

Отчет о выполнении проекта № 22-17-00049  
«Неотектоника и активная тектоника северной части Центральной Азии»  
в 2024 году

Тематика проекта соответствует направлению профильной деятельности организации Геологический институт Российской Академии Наук в области геологии и ее отраслей - тектоника и геодинамика, сеймотектоника, стратиграфия

1.1. Заявленный в проекте план работы научного исследования на отчетный период

1. Экспедиционные работы в Монголии и Туве обработка полученных материалов

1.1. Районы работ – Белино-Бусийнгольская впадина, область сочленения

Шапшальского хребта, Монгольского Алтая, хр. Танну-Ола и хр. Хан-Хухий. Исполнители – А.Н. Овсяченко, Ю.В. Бутанаев, Н.Г. Кошевой. Продолжительность работ – 40 дней в июне-сентябре.

Цели и задачи работ. (1) Определить соотношения субмеридиональных активных разломов Белино-Бусийнгольской впадины с субширотными разломами, трассируемыми вдоль долин рек Кызыл-Хем, Малый Енисей и рассматриваемыми некоторыми исследователями в качестве западного продолжения крупнейшей Тункино-Мондинской системы активных разломов. (2) Определить соотношения субмеридиональных разломов Монгольского Алтая (в первую очередь Кобдинского (Ховд) и Цаган-Шибэтинского) с субширотными активными разломами Западного Танну-Ола, хр. Хан-Хухий и Шапшальского хребта. В Монголии работы запланированы в районе г. Улангом и оз. Урэг-Нур, а на востоке Республики Тыва – в районе п. Уш-Бельдыр (Белино-Бусийнгольская впадина) и Ужеп (Енисейский разлом в долине р. Малый Енисей). (3) Активная тектоника Центрально-Тувинской системы разломов.

1.2. Экспедиционные работы в северо-западной Монголии и южной Туве. Отряд С.А. Соколова. Исполнители: Якимова А.А., Юшин К.И., Сизов А.А. Время проведения работ: июль-август 2024 года. Продолжительность работ: 30-35 дней.

(1) Выявление тектонических структур, контролирующих новейший вулканизм Хангайского нагорья на примере миоцен-четвертичного вулканического поля в долине реки Чулуут и в окрестностях озера Тэрхийн-Цагаан-Нур. Выявление пространственного и возрастного соотношения основных вулканитов и аллювиальных отложений реки Чулуут. Изучение миоценовых вулканических центров и лавовых потоков для выявления эволюции магмы и источников вулканизма.

(2) Изучение активных разломов северного склона хребта Хан-Хухийн, пересекающих долину реки Бархун-туруун-Гол. Картирование, описание, выявление кинематических особенностей и тренчинг тектонических уступов северо-западного и субширотного простирания, ограничивающих подножье хребта, а также секущих его под углом, прослеживающихся в глубь горного сооружения по нескольким долинам. Изучение строения разломов в канавах и выявление повторяемости сейсмособытий. Выявление взаимоотношений этих разломов с основными новейшими структурообразующими разломами района: Хангайским (Болнайским) субширотным и Эрзин-Агардагским северо-восточным активными левыми сдвигами.

(3) Продолжение изучения комплекса кайнозойских отложений Котловины Больших Озер, их палеонтологическая характеристика и выявление соотношений с новейшей тектонической структурой южного склона хр. Хан-Хухийн, в том числе с неотектоническими и активными разрывными нарушениями.

1.3. Экспедиционные работы в Монголии (зона сочленения Монгольского и Гобийского Алтая). Исполнители: А.В. Аржанникова и привлеченный ею на время полевых работ вспомогательный персонал. Продолжительность работ – 30–35 дней в июле-августе.

В рамках задач 2024 года планируется изучить разломный узел в зоне сочленения Гобийского и Монгольского Алтая, где в условиях транспрессии субширотные разломы с левосторонней сдвиговой компонентой находятся в парагенезе с северо-западными разломами, характеризующимися правосторонним сдвигом. Один из разломов этого узла расположен в 5 км от г. Алтай – крупного населенного центра Западной Монголии с населением ~20 тыс. человек. Разлом длиной 170 км начинается от Монгольского Алтая и прослеживается на восток в южном подножье хр. Дарвийн-Нуру, далее пересекает аллювиальную равнину и южный склон хребта Хасагт-Хайрхан и выходит в северное предгорье хр. Хан Тайшир, непосредственно приближаясь в этом районе к г. Алтай. В зоне этого разлома 15.12.1988 г.

произошло землетрясение с  $M_w=5.2$ . При этом разлом очень ярко выражен в рельефе, в том числе разрывами на поверхности рыхлых отложений, что свидетельствует о том, что он вскрывался в недалеком прошлом и может генерировать землетрясения гораздо более мощные, вплоть до катастрофических. Учитывая его непосредственную близость к г. Алтай, а также отсутствие какой-либо информации о кинематике и сейсмическом потенциале данного разлома, мы поставили задачу его комплексного морфотектонического и палеосейсмогеологического изучения. Данные исследования внесут вклад в понимание кинематической модели сочленения Монгольского и Гобийского Алтая и обеспечат базовую основу для оценки сейсмической опасности изучаемого региона.

2. Обработка полученных полевых материалов 2023–2024 гг. Исполнители – участники полевых работ.

3. Исследования неоднородностей мантии и их соотношений с новейшей структурой и современными проявлениями тектонической активности. Исполнители – С.Ю. Соколов и В.Г. Трифонов

4. Обобщение результатов исследований по проекту, подготовка публикаций, подготовка окончательного отчета. Исполнители – все участники проекта.

## 1.2. Заявленные научные результаты на конец отчетного периода

Ожидаемые научные результаты складываются из статей, сданных в печать, и статей, вышедших из печати.

1. Статьи, которые предполагается подготовить и сдать для опубликования в рецензируемые журналы:

1.1. Аржанникова А.В. с соавторами. Статья о соотношениях между активными разломами Монголии, Тувы и Юго-Западного Прибайкалья.

