблями (см. рис. 1 Приложение 1), отвечающими кинематике движений, современному состоянию поля тектонических напряжений, и его эволюции в позднем кайнозое. Усложнение этой картины может проявляться в перестройке новейшей структуры, смене кинематики разрывных нарушений, формировании осложняющих или наложенных структур. Условия современного северо-северо-восточного сжатия формируют закономерный рисунок активных разрывных нарушений, отличительной особенностью которого является преобладание сдвиговых разломов над прочими. Система активных разломов характеризуется крупными субширотными левосдвиговыми структурами (Тункино-Мондинская, Хангайский (Болтайский), разломы Гобийского Алтая), северо-северо-западными правыми сдвигами с надвиговой компонентой (крупные разломы Монгольского Алтая). На этот рисунок накладываются менее значимые структуры, не вписывающиеся в общую логику распределения разрывных нарушений. Наиболее яркий пример – система северо-восточных левых сдвигов (Эрзин-Агордагский и Цэцэрлэгский) и субмеридиональных грабенов (Дархатский, Бусингольский и Хубсугульский), зажатых между двумя субширотными сдвиговыми зонами (Тункино-Мондинской и Хангайским разломом). Эти структуры секут границы крупных новейших структур и не вписываются в закономерности распределения напряжений, характерных для этого региона, и соответствуют условиям меридионального сжатия. Таким образом формируется второй, локальный, парагенезис разломов, развитие которого происходило либо параллельно со становлением первого, либо имеет более поздний возраст. Важной задачей исследования является выявление причин формирования таких структур, этими причинами могут быть:

о Вращение блоков, зажатых между крупными разрывными нарушениями. Такие вращения могут быть запечатлены в характеристике остаточной намагниченности синхронных вращению горных пород. Для подобных реконструкций необходимы породы, обладающие высокой естественной намагниченностью, занимающие достаточно значительный стратиграфический интервал. Такими отложениями в изучаемом регионе могут выступать основные вулканиты, широко развитые на Хангайском нагорье, в Прихубсугулье и других районах севера Монголии и юга Тувы. Проявления базальтового вулканизма известны здесь со среднего-позднего миоцена и прослеживаются до позднего плейстоцена включительно, причем разновозрастные потоки локализованы достаточно близко, а очаги вулканизма присутствуют в блоках, разделенных новейшими разломами.

о Реакция древних тектонических структур на современную обстановку тектонических напряжений. Так как новейшая структура территории севера Монголии и юга Тувы развивается не в гомогенной среде, а существует в рамках развивающейся с позднего докембрия тектонической структуры, важным фактором, определяющим распределение новейших структур и их кинематику может выступать конфигурация структур герцинского и каледонского возраста, обрамляющих докембрийский Тувино-Монгольский срединный массив. Эти древние структуры будут выступать как ослабленные зоны, сильнее подверженные дизъюнктивным деформациям. Для подтверждения этой гипотезы необходимо сопоставить новейшие разломы со структурой, сформированной в палеозое и позднем докембрии, их кинематику и ориентацию, установить закономерности реактивации этих структур.

о Локальные тектонические напряжения, возникающие в результате

взаимодействия относительно жестких блоков, формирование местных транспрессионных или транстенсионных обстановок, внутриблочных деформаций, дробления блоков на более мелкие структуры, которые могут быть вызваны адаптацией векторов латерального сжатия под скорости относительного движения изолированных блоков.

о Не исключен вариант того, что причиной формирования наложенных тектонических структур территории Севера Монголии и юга Тузы может выступать сложное взаимодействие всех обозначенных выше факторов.

2. Оценка значения офиолитовых комплексов как фактора, определяющего параметры землетрясений, в частности длину выхода очага на дневную поверхность и амплитуду поверхностных смещений. Несколько последних катастрофических землетрясений (Турция, 2023 год, Мьянма, 2025 год) показали аномальные параметры землетрясений. В работах [Трифонов В.Г., Бачманов Д.М., 2025, Трихунков Я.И. и др., 2023] высказано предположение, что причиной этому послужило широкое распространение офиолитовых комплексов, выступающих в качестве тектонической смазки, обеспечивающей дополнительное скольжение блоков друг относительно друга. Этот фактор может стать важным критерием оценки сейсмической опасности. В связи с этим требуют дополнительного изучения как пространственные соотношения активных разломов с офиолитовыми зонами и контактами офиолитов с кристаллическими породами, так и количественных параметров землетрясений, приуроченных к таким зонам, сравнение этих параметров с параметрами сейсмических событий, произошедших вне полей развития офиолитов.

3. Накопление палеосейсмотектонических данных по крупным и ранее не излучавшимся активным разломам региона. Эта задача обусловлена достаточно слабой изученностью данной темы, с одной стороны, и высокой сейсмической активностью района работ – с другой. В этом регионе известны примеры исторических землетрясений с магнитудой выше 8 (Болнайское и Цэцэрлэгское землетрясения 1905 года), однако сама история наблюдений очень коротка. Таким образом, для оценки сейсмической опасности района необходимо расширять базу знаний касательно палеосейсмотектоники.

4. Изучение возрастных, петрографических и петрохимических характеристик базальтового вулканизма и мантийных ксенолитов, широко представленных в этих породах, севера Монголии и юга Тува, как пример особого типа внутриплитного вулканизма, а также для оценки влияния мантийных процессов на развитие новейшей структуры. В.Г. Трифонов, В.В. Ярмолюк [Трифонов В.Г. и др., 2023, Ярмолюк и др., 2095, 2019] указывают на значительный вклад мантийных процессов в формирование строения региона помимо процессов, проходящих в литосфере. Всестороннее изучение этих пород позволит внести вклад в понимание уникальных особенностей плутоного вулканизма, а также оценить параметры камер, в которых происходила генерация магм, и эволюцию этих магматических очагов, историю вулканизма региона. Помимо этого, немаловажным остается вопрос структурного положения вулканических проявлений: приурочены ли проявления эфузивного магматизма к новейшим разрывным нарушениям, или их распространение не контролируется разрывной тектоникой.

5. Изучение истории тектонических и геологических процессов позднего кайнозоя, запечатленной в коррелятивных отложениях межгорных впадин (котловина Больших Озер и Убсунурская впадина). Изучение стратиграфии этих комплексов широко проводилось сотрудниками Советско-Монгольской геологической экспедиции, однако требуют значительной ревизии и дополнительного изучения. Более полное представление об этих породах позволит датировать различные

тектонические процессы, оценивать их интенсивность, производить параллелизацию тектонических и геологических процессов всего Центральноазиатского региона. Это требует фаунистического доизучения стратиграфических подразделений обозначенных впадин, обнаруживающих много сходства в своих литологических и стратиграфических особенностях.

4.4. Научная новизна исследований, обоснование достоверности решения поставленной задачи (задач) и возможности получения предполагаемых результатов

Научная новизна исследований определяется рядом особенностей представленного проекты:

1. Комплексность исследований, которая позволяет рассмотреть вопросы новейшей и активной тектоники региона наиболее полно, от вопросов стратиграфии, петрологии и петрографии, датирования тектонических событий региона, тектонической структуры и причин ее формирования, до определения сейсмической опасности района исследования и выявления новых критериев таких оценок.

2. Выявление значения древних тектонических структур, помещенных в современное поле тектонических напряжений, для формирования неотектонического строения, в частности, рисунка новейших и активных разломов. Эта тема упускается из виду многими современными исследователями и является новой для научного коллектива проекта.

3. Применение остаточных характеристик естественной намагниченности осадков для определения вращательных движений блоков относительно неотектонических и активных разломов является новым подходом к решению проблем позднекайнозойской тектоники, который предлагает коллектив проекта.