В плиоцен-четвертичное время в Тувино-Монгольском регионе развиваются три крупнейшие левосдвиговые системы. Первая (перечислены с юга на север) включает Болнайский и Цэцэрлэгский разломы. Вторая система – Эрзино-Агардагский разлом, переходящий в Тункино-Мондинскую зону Байкальского рифта через область растяжения в виде субмеридиональных Бусийнгольской, Дархатской и Хубсугульской грабенообразных впадин. Третья система объединяет Саяно-Тувинский, Каахемский, Оттугтайгино-Азасский и Окино-Жомболокский разломы. Эта система соединяет разломы Тувы с Главным Саянским разломом на краю Сибирской платформы. В работе будут рассмотрены все три системы, дана оценка скоростей смещения и времени начала активизации по отдельным разломам, характер взаимоотношения разломов различного простирания и геодинамическая интерпретация.

1.2. Chebotarev A.A., Arzhannikov S.G., 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.

В работе будет рассмотрен Бадарский песчаный массив - геоморфологический феномен, представляющий собой куполообразную структуру, которая доминирует в топографии погружающейся Тункинской впадины юго-западного фланга Байкальского рифта. Было предложено множество интерпретаций его происхождения, в том числе тектоническое воздымание, но вопрос до сих пор оставался открытым. В работе будет предложена новая модель для объяснения его генезиса, основанная на тщательном анализе как новых, так и ранее опубликованных геоморфологических и седиментологических данных. Также будет представлен анализ террас реки Иркут для оценки возможности инверсионного поднятия в пределах Тункинской впадины.

1.3. Овсяченко А.Н. с соавторами. Очаг сильных землетрясений в Хемчикской впадине (Западная Тува): исследования методами палео- и археосейсмологии. В статье будет описан активный левый сдвиг – очаг неоднократных сильных землетрясений в районе г. Ак-Довурак в центральной части Хемчикской межгорной впадины. Сдвиг прослеживается от левобережья р. Хемчик, где выражен горизонтальными смещениями уступов надпойменных террас р. Хонделен, р. Эдегей и её притока, до г. Орта-Бош-Даг на правом берегу р. Хемчик. На горе Орта-Бош-Даг сдвиг образует серию рвов, расходящихся в виде структуры «конского хвоста». Здесь он изучен в нескольких канавах, где получены калиброванные даты палеопочв, погребенных в опущенном крыле сеймотектонического разрыва:  $4080 \pm 160$ ;  $3000 \pm 130$ ;  $1140 \pm 80$  лет назад. На западном фланге разрыва изучена средневековая (уйгурская) крепость Малгаш-Бажын. Крепость расположена на своде пологой приразломной антиклинали, выраженной в рельефе холмом, и испытала тектонический плановый перекося в результате сдвига по разрыву, расположенному в 170 м южнее. Кроме этого, крепость получила и сейсмически наведенные деформации. Гибель крепости и землетрясение можно предположительно датировать 835-840 г., когда система пограничных укреплений, охранявшая Уйгурский каганат от енисейских кыргызов с севера, утратила свое оборонительное значение, а каганат погиб под ударами кыргызов. Этой дате соответствует возраст палеопочвы, погребенной в результате последней подвижки, изученной на г. Орта-Бош-Даг – 810 г. ( $\pm 80$  лет). Длина выраженного в рельефе разрыва – 28 км, что позволяет оценить магнитуду палеоземлетрясений.

1.4. Овсяченко А.Н. с соавторами. Повторяемость сильных землетрясений в очаге Цэцэрлэгского землетрясения 9.07.1905 в Северной Монголии. Статья предназначена для журнала «Доклады РАН»

Изучение долговременной сейсмической летописи особенно актуально в очагах землетрясений современности, т.к. здесь заведомо произошло минимум одно достоверное событие. Несмотря на периодические исследования грандиозной системы сеймотектонических разрывов, образовавшихся в результате мощнейшей сейсмической активизации 1905 г. в Северной Монголии, сведения о предыдущих сейсмических событиях по Цэцэрлэгскому разлому авторам не известны. Палеосейсмологические исследования выполнены нами в левом борту р. Тэсийн-Гол (Тэс-Хем). В двух канавах изучен разрез современного (1905 г.) и более древних сеймотектонических нарушений рельефа, где получена радиоуглеродная датировка погребенной в результате сеймотектонического события палеопочвы. По этим данным можно предположить, что до землетрясения 1905 г., за последние 3361 лет здесь произошло две подвижки. Еще два образца были отобраны в 500 м к северу от сейморазрыва, в разрезе высокой пойменной террасы р. Тэсийн-Гол. Песчаные отложения террасы смяты в складки, которые имеют систематический наклон осей в восточном направлении, что в совокупности со взаимоотношениями разных пачек (протыкание верхних горизонтов), может свидетельствовать об импульсном сейсмическом воздействии в результате предпоследнего землетрясения. Образцы отобраны из гумусовых горизонтов пойменных торфянистых палеопочв, маркирующих накопление горизонта, разделяющего две пачки песков, в разной степени деформированных асимметричными диапироподобными складками. Калиброванный возраст верхней палеопочвы – 410–549 гг. н.э.; нижней – 440–641 гг. н.э., дает возрастные ограничения даты последнего палеоземлетрясения. Таким образом получен средний период повторяемости сильных землетрясений по Цэцэрлэгскому разлому – около 1500 лет.

1.5. Соколов С.А., Юшин К.И., Сизов А.В., Якимова А.А. Статья в журнал «Геотектоника» по результатам неотектонических исследований на хребте Хан-

Хухийн (Хан-Хухэй). В работе будут подробно описаны четвертичные надвиговые деформации подножья южного склона хребта, рассмотрена история формирования горного сооружения, на основе соотношения новейшей структуры и комплекса коррелятных отложений неоген-четвертичного возраста. Также будет приведена информация о новейшем строении северного склона хр. Хан-Хухийн. Будет рассмотрен вопрос о сейсмической опасности надвиговых структур, ограничивающих с севера и юга это горное сооружение, а также тектоническое и геодинамическое положение комплекса новейших разрывных нарушений этого региона.

1.6. Юшин К.И., Соколов С.А. и др. Статью о новейшем вулканизме Хангайского нагорья, где в долине реки Чуулут и в окрестностях озера Тэрхийн-Цагаан-Нур развиты основные вулканы, датируемые поздним миоценом – четвертичным временем. Будут приведены новые данные о возрасте, химическом и минеральном составе вулканических образований, а также мантийных включений, широко представленных в виде ксенолитов в базальтах этого района. Также будет рассмотрена эволюция этого магматизма в неоген-четвертичное время.

2. Статьи по проекту, которые, как полагаем, будут опубликованы в 2024 г.

2.1. Трифонов В.Г., Соколов С.А., Овсюченко А.Н., Соколов С.Ю., Бутанаев Ю.В., Юшин К.И., Кошевой Н.Г. монголы (кого сочтете нужным). Активные разломы севера Центральной Монголии, их соотношения с новейшей структурой и глубинным строением региона // Геотектоника. 2024.

2.2. Сизов А.В., Сотникова М.В., Соколов С.А., Якимова А.А., Симакова А.Н., Юшин К.И., Тесаков А.С., Батсайхан Цэрэнпил. Новый взгляд на возраст, стратиграфическое значение и палеонтологическая характеристика позднекайнозойского разреза Хиргис-Нур-2. Северо-Западная Монголия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2024.

2.3. Соколов С.Ю., Трифонов В.Г. Дуговые структуры и строение верхней мантии Центральной и Юго-Восточной Азии // Геотектоника. 2024

2.4. Овсюченко А.Н., Бутанаев Ю.В., Ларьков А.С., Мараханов А.В. Каахемская система активных разломов в Туве и повторяемость сильных землетрясений по данным палеосейсмологических исследований // Физика Земли.

### 1.3. Сведения о фактическом выполнении плана работы на год

Выполнены экспедиционные работы в Монголии и Тыве. Работы проводились силами трех отрядов: А.В. Аржанниковой (участники С.Г. Аржанников и А.А. Чеботарев), А.Н. Овсюченко (участники Ю.В. Бутанаев и Н.Г. Кошевой) и С.А. Соколова (участники А.В. Сизов, К.И. Юшин и А.А. Якимова совместно с сотрудником Института астрономии и геофизики АН Монголии Ц. Батсайханом).

Отряд А.В. Аржанниковой

Описаны Бадарские пески в Тункинской впадине [Chebotarev et al., 2024] (рис. 5).

Исследовались разломы области сочленения Гобийского и Монгольского Алтая (Юго-Западная Монголия), где в условиях транспрессии субширотные разломы с левосдвиговой компонентой находятся в парагенезисе с северо-западными правыми сдвигами. Изучены два крупных активных разлома Хараус-Нурский северо-западного простирания и Дарвийн Нуруу субширотный (рис. 1–3). Проведены морфотектонические и палеосейсмологические (с применением тренчинга) исследования.

Хараус-Нурский разлом – правый взбросо-сдвиг северо-западного (330–345°) простирания длиной более 500 км. Он отделяет Монгольский Алтай от Котловины

Больших Озер. Для исследований выбран участок на восточном склоне хребта Джаргалант. Протяженность молодых разрывов на этом участке составляет 130 км. Молодые разрывы деформируют отложения конусов выноса и делювиального шлейфа. Максимальная накопленная амплитуда сдвига наблюдается на самых древних террасах и составляет 30–40 м. Минимальная амплитуда в 3 м фиксируется в долинах мелких водотоков и интерпретируется нами как одноактное смещение. Магнитуда землетрясения, соответствующая такой амплитуде сдвига, составляет 7.5 [Wells and Coppersmith, 1994]. Деформации на поверхности представлены эшелонированными разрывами с валами сжатия и впадинами пулл-апарт. Наблюдались несколько генераций впадин и сколы Риделя, выраженные на поверхности трещинами растяжения. В крест простирания таких трещин были заложены две траншеи. Траншеи вскрывают делювиальные отложения, разорванные трещинами двух генераций, соответствующими двум палеоземлетрясениям. В деформированных горизонтах и трещинах отобраны образцы на радиоуглеродный анализ для определения возраста палеоземлетрясений и их повторяемости. Разлом Дарвийн Нуруу длиной 170 км начинается от Монгольского Алтая и прослеживается на восток в южном подножье хр. Дарвийн-Нуруу, далее пересекает аллювиальную равнину, ограничивает с севера хребет Бурлын-Нуруу и выходит в северное предгорье хр. Хан Тайшир, непосредственно приближаясь к г. Алтай (см. рис. 1). Разлом ярко выражен в рельефе, в том числе разрывами на поверхности рыхлых отложений, что свидетельствует о том, что разлом вскрывался в недалеком прошлом и может генерировать мощные землетрясения. Мы поставили задачу его комплексного морфотектонического и палеосейсмогеологического изучения. Полевые исследования проведены вдоль центрального сегмента разлома, пересекающего аллювиальную поверхность. Тектонический уступ здесь невелик. Средняя амплитуда вертикального смещения составляет  $1.2 \pm 0.2$  м.

Для определения сейсмического потенциала разлома и скорости смещения по нему был выбран участок, где разлом пересекает крупную реку и подпирает небольшие водотоки, образуя запруды. Аллювиальная поверхность на этом участке представлена несколькими уровнями. Уровень S0 соответствует современной пойме рек, уровень S1 – первой террасе (1.0–1.5 м в поднятом крыле и 0.2–0.5 м в опущенном), уровень S2 – второй террасе (1.7–3 м в поднятом крыле и 0.7–1.2 м в опущенном), уровень S3 – третьей террасе (4.1 м в поднятом крыле разлома). Таким образом, разновысотные поверхности смещены на разную величину, что свидетельствует о многоактности палеосейсмических событий. Для установления возраста и повторяемости разрывообразующих землетрясений заложена траншея в месте подпора небольших водотоков.

В разрезе вскрыты аллювиальные отложения первой террасы в южной части траншеи и подпорные осадки в северной. Граница между подпорными осадками и аллювием проходит по разрыву F2. Отложения разорваны и другими нарушениями.

Большинство разрывов имеют падение на юг и взбросовую составляющую. F2 – главный разрыв, по которому формировался уступ и происходил периодический подпор небольших водотоков. Минимальная величина смещения по этому разрыву, обнаруженная в стенке траншеи – 1.6 м. Морфотектонические исследования на этом и других участках разлома показали, что минимальная величина уступа там, где нет размыва, составляет  $1.2 \pm 0.2$  м, что, скорее всего, соответствует амплитуде последнего события. Такая амплитуда смещения соответствует землетрясению с магнитудой 7 [Wells and Coppersmith, 1994]. Длина поверхностного разрыва при таких землетрясениях составляет ~40 км, что соответствует длине вскрывшегося центрального сегмента разлома.