4. Изучение древних офиолитовых комплексов, как критерия оценки сейсмической опасности, предложенного В.Г. Трифоновым [Трифонов В.Г., Бачманов Д.М.. 2025] для более молодых офиолитов Альпийско-Гималайского пояса, на широком фактическом материале исследуемого региона – новый подход в сейсмотектонике, требующий углубленного изучения.

Решение этих задач возможно благодаря большому научному заделу, имеющемуся у научного коллектива. Это и общеметодические подходы к решению подобных задач, и накопленный ранее фактический материал. Этот задел позволил сконцентрироваться на ограниченном наборе новых для научного коллектива важных задач, решение которых вполне достижимо в ограниченные сроки проекта. Исследования предусматривают широкое применение аналитических лабораторных исследований, включая анализ и обратоку опубликованных литературных и картографических данных и имеющихся баз данных, для выполнения которых у коллектива есть необходимые технические и программные средства, которые будут применяться и для обработки данных полученных в процессе собственных экспедиционных исследований. Собранные в процессе работ фактические данные, требующие аналитических исследований (петрографические исследования, петрохимические анализы, определение фаунистических остатков, радиоизотопные датировки, палеомагнитные анализы и т.д.) будут выполняться собственными силами коллектива, либо в ведущих лабораториях Геологического института РАН и других научно-исследовательских институтов по имеющимся устойчивым научным связям и договоренностям. Полевые работы предусматривают изучение ключевых, опорных точек, определенных заранее и позволяющих решить поставленные задачи и собрать необходимый и достаточный фактический материал. Коллектив состоит из высококвалифицированных специалистов, за каждым из которых закреплена определенная тематика и ряд конкретных задач, с личной ответственностью за их

решение.

4.5. Современное состояние исследований по данной проблеме, основные направления исследований в мировой науке и научные конкуренты

Территория северной части Центральной Азии отличается неравномерной изученностью стратиграфии и неотектонического строения: области, обрамляющие Тувино-Монгольский регион (Горный Алтай и Байкальская рифтовая система) изучены достаточно подробно, в то время как область осуществления настоящего проекта – значительно слабее.

Региональным вопросам новейшей тектоники и геодинамики Центральноазиатского региона, объединяющего, как Алтай-Саянский и Байкальский регионы, так и Тувино-Монгольскую территорию, посвящено достаточно много работ. Формирование основных закономерностей новейшей структуры, поля тектонических напряжений и рисунка активных нарушений региона рассматривается как удаленное воздействие коллизии Индостанской и Евразийской литосферных плит, что выражается в закономерной системе новейших разломов, отвечающей условиям северо-восточного горизонтального сжатия [Molnar, Tapponnier, 1975; Tapponnier, Molnar, 1976, Шерман, Леви, 1978]. Также отмечается участие мантийных диапиров или плюмов в развитии новейшей структуры региона [Трифонов В.Г. и др., 2023, 2024].

Некоторые исследователи противопоставляют это влияние коллизионным взаимодействиям [Пузырев и др., 1975; Рогожина, 1977; Zorin et al., 1990, 2003; Логачев, 2003; Lebedev et al., 2006; Zhao et al., 2006], другие [Трифонов В.Г. и др. 2023] отмечают значимость обоих этих факторов и рассматривают новейшую структуру региона как интегральный эффект их воздействия. Система важнейших активных разломов севера Центральной Азии и их параметры а также ее новейшая тектоника рассматривались в работах многих авторов, [Флоренсов, 1960, 1965; Геоморфология..., 1982; Макаров, Трифонов, 1988; Уфимцев, 1989, 2001, 2008, Трифонов и др., 2021].

Что касается более детальных работ, то подробным образом изучена новейшая структура Горного Алтая в работах [Новиков, 2004; Деев, 2018], отмечается значительная роль сдвиговых деформаций в формировании новейшей структуры региона [Лукина, 1996; Трифонов и др., 2002; Новиков, 2004; Новиков и др., 2008]. Разработана стратиграфическая шкала новейших отложений межгорных впадин Алтая, изучено их геологическое и тектоническое строение, на основе чего восстановлена история их эволюции в контексте развития горных сооружений [Девяткин, 1965; Зыкин, Казанский, 1995; Зыкин, 2012]. Большое количество работ посвящено новейшим разломам Горного Алтая и сейсмической опасности региона [Лукина, 1988, 1996, Рогожин, 2016, Рогожин и др., 2008, Деев 2019, Deev, 2017, Уломов и др., 2016 и др.].

Также высокой степенью изученности отличается регион Байкальской рифтовой системы. Обосновано строение Байкальской рифтовой зоны, как части всей системы, выделены стадии «медленного» и сменившей ее в плиоцене «быстрого» рифтинга [Logachev, Florensov, 1978; Mats, 1993; Мац и др., 2001; Логачев, 2003; Petit, Déverchère, 2006; Jolivet et al., 2009] Большое количество работ посвящено активным разломам и сейсмичности региона, составлены базы данных позднечетвертичных разломов, установлены механизмы очагов землетрясений, изучены тектонофизические аспекты современной геодинамики [Геология и сейсмичность..., 1984; Лукина, 1988; Леви и др., 1995; Лунина и др., 2009; Lunina et al., 2014; Лунина, 2016, Саньков и др., 2011; Имаева и др., 2015, Мельникова, Радзиминович, 1998, Саньков, Добрынина, 2015, Семинский, 2009]. Подробно изучены районы юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны и

Восточного Саяна [Шерман и др., 1973; Аржанникова и др., 2011; Аржанникова, Аржанников, 2014]. Изучено строение впадин (Тункинской и пр.) и их обрамления, строение и активность ограничивающих их активных разломов, установлена их структурная эволюция, скорости движений по разломам, периоды повторяемости землетрясений [Логачев, 1968, Лукина, 1988, Arjannikova et al., 2004, Arzhannikova et al., 2023, Лунина, Гладков, 2004; Гладков и др., 2005; Аржанникова и др., 2007; Ritz et al., 2018].

Строение Тувино-Монгольского региона, как неотектоническое в общем, так и параметры активных разломов и их сейсмический потенциал, изучены гораздо слабее. Проведены структурно-геоморфологические исследования, характеризующие новейшую структуру как сочетание сводово-глыбовых поднятий и межгорных впадин [Флоренсов, 1960, 1965; Геоморфология..., 1982; Макаров, Трифонов, 1988; Уфимцев, 1989, 2001, 2008, Трифонов и др., 2021, 2023, 2024]. В рамках работ Советско-Монгольских геологической и палеонтологических экспедиций выявлены основные черты стратиграфии кайнозойских отложений региона [Девяткин и др., 1968; Фауна мезозоя и кайнозоя..., 1971; Девяткин, 1981; Поздний кайнозой Монголии, 1989]. В конце прошлого – начале настоящего века также были выявлены и в общих чертах параметризованы наиболее крупные активные разломы Тувино-Монгольского региона [Гоби-Алтайское землетрясение, 1963; Tappronnier, Molnar, 1979; Ding Guoyu, 1984; Трифонов, 1985; Хилько и др., 1985; Huang, Chen, 1986; Макаров, Трифонов, 1988; Baljinnyam et al., 1993; Трифонов и др., 2002].