Отряд А.Н. Овсяченко

В 2024 г. в рамках задачи по определению соотношения субмеридиональных разломов Монгольского Алтая с субширотными активными разломами Западного Танну-Ола, хр. Хан-Хухий и Шапшальского хребта продолжено изучение выявленного в 2023 г. Хундлэнгольского активного разлома ВСВ ориентировки (рис. 6–7). С использованием аэрофотопланов определены левосдвиговые смещения мелких долин на 3–4.5 м и уточнена общая длина разлома – 41 км. В случае одноактности смещений магнитуда сейсмического события, определяемая по величине смещений, существенно больше таковой, определяемой по длине разлома. Выдвинуто предположение, что он представляет собой восточный фланг крупной Шапшальской очаговой зоны, вспарывавшейся при сильнейших землетрясениях с  $M \geq 8$ .

В западном обрамлении хребта Цаган-Щибэту, на окраине Урэгнурской впадины, продолжено изучение сеймотектонического разрыва в очаговой зоне Урэгнурского землетрясения 1970 г. с  $M_s=7.0$ . Разрыв имеет северо-западное простирание и правосдвиговую кинематику смещений. Обнаружен свежий сеймотектонический уступ, смещающий вправо до 0.5 м стенки современного загона для скота. На северном обрамлении Убсунурской впадины в зоне Южно-Таннуольского разлома обнаружен локальный разрыв северо-западного простирания с вертикальным смещением кургана до 0.5 м. На восточном фланге Южно-Таннуольской системы разломов, в южном подножии хр. Восточный Танну-Ола закартировано с помощью БПЛА смещение кургана по широтному разрыву влево на 1–1.1 м и вертикально на 0.3–0.4 м (рис. 12). Разрыв прослеживается в виде прямолинейного уступа общей высотой 4–5 м и крутизной 10–20° со свежим уступом высотой 0.3–0.4 м и крутизной 20–30° в основании.

На востоке Тувы, на участке долины р. Малый Енисей длиной ~60 км изучен Малоенисейский активный разлом субширотного простирания к востоку от сочленения с субмеридиональным отрезком Каахемской системы разломов в районе устья р. Ужеп. Отрезок образует структуру «конского хвоста», характерную для окончания крупных сдвигов (рис. 8). Суммарное смещение по этой системе привело к выдвиганию блока треугольной формы на юг в локальную депрессию, образованную Малоенисейской разломной зоной. Движения деформировали все комплексы надпойменных террас Малого Енисея. Депрессия маркируется опусканием базальтов высокого террасового уровня, возраст которых датирован К-Аг методом ~ 270 ± 30 тыс. лет назад [Ярмолюк и др., 2004]. Структура «конского хвоста» по Ужепскому сегменту искажена субширотными рвами Малоенисейской зоны разломов.

К востоку от устья р. Ужеп локальные разрывы Малоенисейской зоны представлены эшелонированной системой рвов, уступов и валов, нарушающих поверхности террас вплоть до высокой поймы (рис. 9). Нарушения образуют левосдвиговый ансамбль. Минимальная величина левосдвигового смещения цоколя базальтовой террасы в районе устья р. Унжей составляет 50–60 м. Кроме левосдвиговой выявлена взбросовая компонента смещений с поднятым северным крылом. Полевые замеры левосдвиговых смещений тыловых швов высокой пойменной террасы варьируют от 7 м до 30 м. В расчистках выявлены три индивидуальные подвижки, отобраны 8 образцов палеопочв на  $^{14}C$  датирование. По дистанционным данным Малоенисейский разлом достигает на востоке меридиональной Белино-Бусийнгольской впадины, разделяя ее на Белинский и Бусийнгольский сегменты, различные по своему строению. Таким образом, установлены структурные соотношения активных разломов Каахемской зоны и Бусийнгольского грабена.

В рамках изучения Центрально-Тувинской системы разломов исследован выявленный

в районе г. Чадан в 2023 г. активный разлом ВСВ простирания. Установлен левый сдвиг долины мелкого ручья на 48–50 м. Террасовидная площадка в левом борту долины того же ручья вздернута до 2 м, а уступ террасы сдвинут влево на 15 м. Строение разлома изучено в расчистке борта руслового вреза ручья (рис. 10–11). Разломная зона расширяется вверх по разрезу от 1 до 3 м и представлена двумя разрывами, между которыми залегают пролювиально-делювиальные осадки с серией коллювиальных клиньев – маркеров одноактных смещений. Клинья захоронили 6 фрагментов древней дневной поверхности со степными палеопочвами, из которых отобрано 6 образцов на  $^{14}\text{C}$  датирование. Данная серия может стать одной из самых длинных записей палеоземлетрясений в конкретном сейсмическом очаге. Разлом прослежен на космоснимках на восток на 24 км, и его длина может достигать 55 км, что соответствует очагу землетрясения с  $M=7.2-7.5$ . В 8 км к югу геологическая съемка выявила молодые базальты, возможно, среднеплейстоценовые.

По материалам полевых исследований и результатам их обработки готовятся к печати 3 статьи: (1) Морфоструктура Ужепского тектонического узла в восточной Туве (долина р. Малый Енисей); (2) Очаг сильных землетрясений в Хемчикской впадине (Западная Тува): исследования методами палео- и археосейсмологии; (3) Повторяемость сильных землетрясений в очаге Цэцэрлэгского землетрясения 9.07.1905 в Северной Монголии.

В печать сдана статья: Овсяченко А.Н., Бутанаев Ю.В., Ларьков А.С., Мараханов А.В. Каахемская система активных разломов в Туве: сегменты и повторяемость сильных землетрясений по данным палеосейсмологических исследований // Физика Земли. Установлено, что в Каахемской зоне за последние 4000 лет произошли 4 землетрясения с  $M_w=7.2-7.5$ . Для Чайминского сегмента получены данные о 4 событиях с  $M_w=6.5-7.0$  за последние ~6700 лет, для Осерцовского сегмента – о двух событиях с  $M_w=6.3-6.7$  за последние ~4500 лет. Сильные землетрясения объединяются в сейсмические кластеры, которые не охватывали зону целиком и могут представлять одно сильнейшее событие с  $M_w=7.2-7.5$  и несколько с  $M_w=6.3-7.0$  в соседних сегментах. Более слабые события, подобные Тувинским 2011–2012 гг. ( $M_w=6.3-7.0$ ), за последнее тысячелетие повторялись раз в 300–500 лет.