Современные исследования во многом сконцентрированы на палеосейсмотектонических характеристиках наиболее крупных активных разломов Монголии: Хангайского, Эртайского, Долинозерского и других разломов Монгольского и Гобийского Алтая [Schupp, Cisternas, 2007; Walker et al., 2008; Rizza et al., 2015; Choi et al., 2018, Klinger et al., 2011, Kurtz et al., 2018; Van der Wal et al., 2020, Prentice et al., 2002; Ritz et al., 2003]. Недавние землетрясения на территории Тувы (2011 и 2012 гг.) и сопредельных территориях Монголии (2021 г.) спровоцировали интерес к изучению активной тектоники Тувы, и Тувино-Монгольского региона в целом. Можно отметить работы сотрудников ИФЗ РАН [Овсяченко и др., 2016, 2019; Овсяченко, Бутанаев, 2017], о Кахемской и других разломных зонах, и ИЗК СО РАН [Аржанникова и др., 2003, Arzhannikova A.V., 2024, Chebotarev A.A., 2024]. В последние годы отмечается высокая степень кооперации в вопросах активной тектоники коллективов различных российских академических институтов, результатом которой стал ряд крупных, в том числе обобщающих публикаций по активной тектонике севера Монголии и Тувы [Arzhannikova A.V. et al., 2024, Трифонов В.Г. и др. 2023, 2024].

В немногочисленных современных работах по стратиграфии и вещественному составу кайнозойских впадин Монголии и Тувы уточняется возраст и стратиграфическое положение новейших отложений Котловины Больших Озер [Сизов А.В. и др., 2024], а также на основе термохронологических исследований отложений Убсунаурской впадины, восстанавливается история тектонического развития хребта Танну-Ола и Тувинского прогиба, начиная с мезозоя, авторами выделяется несколько этапов активного горообразования и относительного тектонического покоя [Ветров Е.В. и др. 2022, 2024].

Представления о современном глубинном строении Тивино-Монгольского региона изучено на основе современных сейсмомагнитографических методик в работах [Трифонов В.Г. и др., 2023, 2024], выделены Хангайский мантийный плюм, и его Хэнтейская ветвь, построены их 3D модели и проанализировано их влияние на

новейшую и активную тектонику региона. Влияние мантийного плюма на геологическое строение и, в частности, особенности магматизма территории Монголии и Тувы в фанерозое подробно рассмотрены в работах сотрудников ИГЕМ РАН [Ярмолюк и др., 1995, 2019]. Конкретные вопросы современного вулканизма Хангайского нагорья рассматриваются в работах [Кайнозойский ..., 1973, Hunt A. C., 2012, 95. Wu, Y., & Bao, X., 2023, Yarmolyuk, V.V. et al., 2007], в них приводятся противоречивые данные об источниках и механизмах формирования базальтовых магм.

Вопросы палемагнитизма Тувино-Монгольского региона широко освещены в работах Коваленко Д.В., особенно детально разработана тема палеомагнитизма палеозойских и мезозойских отложений и их тектонической интерпретации [Коваленко и др., 2020, 2022]. Кайнозойские вулканиты изучены в этом контексте слабее, особенно в аспекте региональных реконструкций вращательных движений блоков земной коры.

Между научными коллективами, которые занимаются вопросами геологии, тектоники, неотектоники и активной тектоники Тувино-Монгольского региона существует тесное общение, которое позволяет слаженно достигать значимых результатов, отличающихся высокой комплексностью и разносторонностью.

Список использованной литературы приведен в файле "Приложение 1"

4.6. Предлагаемые методы и подходы, общий план работы на весь срок выполнения проекта и ожидаемые результаты

Предлагаемый проект отличается комплексностью, что требует применения широкого спектра разнообразных методик. Исследование строения новейшей структуры и общей геометрии и параметров активных разрывных нарушений, картирование потенциально опасных разломов, неизвестных ранее, требуют детального изучения разнообразных материалов дистанционного зондирования Земли (МДЗ), которые включают космоснимки разного пространственного разрешения, цифровых моделей рельефа (ЦМР), а также топографических карт разного масштаба, разнообразных карт геологического содержания (от карт четвертичных и дочетвертичных образований до тектонических карт и карт геофизических полей). Их обобщение, анализ и интерпретация требуют комплекса классических структурно-геоморфологических и палеосейсмологических методик, разработанных советскими, российскими и зарубежными исследователями, и широко применяются в мировой практике неотектонических исследований. Комплексное изучение всего многочисленного материала требует широкого применения современных геоинформационных систем, позволяющих оперативно получать, сопоставлять и анализировать опубликованные данные, и результаты собственных построений (десифрирования МДЗ, геолого-геоморфологического профилирования, геологического, тектонического и структурно-геоморфологического картирования, результатов беспилотной аэрофотосъемки и полученных на их основе цифровых моделей рельефа). Сформированные ГИС-проекты позволят эффективно решать вопросы пространственных и статических закономерностей распространения активных разломов и новейших структур, их связи с древними тектоническими структурами и зонами распространения офиолитовых комплексов. Применение комплексного анализа материалов МДЗ и других геологических данных необходимо также для детального планирования полевых экспедиционных исследований и повышения их эффективности.

Восстановление вращательных движений блоков, разделенных крупными активными разломами, будет осуществляться на основе изучения характеристик остаточной

намагниченности осадков. Такие исследования широко применяются для реконструкции движения блоков в мезозое и палеозое, и позволяют восстанавливать как глобальные движения крупных геологических объектов, так и региональные и даже локальные смещения. Фактический материал будет собран в течение полевых работ в районах широкого распространения кайнозойских щелочных базальтоидов с высокими магнитными характеристиками. Будут отобраны ориентированные палеомагнитные образцы из потоков вулканитов, расположенных в удаленных районах, разделенных новейшими разрывными нарушениями, но близких по возрасту и формирующих схожую возрастную последовательность. Отбор будет осуществляться специализированным буром, ускоряющим процесс пробоотбора и повышающим его качество и точность. Анализ образцов будет производиться в лаборатории главного геомагнитного поля и петромагнетизма и лаборатории археомагнетизма и эволюции главного геомагнитного поля ИФЗ РАН. Опробованные потоки также будут датироваться К-Аг методом, в лаборатории ИГЕМ РАН. Комплексная интерпретация полученных результатов будет производиться в тесной кооперации с сотрудниками ведущих геологических институтов России (ГИН РАН, ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН).

Изучение ранее неизвестных и недоизученных активных разломов будет осуществляться по устоявшимся общемировым методикам. Первый этап их изучения, камеральный, требует дешифрирования МДЗ, с целью выявления молодых форм рельефа, в том числе аккумулятивных, деформированных разломами и комплексом других специфических геоморфологических и геологических форм проявления активности разломов. На этом этапе осуществляется предварительное картирование положения разлома, оценка его кинематики и амплитуд разовых и накопленных смещений, а также поиск наиболее перспективных мест проведения тренчинга. Второй, полевой, этап заключается в осмотре намеченных территорий, заверке результатов дешифрирования, более детальном картировании опорных участков, для получения точных параметров разлома. Это осуществляется как в ходе классических маршрутов, так и путем высокоточной аэрофотосъемки и составления цифровых моделей рельефа, с применением беспилотных летательных аппаратов, на основе метода фотограмметрии. В наиболее перспективных точках осуществляется тренчинг в крест сейсмогенных форм рельефа, необходимый для реконструкции палеосейсмособытий, их параметров и выявления периода повторяемости землетрясений, что крайне важно для оценки сейсмической опасности региона. В канавах выделяются событийные горизонты, соответствующие древним землетрясениям, измеряется амплитуда смещений по плоскостям разломов, отбираются пробы богатых органическим веществом горизонтов. Их датировка осуществляется в лаборатории радиоуглеродного датирования НГУ.

Изучение вулканических проявлений позднего кайнозоя будет проводиться на основе детального картирования полей распространения базальтов, формирующих террасовидные поверхности в долинах рек, изучения структурного положения вулканитов на основе структурно-геоморфологического изучения. Выделенные поверхности будут детально опробованы на возраст, с целью изучения истории их формирования, а также для восстановления вращательных движений блоков на основе характеристик остаточной намагниченности этих пород (см. выше).