Также в этом году был выполнен комплекс аналитических работ по датированию образцов, полученных в рамках полевых работ 2023 года на радиоуглеродный анализ (5 образцов). Результаты датирования используются для корректировки результатов в подготовленных статьях по проекту.

Отряд С.А. Соколова

Продолжено исследование стратиграфии позднекайнозойских отложений Котловины Больших Озер. Изучено местонахождение Чоно-Хариах на западе Котловины. Здесь найдены костные остатки позвоночных (рыб, птиц и млекопитающих). Крупные млекопитающие представлены *Eucyon davisii?*, “*Martes*” *anderssoni*, *Paludolutra* sp., *Hipparion* sp. (вероятно, две формы), *Rhinocerotidae* gen., *Mastodontidae* gen. Остатки гиппарионов соответствуют раннему плиоцену. В составе мелких млекопитающих присутствуют зайцы *Leporidae* gen., пищухи *Ocotonidae* gen., песчанки *Gerbillinae* gen., гербиллоидный крицетид *Pseudomeriones* и примитивные полёвки рода *Protonomys* vel *Aratomys*. Появление настоящих полёвок, формы зайцеобразных и *Pseudomeriones* указывают на ранний плиоцен. Отложения Чоно-Хариаха соответствуют пачке Б хиргиснурской свиты обнажения Хиргис-Нур-2 и, возможно, немного надстраивают ее, отличаясь более грубым составом и аллювиально-озерным генезисом.

На южном склоне хребта Хан-Хухэйн отобраны пробы кембрийских гранитоидов для

изучения термохронологии трековым методом по апатитам и цирконам. Это уточнит историю новейших деформаций северного ограничения Котловины Больших Озер. Описаны надвиги мезозойских и палеозойских пород на новейшие отложения (рис. 15). Статья на эту тему подготовлена к печати. В строении надвиговых пластин принимают участие породы от верхнего кембрия до среднего плейстоцена.

Приводятся данные об амплитудах и скоростях движений по надвигам. Показано, что скорости тектонических движений увеличиваются на порядок в четвертичное время, в частности, в позднем плейстоцене и составляют 0,57 мм/год.

Отмечается потенциальная сейсмическая опасность надвигов. На северном склоне хребта выявлен неизвестный ранее активный разлом СЗ простирания, выраженный уступом (рис. 14). Разлом прослежен на 20 км и менее отчетливо еще на 30 км. В траншее вскрыта плоскость разлома, смещающего кровлю выветрелых гранитов, маломощные делювиальные отложения и современный почвенный слой.

Изучены проявления миоценового вулканизма на субмеридианальном участке долины реки Чулуут-гол. Вулканиды образуют ряд хорошо выраженных террасовидных поверхностей, которые врезаются одна в другую и отражают стадии развития вулканизма и рельефа северного склона Хангайского нагорья (рис. 12). Наиболее распространены террасы высотой 40–50 м, 120–140 м, 210 м и 250–300 м. В уступах каждой террасы выделены несколько потоков лав и пирокластических пород. Для выявления возрастных соотношений террас и эволюции вулканизма были опробованы потоки лав, слагающие наиболее выраженные террасы. Отобрано 10 проб для изучения химического состава (XRF и ISP-MS) и K-Ar возраста пород и петрографического описания.

В ходе исследований 2022–2024 гг. в области новейшего вулканизма Хангайского нагорья закартировано и опробовано много вулканических построек и лавовых потоков. Собрана база данных по химическому составу вулканидов района.

Петрографическое исследование пород позволило отнести их к тефритам, базальтам и фонолитовым тефритам. Основная масса породы сложена вулканическим стеклом (от 40 до 60%), в котором находятся тонкие лейсты полевых шпатов и пироксенов, а также более округлые вкрапленники оливина, содержание рудного минерала до 5%. Оливин ( $Fo=90-92$ ) сходен с оливином ксенолитов. Все точки составов исследуемых пород на классификационной диаграмме TAS  $Na_2O + K_2O - SiO_2$  попадают в поля фонолитовых тефритов, тефритов, трахиандезибазальтов [Le Maitre, 2002]. Спектры распределения редких элементов, нормированных к примитивной мантии, характеризуются понижением от легких к тяжелым элементам и схожи с эмпирическим эталонным спектром OIB [Sun, 1989]. На дискриминантных диаграммах Zr-Nb-Y [Meschide M., 1986] и  $Nb \cdot 2 - Zr/4 - Y$  [Pearce J.A., 1973] точки составов базитов равномерно располагаются в одном поле, отвечающем внутриплитным щелочным базальтам (рис. 16). По результатам изучения вулканизма подготовлена статья, требующая дополнения данными полевых работ 2024 г. и K-Ar датами, которые сейчас определяются. Поэтому сдача статьи в печать сдвинута на 2025 г.

Помимо указанных полевых работ и обработки полученных материалов В.Г. Трифонов и С.Ю. Соколов совместно с другими участниками проекта выделили и исследовали парагенез II порядка, образованный активными разломами между Хангайским левым сдвигом и Тункино-Мондинской левосдвиговой зоной, которые являются элементами главного парагенеза активных разломов региона. Парагенез II порядка объединяет Эрзин-Агардагский и Цэцэрлэгский левые сдвиги СВ простирания и зону левосдвиговых деформаций, состоящую из субмеридиональных грабенообразных впадин и расположенных между Дархатской и Хубсугульской впадинами надвигов и принадлежностей складок. Зона левосдвиговых деформаций замещает сдвиги над

осевой частью Хангайского плюма, где его кровля максимально приближена к поверхности. Отклонение осей напряжений парагенеза II порядка относительно главного парагенеза может быть связано с вращением блока между пограничными разломами.

В.Г. Трифонов начал исследования по определению роли офиолитового субстрата в расположении активных разломов и интенсивности перемещений по ним.

Подготовлена статья с первыми результатами такого сопоставления в азиатской части Альпийско-Гималайского пояса.

#### 1.4. Сведения о достигнутых конкретных научных результатах в отчетном году

Достигнутые результаты представлены в 6 статьях, опубликованных в 2024 г. по тематике проекта.

(1) A.V. Arzhannikova, S.G. Arzhannikov, A.A. Chebotarev, E. Nomin-Erdene. Morphotectonics and paleoseismology of the North Darhad fault (SW Baikal Rift, Mongolia) // J. of Asian Earth Sci. 2024. V.259. 105882, <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2023.105882>. Представлены новые морфотектонические и палеосейсмологические данные по зоне Северо-Дархатского разлома на восточном борту Дархатской впадины. Выявлены два палеосейсмических события, ответственные за образование разломного уступа. Средняя скорость сбросового смещения составляет от  $0.3 \pm 0.06$  до  $0.6 \pm 0.12$  мм/год за последние 8400 лет. Интервал повторяемости землетрясений  $M_w=7$  – 3500 лет. Если эти оценки распространить в прошлое, возраст Дархатской впадины составит 6.5–3.3 млн лет.

(2) 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 // J. of Asian Earth Sci. 2024. V.276. 106355, <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2024.106355>. Саяно-Тувинское нагорье сформировалось на границе с Сибирским кратоном в позднем миоцене – раннем плиоцене и характеризуется поднятием и сдвиговым смещением литосферных блоков. Этот район имеет очень мало данных GPS-геодезии и остается белым пятном на карте скоростей современных деформаций. Данные о геологических скоростях смещения по разломам, а также морфотектонические и палеосейсмологические данные остаются фрагментарными. Мы провели комплекс исследований, позволяющих ответить на вопрос, как распределяются деформации в пределах Саяно-Тувинского нагорья, каковы скорости и возраст горизонтальных перемещений крупных литосферных блоков. Используя морфотектонический и палеосейсмологический анализ, мы рассчитали скорости смещений и начало активизации трех разломов: Эрзино-Агардагского, Саяно-Тувинского и Каахемского, которые являются фрагментами крупных разломных систем, пересекающих все Саяно-Тувинское нагорье до границы с Сибирской платформой. Для Эрзино-Агардагского разлома скорость левостороннего смещения составляет 0,7–1,4 мм/год, а возраст активизации сдвига оценивается в 2,1–1,1 млн лет. Для Саяно-Тувинского и Каахемского разломов минимальные скорости горизонтальных смещений составляют  $0,9 \pm 0,1$  и  $0,6 \pm 0,1$  мм/год, а максимальный возраст начала сдвиговых смещений – 2,4 и 5 млн лет, соответственно. Мы полагаем, что 1,1–2,1 млн лет назад произошло кинематическое изменение, активизировавшее субширотные разломы с левосторонней сдвиговой компонентой, что привело к формированию современной

кинематической модели, характеризующейся движением литосферных блоков на восток вдоль унаследованных систем разломов между Хангайским массивом и Сибирским кратоном (рис. 4). Анализ распределения сдвиговых смещений и тренчинговые работы по Эрзино-Агардагскому разлому позволили оценить средний интервал повторяемости землетрясений с  $M_{7.8}$  между 9.4 и 4.7 тыс. лет. Изучение геологических скоростей смещения и возраста активизации разломов с помощью современных методов датирования тектонических деформаций позволило по-новому взглянуть на процесс формирования неотектонической структуры Саяно-Тувинского нагорья и впервые представить количественную основу для его тектонической модели.

(3) A.A. Chebotarev, S.G. Arzhannikov, A.V. Arzhannikova, R.N. Kurbanov. Origin of the Badar Sand Field and the late pleistocene tectonic movements in the Tunka depression, the Baikal Rift Zone, Eastern Siberia // J. of Asian Earth Sci. 2024. V. 260, 105957,

<https://doi.org/10.1016/j.jseae.2023.105957>. Бадарский песчаный массив представляет собой куполообразную структуру, доминирующую в рельефе погружающейся Тункинской впадины на юго-западном фланге Байкальского рифта. Было предложено много интерпретаций его происхождения, в том числе тектоническое воздымание, но вопрос до сих пор оставался открытым. Мы предлагаем новую модель происхождения Бадарского массива. Накопление песчаного массива происходило в два этапа: аквальный и эоловый. Нижняя часть песчаных отложений накапливалась во время длительного существования подпорного палеоозера. Верхняя часть сформировалась после осушения палеоозера в результате эолового переотложения песков. Новые результаты OSL-датирования по вертикальному 40-метровому геологическому разрезу «Бадар» показали, что накопление озерных отложений происходило в период 24–15 тысяч лет назад (MIS2). На основе анализа спутниковых снимков мы смоделировали палеоозеро и установили, что оно возникло в результате оползней, подпрудивших участок долины реки Иркут в Еловском отроге. Анализ террас реки Иркут показал отсутствие тектонического поднятия в пределах Тункинской впадины в голоцене. Врез р. Иркут на 40-90 м в Бадарский массив произошел в результате восстановления равновесия в продольном профиле реки из-за изменения условий осадконакопления.

(4) А.В. Сизов, М.В. Сотникова, С.А. Соколов, А.А. Якимова, А.С. Тесаков, И.А. Вислобокова, Н.В. Зеленков, А.Н. Симакова, К.И. Юшин, Батсайхан Цэрэнпил. Новый взгляд на возраст и геологическое строение местонахождения неогеновых позвоночных Хиргис-Нур-2 (Северо-Западная Монголия) // Геодинамика и тектонофизика. 2024. № 6. С. 1–21. DOI: 10.5800/GT-2024-15-6-0791. На северо-западе Монголии в Котловине Больших Озер широко распространены отложения континентального позднего неогена, в частности, свиты хиргис-нур. Ее стратотип описан в разрезе Хиргис-Нур-2 на северном берегу одноименного озера [Девяткин, 1970]. По итогам работ 70–80-х годов XX века граница миоцена и плиоцена находится внутри пачки А нижней части (подсвиты) разреза. Новые данные по геологии нижнехиргиснурской подсвиты и ревизия комплекса млекопитающих позволяют заключить, что вся эта часть разреза относится к терминальному позднему миоцену, а териофауна характеризует поздний туролий (MN13). Полученные результаты заставляют скорректировать историю развития Котловины Больших Озер.