Датировка будет осуществляться К-Аг методом в лаборатории ИГЕМ РАН, хорошо себя зарекомендовавшей при работе с молодыми вулканитами. Также будет собран материал для изучения петрографических и петрохимических характеристик пород. Из полученных проб будут изготовлены прозрачно-полированные шлифы, которые будут изучены под петрографическим, а также под электронным микроскопами. Также будут изучены петрохимические характеристики пород, изучение

породообразующих и редкоземельных элементов, изотопные соотношения, несущие информацию о генезисе и эволюции магматических очагов. Изучение и опробование будет осуществляться как на собственной базе лаборатории неотектоники и современной геодинамики, так и на лабораторном фонде ГИН РАН, а также в других академических институтах.

Стратиграфические исследования будут проводиться на основе комплексного изучения новейших отложений, их картирования, изучения их тектонической деформированности, эрозионных границ и поверхностей несогласий, описания литологического состава, сбора и анализа комплекса фаунистических остатков и полинологических проб. Особое значение в фаунистических комплексах будет уделяться млекопитающим, как крупным, так и мелким, а также молакофауне.

Также будут подвергнуты ревизии коллекции находок, сделанных во время работы Советско-Монгольской экспедиции, которые хранятся в ГИН РАН и в ПИН РАН.

Первый год осуществления проекта (2026 г.) будет посвящен предварительному сбору и анализу литературных данных, составлению ГИС-проекта, его наполнению и первичному анализу полученных данных. В этот год также планируется посещение территории Хангайского нагорья, и Прихубсугулья, для сбора фактического материала для палеомагнитных реконструкций и изучения петрографо-петрохимических характеристик новейших вулканитов и палеосейсмологических работ на Цэцэрлэгском разломе. Также запланированы работы на территории Тувы, где будут изучены отложения Убсунупской впадины, и проведены палеосейсмологические исследования на Саяно-Тувинском активном разломе левосдвиговой кинематики. Будет осуществлена пробоподготовка фактического материала и основная часть аналитических работ по определению геохимических характеристик, радиоизотопной датировке вулканитов и палеопочв. Будут изучены характеристики остаточной намагниченности вулканитов.

Ожидаемыми результатами этого года является подготовка и публикация статьи по новейшему вулканизму Хангайского нагорья. Также ожидается подготовка и публикация статьи о стратиграфии кайнозойских отложений Котловины Больших Озер и Убсунурской впадины.

Во время второго года выполнения проекта (2027 г.) планируется окончательный сбор фактического материала и итоговое обобщение полученных результатов, которое будет занимать основной объем времени. Ограниченные экспедиционные работы будут осуществляться на территории Монголии, где будет собран палеомагнитный и петрохимический материал из вулканитов севера страны: северных отрогов Хангайского нагорья и Прихубсугулья. В этом году будет обобщены и проанализированы картографические данные ГИС-проекта, выявлены параметры зависимости новейшей тектонической структуры севера Центральной Азии от древних тектонических форм, а также оценено значение офиолитовых комплексов как критерия оценки сейсмоопасности. Результатом этого года исследований будет подготовка и публикация обобщающей работы, в которой будут рассмотрены вопросы механизмов формирования новейшей структуры региона и роли в ней сложного взаимодействия блоков, их вращения и древней тектонической структуры. Отдельная статья будет посвящена вопросам влияния офиолитов на макросейсмические параметры активных разломов.

4.7. Имеющийся у научного коллектива научный задел по проекту, наличие опыта совместной реализации проектов (указываются полученные ранее результаты, разработанные программы и методы)

Коллектив проекта накопил обширный научный задел, необходимый для решения задач, поставленных перед исследованием. В первую очередь это заключается в комплексе методических подходов, который был освоен участниками проекта в ходе многочисленных исследований в различных регионах и в рамках разнообразных проектов. Этот комплекс позволяет всесторонне рассматривать вопросы новейшей структуры и стратиграфии позднего кайнозоя, а также активной тектоники. Многие из методик, применяемых коллективом, были разработаны и внедрялись в научный обиход сотрудниками лабораторий, в состав которых входят исполнители проекта (лаборатория неотектоники и современной геодинамики и лаборатория стратиграфии четвертичного периода ГИН РАН).

Помимо обще методических подходов научным коллективом был собран богатый фактический материал в течение работ в выбранном регионе, фаунистические коллекции кайнозойских толщ, выполняющих межгорные впадины, многочисленные пробы вулканических пород Хангайского нагорья, по которым сформированы базы данных их возрастов, геохимических особенностей, а также коллекции петрографических шлифов. Участники проекта имеют обширный опыт неотектонических, палеосейсмологических и стратиграфических исследований, проводимых в выбранном регионе.

Участники проекта осуществляли работы в Центральной Азии, и, в частности, на территории юга Тувы и севера Монголии, которые проходили в рамках выполнения проекта РНФ №22-17-00049 «Неотектоника и активная тектоника северной части Центральной Азии» (2022 – 2024 гг.) и РНФ №17-17-01073 «Активная тектоника новейших подвижных поясов Северной Евразии» (2017 – 2021 гг.). В рамках этих работ были изучены некоторые частные активные разрывные нарушения и обосновано выделение нескольких систем разломов разного возраста и источников развития на территории Убсунаурской впадины и хр. Танну-Ола [Соколов С.А. и др., 2023], изучены и описаны новейшие надвиги южного склона хр. Хан-Хухэй, ограничивающего с севера Котловину Больших Озер [Соколов С.А., 2025 (работа находится в печати)]. В работах [Трифонов и др., 2021, 2023, 2024, Arzhannikova et al., 2024] рассмотрены общие закономерности развития новейшей структуры Севера Центральной Азии и их соотношения с активной тектоникой и параметрами строения мантии, более подробно изучена система активных нарушений севера Монголии и юга Тувы, которая рассматривается авторами как сложный комплекс структур левносдвиговых деформаций, также подробно рассмотрены параметры палеосейсмичности крупнейших активных разломов, которые основываются, в том числе, на полевых палеосейсмологических исследованиях, проведенных участниками настоящего проекта, обосновывается присутствие нескольких парагенезов новейших структур: первый отражает коровые процессы (активные разломы и линейные горные сооружения), второй обусловлен влиянием мантийного плюма (изометричные сводовые поднятия и базальтовый магматизм). Впервые предполагается присутствие вращательных движений блоков, вызывающих смещение осей тектонического напряжения и локальную перестройку рисунка активных нарушений. В работе [Трифонов и др., 2023, 2024] обосновывается существование особого рода мантийных образований и их влияние на формирование современной тектонической структуры, в частности на примере Хангайского плюма, на основе сейсмомагнитных исследований построена его 3D модель и рассматривается его возможное влияние на параметры активных нарушений.

Стратиграфические исследования Котловины Больших Озер нашли свое отражение в статье [Сизов А.В.] и др., 2024, в которой подробно рассматриваются вопросы возраста и геологического строения позднемиоцен-плиоценовых отложений свиты Хиргис-нур, а также их стратиграфическое положение среди других отложений

впадины на примере обнажений, известных на северном побережье оз. Хиргис-Нур.

4.8. Перечень оборудования, материалов, информационных и других ресурсов, имеющихся у научного коллектива для выполнения проекта

В распоряжении участников проекта имеются персональные компьютеры и программное обеспечение, которые необходимы для выполнения проекта, подготовки ГИС-проектов, дешифрирования МДЗ, обработки материалов аэрофотосъемки, получения детальных цифровых моделей рельефа, петрологических пересчетов. Для проведения оперативной аэрофотосъемки у коллектива имеются беспилотные летательные аппараты, с необходимой съемочной аппаратурой. Для оперативной регистрации полевых данных и удаленной работы по проекту в распоряжении имеются ноутбуки, снабженные необходимым программным обеспечением. Для изучения вещественного состава пород в лаборатории имеется современный петрографический микроскоп и бинокуляр, с цифровыми камерами, необходимыми для фиксации наблюдений. В Геологическом институте РАН, на базе которого будет производиться исследование, имеется несколько электронных сканирующих микроскопов, для более детального изучения вещественного состава, аналитические лаборатории, способные осуществлять необходимые химические анализы, как основных петрогенных оксидов, так и редкоземельных элементов, а также анализ остаточной намагниченности горных пород. Для прочих исследований (радиоизотопное датирование, более детальные палеомагнитные исследования и т.д.) коллектив планирует обращаться в лаборатории других академических институтов России, с которыми сложились продуктивные научные связи.

4.9. План работы на первый год выполнения проекта

Первый год осуществления проекта во многом будет посвящен анализу опубликованной литературы, специализированному дешифрированию материалов дистанционного зондирования: детальны космических снимков и цифровых моделей рельефа. Планируется создание ГИС-пакета, содержащего необходимую картографическую информацию по территории Тувы и Монголии (разномасштабные геологические карты, тектонические карты и схемы разных авторов, МДЗ разного пространственного разрешения, карты геофизических полей, базы данных активных разрывных нарушений). На основе сформированного ГИС-проекта планируется создать для региона карты распространения разновозрастных офиолитовых зон с вынесенными на них активными разломами, разбитыми на сегменты, ранжированными по степени сейсмоопасности, базу данных их параметров. Также будет создана карта соотношений элементов новейшей структуры, в том числе активных разломов с важнейшими древними тектоническими элементами региона.

Будет осуществлен анализ и обобщение богатого фактического материала, собранного в предыдущие полевые сезоны, в частности, по палеосейсмотектонике Саяно-Тувинского разлома, вулканизму Хангайского нагорья, стратиграфии Котловины Больших Озер и Убсунурской впадины. Для Саяно-Тувинского разлома будет проведено радиоуглеродное датирование образцов палеомагнитологической зачистки, выявлены даты палеосейсмособытий, проведено его детальное картирование. По кайнозойским вулканитам Хангайского нагорья будут проанализированы результаты К-Аг датирования и геохимического опробования, заактивированы разновозрастные террасовидные поверхности, воссоздана модель эволюции очагов вулканизма Тарриатского «грабена», проанализированы

соотношения вулканических проявлений с активными и новейшими разломами. Проведен анализ характеристик остаточной намагниченности этих пород. На основе палеонтологического и литологического материала кайнозойских впадин будет проведено сопоставление и корреляция отложений впадины Хиргис-Нур и Убсунаур.

В первый год выполнения проекта планируются полевые работы на территории Тувы и Монголии. На территории Монголии будут изучены, а также опробованы на возраст, петрохимические и палеомагнитные характеристики кайнозойские вулканиты северной части Хангайского нагорья, в частности к северу от Ханайского разлома. Проведены палеосейсмологические исследования на Цэцэрлэгском разломе и других структурах, оперяющих Хангайский разлом. Будут изучены палеогеновые и неогеновые породы более южных впадин Котловины Больших Озер, прилегающих к Монгольскому Алтаю и его активным разломам.

4.10. Планируемое на первый год содержание работы каждого члена научного коллектива

Соколов С.А. – руководство проектом, ведущее участие в создании и насыщении ГИС-проекта необходимыми материалами, создание картографических материалов по соотношению активных разломов с офиолитовыми комплексами, новейшей структуры и древнего тектонического строения. Руководство полевыми работами в Монголии и Туве, ведущее участие в полевых палеосейсмологических и палеомагнитных исследованиях. Камеральная обработка полученных данных по этим темам.

Юшин К.И. – петрографическое и петрохимическое изучение вулканитов Хангайского нагорья, составление баз данных, по результатам опробования, участие в создании и обработке ГИС-проекта, указанного выше, а также в его анализе. Полевые исследования в Монголии и Туве с ведущим участием в изучении проявлений новейшего вулканизма севера Монголии.

Сизов А.В. – изучение отложений кайнозойских межгорных впадин, комплексный анализ, стратиграфическая и палеогеографическая интерпретация фаунистических находок из отложений хольской серии юга Тувы и свиты хиргис-нур Котловины больших озер. Изучение остатков крупных млекопитающих. Работа в экспедиции на территории Монголии и Тувы, ведущее участие в полевых стратиграфических исследованиях палеогеновых и неогеновых толщ юга Котловины Больших Озер.

Якимова А.А. – стратиграфические и палеонтологические исследования кайнозойских впадин Тувино-Монгольского региона, определение, стратиграфическая и палеогеографическая интерпретация фауны мелких млекопитающих, участие в запланированных полевых исследованиях.

4.11. Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты (форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов и оценить степень выполнения заявленного в проекте плана работы)

Сданная в печать для публикации статья Соколов С.А., Юшина К.И., и др. о палеосейсмотектонике Саяно-Тувинского разлома, по результатам тренчинга и радиоуглеродного датирования.

Сданная в печать для публикации статья Юшина К.И. и Соколова С.А. о возрасте и химизме вулканитов Чулут-Тариатского «грабена», эволюции магматических камер и структурном положении новейших проявлений вулканитов на Хангайском нагорье.

Сданная в печать работа Сизова А.В., Якимовой А.А. и Соколова С.А. по палеонтологическому, стратиграфическому и палеогеографическому сопоставлению

верохнемиоцен-плиоценовых отложений Убсунурской впадины (хольская серия) и Котловины больших озер (свита хиргис-нур).