(5) С.Ю. Соколов, В.Г. Трифионов. Дуговые структуры и строение верхней мантии Центральной и Юго-Восточной Азии по данным сейсмотомографии и сейсмичности // Геотектоника. 2024. № 1. С. 28–47. DOI: 10.31857/S0016853X24010023. Во

внутренней части Зондской дуги выделяется ряд плюмовых объемов, прерывающих стагнирующий слэб, обрамленный с юга слэбом Зондской дуги. Над кровлей слэба выделяются вторичные плюмы, образующие рифты. 3D отображение bVp в районе Тибета и Центральной Азии содержит структуры, сходные с районом Зондской дуги. Наблюдается область субгоризонтальных фрагментов слэбов и разрывы, в которых обнаруживаются плюмовые аномалии глубинного и вторичного происхождения. Векторы подвижек по плоскостям срывов Зондской дуги, установленные по механизмам землетрясений, направлены вовне дуги от центра ее кривизны, где сконцентрированы вторичные верхнемантийные плюмы. Это указывает на присутствие надвигов на фронте дуги, не связанных с субдуцирующей плитой. Веерообразный рисунок азимутов сейсмических подвижек в дуге Гималаев направлен на Индостан. Это указывает на смещения масс на юг от задуговой области растяжения в пределах Тибета с формированием надвиговых деформаций. Таким образом, в обеих дугах выделяются два направления сейсмических перемещений. Первое соответствует поддвигу Индийской плиты, второе – надвиганию на нее.

(6) В.Г. Трифонов, С.А. Соколов, А.Н. Овсюченко, С.Ю. Соколов, Т. Batsaikhan, S. Demberel, Ю.В. Бутанаев, Н. Г. Кошевой. Активные разломы севера Центральной Монголии, их соотношение с новейшей структурой и глубинным строением региона // Геотектоника. 2024. № 2. С. 3–33. DOI: 10.31857/S0016853X24020019.

Исследована активная тектоника региона между крупнейшими субширотными зонами левых сдвигов – Хангайским разломом и Тункино-Мондинской зоной (рис. 17). Они являются частью парагенеза активных разломов Монголо-Байкальского региона, сформировавшихся в условиях северо-восточного наибольшего сжатия и северо-западного растяжения. Между пограничными зонами протягиваются Эрзин-Агардагский и Цэцэрлэгский левые сдвиги ВСВ простираения. Между Эрзин-Агардагским сдвигом и Тункино-Мондинской зоной расположены субмеридиональные грабенообразные впадины – Бусийнгольская, Дархатская и Хубсугульская, образующие зону левосдвиговых деформаций, которая кинематически сходна с продолжающими ее сдвигами. В отличие от пограничных сдвигов, этот структурный парагенез сформировался в условиях субмеридионального относительного сжатия и субширотного растяжения. Изменение ориентировки напряжений может быть связано с вращением блока между пограничными разломами. Грабенообразные впадины находятся над поднятием кровли низкоскоростной мантии Хангайского плюма. Над ним литосфера редуцирована и разупрочнена. Сильные землетрясения повторялись в области этих впадин чаще, чем в зонах сдвигов, но с меньшими магнитудами.

## 1.5. Описание выполненных в отчетном году работ и полученных научных результатов

на русском языке

Выполнены экспедиционные работы в Монголии и Тыве. Получены новые данные о расположении и кинематике активных разломов в зоне сочленения разломов Монгольского Алтая СЗ простираения с широтными разломами более восточных областей. В области сочленения Монгольского и Гобийского Алтая обследованы разломы Хараус-Нуру и Дарвийн Нуру, представляющие эти структурные

направления. На северо-западе региона выявлены сдвиговые перемещения современной постройки в очаговой зоне Урэгнурского землетрясения 1970 г. с  $M_s=7.0$ . В зоне Южно-Таннуольского разлома Тывы обнаружены сдвиговые и вертикальные смещения археологических объектов. Исследованы сложные структурные соотношения южного окончания Каахемской зоны активных правых взбросо-сдвигов с широтным Малоенисейским левым сдвигом, который связывает Каахемскую зону с Бусийнгольским грабеном.

С помощью современных методов датирования тектонических деформаций определены скорости перемещений и возраст активизации Эрзин-Агардагского и Саяно-Тувинского разломов и западного сегмента Каахемской зоны разломов. На этой количественной основе создана модель четвертичной тектоники Саяно-Тувинского нагорья. Модель представляет основные блоки, смещенные по крупным сдвигам, наследующим границы протерозойских и палеозойских террейнов.

Активные разломы Монголо-Байкльского региона образуют единый структурный парагенез. Между Хангайским левым сдвигом и Тункино-Мондинской левосдвиговой зоной выделен парагенез II порядка, Он образован Эрзин-Агардагским и Цэцэрлэгским левыми сдвигами СВ простирания и зоной левосдвиговых деформаций, состоящей из субмеридиональных грабенообразных впадин и расположенных между Дархатской и Хубсугульской впадинами надвигов и принадлежностей складок. Отклонение осей напряжений парагенеза II порядка относительно главного парагенеза может быть связано с вращением блока между пограничными разломами.

Опубликованы результаты стратиграфического и палеонтологического изучения разреза Хиргис-Нур-2 на северо-востоке Котловины Больших Озер в Монголии, где находится стратотип хиргиснурской свиты (верхний миоцен – нижний плиоцен). По итогам работ 70–80-х годов XX века граница миоцена и плиоцена находится внутри пачки А нижней части (подсвиты) разреза. Новые данные по геологии нижнехиргиснурской подсвиты и ревизия комплекса млекопитающих позволяют заключить, что вся эта часть разреза относится к терминальному позднему миоцену, а териофауна характеризует поздний туролий (MN13). Изучено местонахождение Чоно-Хариах на западе Котловины Больших Озер. Фауна крупных и мелких млекопитающих доказывает раннеплиоценовый возраст. Отложения Чоно-Хариаха соответствуют пачке Б хиргиснурской свиты обнажения Хиргис-Нур-2, отличаясь более грубым составом. Полученные результаты заставляют скорректировать историю развития Котловины Больших Озер.