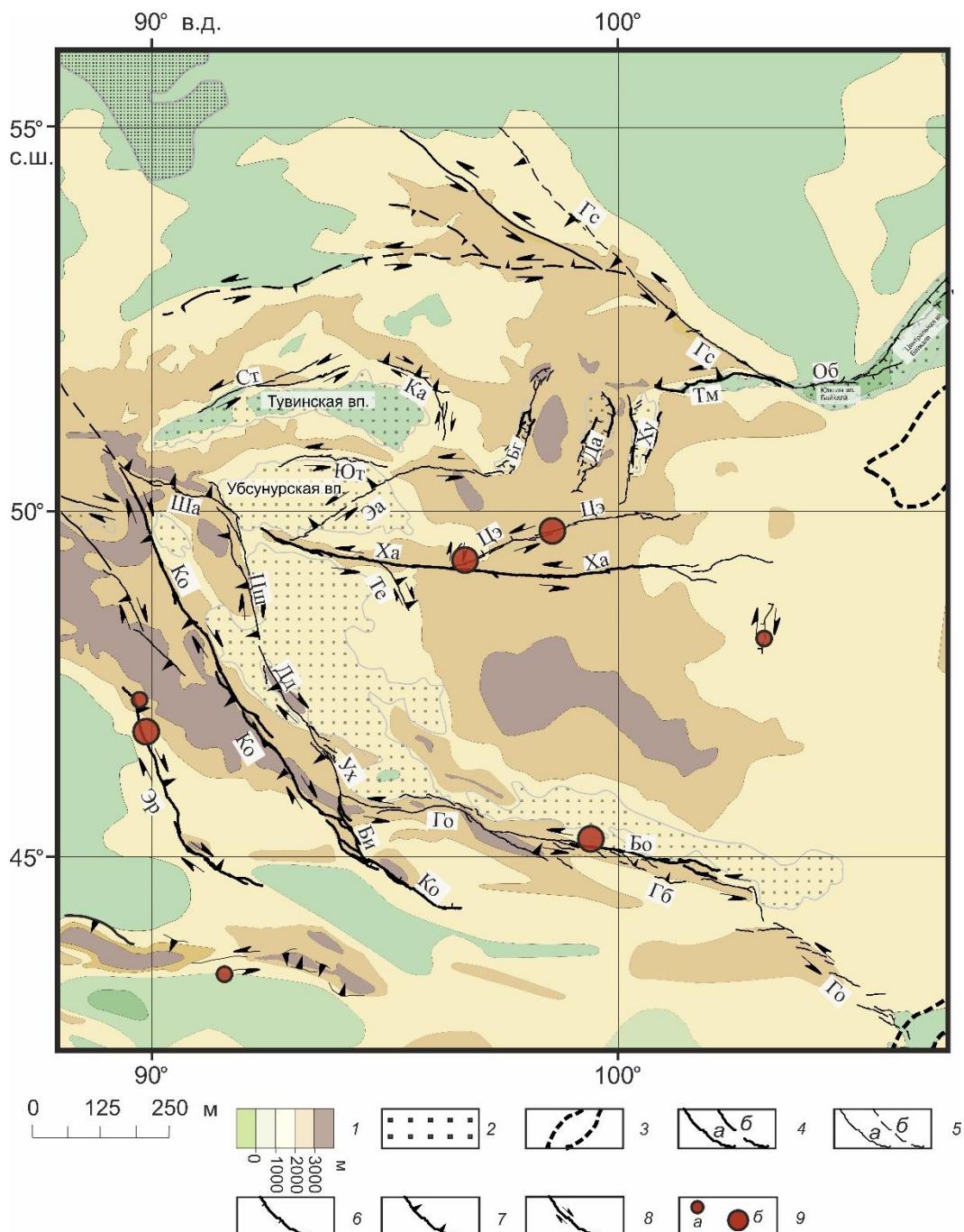


Рис. 1. Карта новейшей тектоники севера Центральной Азии.

Активные разломы: Би – Бидж, Бо – Богд, Гб – Гурван-Булаг, Гс – Главный Саянский, Дд – Дзун-Джиргалант, Ко – Кобдинский, Об – Обручевский, Ст – Саяно-Тувинский, Те – Терегтийский, Ух – Умусин-Хайрханский, Ха – Хангайский, Цш – Цаган-Шибетинский, Цэ – Цэцэрлэгский, Ша – Шаптальский, Эа – Эрзин-Агардагский, Эр – Эртайский, Ют – Южно-Таннуульский;

зоны разломов: Го – Гоби-Алтайская, Ка – Каахемская, Тм – Тункино-Мондинская; грабены: Бг – Бусийнгольский и Белинский, Да – Дархатский, Ху – Хубсугульский.

1 – вершинная поверхность фундамента на поднятиях и подошвы чехла во впадинах (м);

2 – осадочное и вулканическое заполнение кайнозойских впадин и грабенов;

3 – границы линейных прогибов, Селенгино-Витимского и Юго-Восточной Монголии;

4–8 – активные разломы:

- 4 – крупные разломы со скоростями движения ≥ 1 мм/год: а – достоверные, б – предполагаемые;
- 5 – прочие разломы со скоростями движения < 1 мм/год: а – достоверные, б – предполагаемые;
- 6 – сбросы;
- 7 – надвиги и взбросы;
- 8 – сдвиги;
- 9 – эпицентры землетрясений с магнитудами $Ms=7-7/9$ (а) и $Ms\geq 8$ (б)

Список литературы:

1. Аржанникова А.В., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Позднечетвертичный и современный режимы деформирования западной части Тункинской системы впадин по структурно-геоморфологическим и сейсмологическим данным // Аржанникова А.В., Аржанников С.Г. 2007. Т. 48, № 4. С. 391–400.
2. Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Жоливе М., Вассалло Р., Шове А. Плиоценчетвертичные деформации юго-восточной части Восточного Саяна // Геотектоника. 2011. № 2. С. 49–65
3. Аржанникова, Аржанников, 2014
4. Ветров Е.В., Ветрова Н.И., Бирюкова Т.А., Агатова А.Р., Гаврюшкина О.А., Булгакова Д.Д. Тектоническая эволюция Тувинского прогиба (северная часть Центрально Азиатского орогенного пояса): синтез геологических данных и результатов Ar-Ar датирования полевых шпатов/ Геотектоника. 2024. № 4. С. 60-79.
5. Ветров Е.В., De Grave J., Ветрова Н.И. Тектоническая история палеозойского Таннуольского террейна Тувы в мезозое и кайнозое по данным трековой термохронологии апатита/ Геотектоника. 2022. № 4. С. 76-91.
6. Геология и сейсмичность зоны БАМ: Сейсмогеология и сейсмическое районирование. Новосибирск: Наука, 1985. 192 с. Геоморфология..., 1982
7. Гладков А.С., Лунина О.В., Дзюба И.А., Орлова Л.А. Новые данные о возрасте деформаций в Тункинской рифтовой впадине // Докл. РАН. 2005. Т. 405, № 2. С.229–232.
8. Гоби-Алтайское землетрясение. Под ред. Н.А. Флоренсова и В.П. Солоненко. М.; Изд. АН СССР, 1963. 391 с
9. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. М.: Наука, 1965. 244 с.

10. Девяткин Е.В., Зажигин В.С., Лискун И.Г. Первые находки мелких млекопитающих в плиоцене Тувы и Западной Монголии // Докл. АН СССР. 1968. Т.183, № 2. С. 404–407.
11. Девяткин Е.В. Кайнозой Внутренней Азии (стратиграфия, геохронология, корреляция). М.: Наука, 1981. 196 с. (Тр. Сов.-монгол. геол. эксп., вып. 27).
12. Деев Е.В. Неотектоника и палеосейсмичность внутригорных впадин северной части Центральной Азии (на примере Горного Алтая и Северного Тянь-Шаня. – Дис. ... д.г.-м.н. – Новосибирск: ИНГиГ СО РАН, 2018. 450 с.
13. Деев Е.В. Зоны концентрации древних и исторических землетрясений Горного Алтая // ФИЗИКА ЗЕМЛИ, 2019, № 3, с. 71–96
14. Демьянович М.Г., Ключевский А.В., Демьянович В.М. Основные разломы Монголии и их роль при сейсмическом районировании территории // Литосфера. 2008. №3. С.3–13
15. Зыкин В.С., Казанский А.Ю. Стратиграфия и палеомагнетизм кайнозойских (дочетвертичных) отложений Чуйской впадины Горного Алтая // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 10. С. 75–90.
16. . Зыкин В.С. Стратиграфия и эволюция природной среды и климата в позднем кайнозое юга Западной Сибири. – Кузьмин М.И. (ред.) – Новосибирск: ГЕО, 2012. 487 с.
17. Имаева Л.П., Имаев В.С., Гусев Г.С., Смекалин О.П., Колодезников И.И., Гриб Н.Н., Кузьмин Б.М. Карта сейсмотектоники Восточной Сибири: новые принципы и методы построения // Вестник Отд. наук о Земле РАН. 2015. Т. 7. С. 1–7.
18. Кайнозойские щелочные базальтоиды Монголии и их глубинные включения // Труды Совместной Советско-Монгольской научно-исследовательской геологической экспедиции. Вып. 25. 1979. 313 с.
19. Коваленко Д.В., Бузина М.В., Цээдулам Х., Оюунчимэг Ц. Палеомагнетизм фанерозойских геологических комплексов Тувы/ Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. 2020. № 1 (45). С. 49-65.
20. Коваленко Д.В., Ярмолюк В.В., Козловский А.М. Коваленко Д.В. Палеомагнетизм центральной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (Тува, Монголия)/ Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 504. № 1. С. 75-84.
21. Леви К.Г., Бабушкин С.М., Бадардинов А.А. и др. Активная тектоника Байкала // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 10. С. 154–163.
22. Логачев Н.А. История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 5. С. 391–406.

23. Лукина Н.В. Алтае-Саянская область новейшего торошения континентальной литосферы. Байкальская внутриконтинентальная рифтовая система // Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов. М.: Наука, 1988. С. 276–326.
24. Лукина Н.В. Активные разломы и сейсмичность Алтая // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 11. С. 71–74.
25. Лунина О.В., Гладков А.С., Неведрова Н.Н. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: ГЕО, 2009. 316 с.
26. Лунина О.В., Гладков А.С. Разломная структура и поля напряжений западной части Тункинского рифта (юго-западный фланг Байкальской рифтовой зоны) // Геология и геофизика. 2004. Т. 45, № 10. С. 1235–1247.
27. Лунина О.В. Разломы и сейсмически индуцированные геологические процессы на юге Восточной Сибири и сопредельных территориях. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2016. 226 с. + CD-ROM
28. Макаров В.И., Трифонов В.Г. Монголия – внутриконтинентальная область преобладания новейших сдвиговых перемещений // Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов. М. «Наука», 1988. С. 235–275.
29. Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум и др. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск: Изд. СО РАН, филиал «Гео», 2001. 252 с.
30. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Механизм очагов землетрясений Байкальского региона за 1991–1996 годы // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 11. С. 1598–1607.
31. Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. Новосибирск: Изд. СО РАН, филиал «Гео», 2004. 313 с
32. Овсяченко А.Н., Бутанаев Ю.В., Кужугет К.С. Палеосейсмологические исследования сейсмотектонического узла на юго-западе Тувы. // Вестник ОНЗ РАН. 2016. Т. 8. С. 1–18.
33. Овсяченко А.Н., Бутанаев Ю.В., Сугоранова А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В. Исследования Каахемской системы активных разломов в Туве: сегментация и модель характерных землетрясений // Геосферные исследования. 2019. № 1. С. 6–16.
34. Овсяченко А.Н., Бутанаев Ю.В., Мараханов А.В., Ларьков А.С., Новиков С.С., Кужугет К.С. О повторяемости сильных сейсмических событий в районе Тувинских землетрясений 2011-2012 гг. по данным палеосейсмологических исследований. // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 11. С. 1784–1793.
35. Поздний кайнозой Монголии / Под ред. Н.А. Логачева. М.: Наука, 1989. 213 с. (Тр. Сов.-монгол. геол. эксп., вып. 47).

36. Пузырев Н.Н., Мандельбаум М.М., Крылов С.В. и др. Глубинное сейсмическое зондирование земной коры и верхней мантии в Байкальском регионе. – В кн.: Байкальский рифт. – Флоренсов Н.А. (ред.) – Новосибирск: Наука, 1975. С. 51–67.
37. Рогожина В.А. Область пониженной скорости сейсмических волн в верхней мантии. – В кн.: Очерки по глубинному строению Байкальского рифта. – Флоренсов Н.А. (ред.) – Новосибирск: Наука, 1977. С. 64–78.
38. Рогожин Е.А., Имаев В.С., Сmekалин О.П., Шварц Д.П. Тектоническая позиция и геологические проявления Могодского землетрясения 5 января 1967 г. в Центральной Монголии (взгляд сорок лет спустя) // Физика Земли. 2008. № 8. С. 3–16.
39. Саньков В.А., Парфеевец А.В., Лухнёв А.В., Мирошниченко А.И., Ашурков С.В. Позднекайнозойская геодинамика и механическая сопряженность деформаций земной коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области // Геотектоника. 2011. № 5. С. 52–70.
40. Саньков В.А., Добрынина А.А. Современное разломообразование в земной коре Байкальской рифтовой системы по данным о механизмах очагов землетрясений // Докл. РАН. 2015. Т. 465, № 3. С. 347–352.
41. Семинский К.Ж. Главные факторы развития впадин и разломов Байкальской рифтовой зоны: тектонофизический анализ // Геотектоника. 2009. № 6. С. 1–17.
42. Трифонов В.Г. Особенности развития активных разломов // Геотектоника. 1985. № 2. С. 16–26.
43. Трифонов В.Г., Бачманов Д.М. Сопоставление мезозойско-палеогеновых офиолитов и активных разломов в Альпийско-Гималайском поясе // Материалы LVI Тектонического совещания «Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2025». Москва: ГЕОС. 2025. С. 585–589
44. Трифонов В.Г., Зеленин Е.А., Соколов С.Ю., Бачманов Д.М. Активная тектоника Центральной Азии // Геотектоника. 2021. № 3. С. 60–77
45. Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. М.: ГЕОС, 2002. 250 с.
46. Трифонов В.Г., Соколов С.А., Овсяченко А.Н., Соколов С.Ю., Бацайхан Т., Дэмбэрэл С., Бутанаев Ю.В., Кошевой Н.Г. Активные разломы севера Центральной Монголии, их соотношение с новейшей структурой и глубинным строением региона // Геотектоника. 2024. № 2. С. 3–33
47. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Соколов С.А., Мазнев С.В., Юшин К.И., Демберел С. Хангайский внутримантийный плюм (Монголия): 3D модель, влияние на

- кайнозойскую тектонику и сравнительный анализ // Геотектоника. 2023. № 6. С. 94-129
48. Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Бачманов Д.М., Соколов С.А., Трихунков Я.И. Неотектоника и строение верхней мантии Центральной Азии // Геотектоника. 2021. № 3. С. 31-59
49. Трихунков Я.И., Челик Х., Ломов В.С., Трифонов В.Г., Бачманов Д.М., Каргиноглу Ю., Соколов С.Ю. Геологическая позиция, структурные проявления Эльбистанского землетрясения и тектоническое сравнение двух сильнейших сейсмогенных событий 06.02.2023 г. в Восточной Турции // Геотектоника. 2024. № 3. С 108-126
50. Уломов и др., 2016
51. Уфимцев Г.Ф. Центральноазиатский горный пояс // Геоморфология. 1989. №1. С.5-17.
52. Уфимцев Г.Ф. Вопросы новейшей глобальной геодинамики Азии // Геотектоника. 2001. № 6. С. 84-89
53. Уфимцев Г.Ф. Горы Земли. М.: Научный мир, 2008. 352 с
54. Фауна мезозоя и кайнозоя Западной Монголии / Под ред. Б.А. Трофимова. М.: Наука, 1971. 134 с. (Тр. Сов.-монгол. геол. эксп., вып. 3).
55. Флоренсов Н.А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области // Геология и геофизика. 1960. № 1. С. 74-90.
56. Флоренсов Н.А. К проблеме механизма горообразования во Внутренней Азии // Геотектоника. 1965. № 4. С. 3-14.
57. Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М. и др. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. М.: Наука, 1985. 225 с
58. Шерман С.И., Медведев М.Е., Ружич В.В., Киселев А.И., Шматов А.П. Тектоника и вулканизм юго-западной части Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1973. 136 с.
59. Шерман С.И., Леви К.Г. Трансформные разломы Байкальской рифтовой зоны и сейсмичность ее флангов // Тектоника и сейсмичность континентальных рифтовых зон. М.: Наука, 1978. С. 7-18.
60. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Иванов В.Г. Внутриплитная позднемезозойская—кайнозойская вулканическая провинция Азии – проекция горячего поля мантии // Геотектоника. 1995. № 5. С. 41-67.
61. Ярмолюк В.В., Никифоров А.В., Козловский А.М., Кудряшова Е.А. Позднемезозойская магматическая провинция востока Азии: строение, магматизм и условия формирования // Геотектоника. 2019. № 4. С. 60-77.

62. A.V. Arzhannikova, S.G. Arzhannikov, A.A. Chebotarev, S.A. Sokolov Morphotectonic analysis of strike-slip faults in the Sayan-Tuva Upland (North Mongolia and South Siberia): Age and displacement rates/ *Journal of Asian Earth Sciences* 276 (2024) 106355. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2024.106355>
63. Arjannikova A., Larroque C., Ritz J.-F., Deverchere J., Stephan J.F., Arjannikov S., San'kov V.A. Geometry and kinematics of recent deformation in the Mondy-Tunka area (southwesternmost Baikal rift zone, Mongolia-Siberia) // *Terra Nova*. 2004. Vol. 16. P. 265–272.
64. Baljinnyam I., Bayasgalan A., Borisov B.A., Cisternas A., Dem'yanovich M.G., Ganbataar L., Kochetkov V.M., Kurushin R.A., Molnar P., Philip H., Vashchilov Yu.Ya. Ruptures of major earthquakes and active deformation in Mongolia and its surrounding // *Mem. Geol. Soc. Amer.* 1993. Vol. 181. 62 p
65. Chebotarev A.A., Arzhannikov S.G., A.V. Arzhannikova A.V., Kurbanov R.N. Origin of the Badar Sand Field and the late pleistocene tectonic movements in the Tunka depression, the Baikal Rift Zone, Eastern Siberia *Journal of Asian Earth Sciences* (2024)
66. Choi, J. H. et al. Geologic inheritance and earthquake rupture processes: The 1905 $M \geq 8$ Tsetserleg-Bulnay strike-slip earthquake sequence, Mongolia // *J. Geophys. Res.* 2018. <https://doi.org/10.1002/2017JB013962>
67. Ding Guoyu. Active faults in China // A collection of papers of International Symposium on continental seismicity and earthquake prediction (ISCSEP). Beijing: Seismol. Press, 1984. P. 225–242.
68. Jolivet M., De Boisgrollier T., Petit C., Fournier M., Sankov V.A., Ringenbach J.-C., Byzov L., Miroshnichenko A.I., Kovalenko S.N., Anisimova S.V. How old is the Baikal Rift Zone? Insight from apatite fission track thermochronology // *Tectonics*. 2009. Vol. 28. Tc3008.
69. Huang J., Chen W.P. Source mechanisms of the Mogod earthquake sequence of 1967 and the event of 1974 July 4 in Mongolia // *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 1986. Vol. 84, No. 2. P. 361–379.
70. Hunt A. C., Parkinson I. J., Harris N. B. W., Barry T. L., Rogers N. W., Yondon M. Cenozoic Volcanism on the Hangai Dome, Central Mongolia: Geochemical Evidence for Changing Melt Sources and Implications for Mechanisms of Melting/ *Journal of Petrology*, Volume 53, Issue 9, September 2012, Pages 1913–1942,
71. Klinger Y., Etchebes M., Tapponnier P., Narteau C. Characteristic slip for five great earthquakes along the Fuyun fault in China // *Nat. Geosci.* 2011. Vol. 4. P. 389–392.
72. Lebedev S., Meier T., van der Hilst R.D. Asthenospheric flow and origin of volcanism in the Baikal Rift area // *Earth Planet Sci. Lett.* 2006. Vol. 249. P. 415–424.

73. Logachev N.A., Florensov N.A. The Baikal system of rift valleys // *Tectonophysics*. 1978. Vol. 45. P. 273–286.
74. Lunina O.V., Caputo R., Gladkov A., Gladkov A.S. Southern East Siberia PlioceneQuaternary faults: database, analysis aand inference // *Geoscience Frontiers*. 2014. Vol. 5. P. 605–619.
75. Mats V.D. The structure and development of the Baikal rift depression // *Earth Science Reviews*. 1993. Vol. 34, No. 2. P. 81–118.
76. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a continental collision // *Science*. 1975. Vol.I89, N 4201. P. 419–426.
77. Prentice C. et al. Prehistoric ruptures of the Gurvan Bulag Fault, Gobi Altay, Mongolia // *J. Geophys. Res.* 2002. <https://doi.org/10.1029/2001JB000803>
78. Petit C., Déverchére J. Structure and evolution of the Baikal rift: a synthesis // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2006. Vol. 7, No. 1. P. 1–26.
79. Ritz J.-F. et al. Late pléistocene to Holocene slip rates for the Gurvan Bulag thrust fault (Gobi-Altay, Mongolia) estimated with ^{10}Be dates. *J. Geophys. Res.* 2003 <https://doi.org/10.1029/2001JB000553>
80. Ritz J.-F. et al. Characterizing the present-day activity of the Tunka and Sayan faults within their relay zone (Western Baikal Rift System, Russia) // *Tectonics*. 2018. Vol. 37, No. 5. P. 1376–1392.
81. Rizza, M. et al. Earthquake geology of the Bulnay fault (Mongolia) // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2015. Vol. 105, No. 1. P. 72–93.
82. Schlupp A., Cisternas A. Source history of the 1905 great Mongolian earthquakes (Tsetserleg, Bolnay) // *Geophys. J. Int.* 2007. Vol. 169, No. 3. P. 1115–1131.
83. Tapponnier P., Molnar P. Slip-line theory and large-scale continental tectonics // *Nature*. 1976. Vol. 264, N 5584. P. 319–324.
84. Tapponnier P., Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia and Baykal regions // *J. Geophys. Res.* 1979. Vol. 84. P. 3425–3459.
85. Walker R.T., Molor E., Fox M., Bayasgalan A. Active tectonics of an apparently aseismic region: Distributed active strike-slip faulting in the Hangay Mountains of central Mongolia // *Geophys. J. Int.* 2008. Vol. 174, No. 3. P. 1121–1137.
86. Wells. D.L., and Coppersmith. K.J., (1994). “New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacements”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 84. p. 974-1002.
92. Wu, Y., & Bao, X. (2023). Cenozoic uplift and volcanism of Hangai Dome, central Mongolia triggered by lower mantle upwellings/ *Geophysical Research Letters*, 50,

93. Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovsky A.M., Lebedev V.A., Savatenkov V.M. Late Mesozoic–Cenozoic mintraplate magmatism in Central Asia and its relation with mantle diapirism: Evidence from the South Khangai volcanic region, Mongolia // *J. Asian Earth Sci.* 2015. Vol. 111. P. 604–623.
94. Yarmolyuk, V.V., Kudryashova, E.A., Kozlovsky, A.M. et al. Late Cretaceous-Early Cenozoic volcanism of Southern Mongolia: A trace of the South Khangai mantle hot spot. *J. Volcanol. Seismol.* 1, 1–27 (2007)
95. Zhao D., Lie J., Inoue T., Yamada A., Gao S.S. Deep structure and origin of the Baikal rift zone // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2006. Vol. 243. P. 681–691
96. Zorin Yu.A., Novoselova M.R., Turutanov E.Kh., Kozhevnikov V.M. Structure of the lithosphere of the Mongolian-Siberian mountainous province // *J. Geodynam.* 1990. Vo1. 11. P. 327–342.
97. Zorin Yu.A., Turutanov E.Kh., Mordvinova V.V., Kozhevnikov V.M., Vanovskaya T.V., Treusov A. The Baikal rift zone: the effect of mantle plumes on older structure // *Tectonophysics.* 2003. Vol. 371. P. 153–173.