Изучены проявления миоценового вулканизма в долине р. Чулуут-гол Хангайского нагорья Монголии. Вулканы образуют ряд террасовидных поверхностей, которые, врезаются одна в другую. Петрографические и химические исследования базитов Монголии позволили отнести их к тефритам, фонолитовым тефритам и трахиандезибазальтам. На дискриминантных диаграммах  $Zr-Nb-Y$  и  $Nb \cdot 2-Zr/4-Y$  точки составов базитов располагаются в поле внутриплитных щелочных базальтов. Выполнено сравнение выделенного ранее Хангайского мантийного плюма с аналогичными глубинными образованиями. Показано, что плюмы Хангайский, Тибетский и Мьянма-Юннань образуют субмеридиональный ряд внутримантийных плюмов, восходящих из верхов нижней мантии (1250–1550 км) и этим отличающихся от верхнемантийных плюмов и суперплюмов, восходящих от границы ядро-мантия. Внутримантийные плюмы занимают определенное положение в глобальной структуре мантии и оказывают воздействие на кайнозойскую структуру земной коры и магматизм.

Во внутренней части Зондской дуги выделен ряд плюмовых объемов, прерывающих стагнирующий слэб, обрамленный с юга слэбом Зондской дуги. Над кровлей слэба

выделяются вторичные плюмы, образующие рифты. Векторы подвижек по плоскостям срывов Зондской дуги, установленные по механизмам землетрясений, направлены вонне дуги от центра ее кривизны, где сконцентрированы вторичные верхнемантийные плюмы. Это указывает на присутствие надвигов на фронте дуги, не связанных с субдуцирующей плитой. 3D отображение bVp над Тибетским плюмом содержит структуры, сходные с районом Зондской дуги. Наблюдается область субгоризонтальных фрагментов слэбов и разрывы, в которых обнаруживаются плюмовые аномалии глубинного и вторичного происхождения, с которыми связано широтное растяжение Тибета. Веерообразный рисунок азимутов сейсмических подвижек в дуге Гималаев направлен на Индостан. Это указывает на смещения масс на юг от задуговой области растяжения в пределах Тибета с формированием надвиговых деформаций. Таким образом, в обеих дугах выделяются два направления сейсмических перемещений. Первое соответствует поддвигу Индийской плиты, второе – надвиганию на нее. Результаты выполненных исследований представлены в 6 научных статьях, опубликованных в 2024 г.

на английском языке

Expeditionary works were carried out in Mongolia and Tyva. New data were obtained on the location and kinematics of active faults in the junction zone of the NW-trending faults in the Mongolian Altai with the W-E-trending faults in more eastern areas. In the area of the junction of the Mongolian and Gobi Altai, the Kharau-Nuru and Darwiin Nuru faults, representing these structural directions, were examined. In the north-west of the region, strike-slip displacement of a recent building were revealed in the focal zone of the 1970 Uregnur earthquake with  $M_s=7.0$ . In the South Tannuola fault zone in Tyva, strike-slip and vertical displacements of archaeological objects were discovered. The complex structural relationships of the southern end of the Kaakhem zone of active right lateral faults with reverse component and the W-E-trending Lesser Enisey left lateral fault, which connects the Kaakhem zone with the Busiingol graben, have been studied.

Using modern methods of tectonic deformation dating, the rates of movement and the age of activation of the Erzin-Agardag and Sayan-Tuva faults and the western segment of the Kaakhem fault zone were determined. On this quantitative basis, a model of the Quaternary tectonics of the Sayano-Tuva Highlands was created. The model represents the main blocks displaced on major strike-slip faults that inherit the boundaries of the Proterozoic and Paleozoic terranes.

Active faults of the Mongolia-Baikal region form a single structural paragenesis. Between the Khangai left-lateral fault and the Tunka-Mondyleft-lateral fault zone, a paragenesis of the second order is identified. It is formed by the NE-trending Erzin-Agardag and Tsetserleg left-lateral faults and a zone of left-lateral deformation, consisting of the N-S-trending graben-like basins and thrusts and overthrust folds located between the Darhat and Khuvsgul basins. The deviation of the stress axes of the second order paragenesis relative to the main paragenesis may be caused by the rotation of the block between the boundary faults.

The results of a stratigraphic and paleontological study of the Khirgis-Nur-2 section in the northeast of the Great Lakes Depression in Mongolia have been published. This is the stratotype of the Khirgis-Nur Formation (Upper Miocene - Lower Pliocene), According to the results of work in the 70-80s of the 20th

century, the Miocene–Pliocene boundary is located within unit A of the lower part (subformation) of the section. New data on the geology of the Lower Khirgisnur subformation and a revision of the mammal complex allow us to conclude that this entire part of the section belongs to the terminal Late Miocene, and the theriofauna characterizes the late Turolian (MN13). The Chono-Hariah locality in the west of the Great Lakes Depression was studied. The fauna of large and small mammals proves the Early Pliocene age. The Chono-Khariaha deposits correspond to member B of the Khirgisnur formation of the Khirgis-Nur-2 section, differing in a coarser composition. The results obtained force us to correct the history of the development of the Great Lakes Depression.

Manifestations of the Miocene volcanism in the Chuluut river valley were studied in the Khangai Highlands of Mongolia. Volcanic rocks form a series of terrace-like surfaces, which are cut into one another. Petrographic and chemical studies of the basites of Mongolia made it possible to attribute them as tephrites, phonolite tephrites, and basaltic trachyandesites. On the discriminant diagrams  $Zr-Nb-Y$  and  $Nb \cdot 2 - Zr/4 - Y$ , the composition points of these rocks are located in the field of intraplate alkaline basalts.

A comparison was made of the previously identified Khangai mantle plume with similar deep-seated formations. It is shown that the Khangai, Tibetan, and Myanma-Yunnan plumes form a N–S-trending series of intramantle plumes rising from the upper part top of the lower mantle (1250–1550 km) and this differs from the upper mantle plumes and superplumes rising from the core-mantle boundary. Intramantle plumes occupy a certain position in the global mantle structure and influence on the Cenozoic structure of the Earth's crust and magmatism.

In the inner part of the Sunda Arc, a number of plume volumes are identified, interrupting the stagnant slab, framed from the south by the Sunda Arc slab. Secondary plumes forming rifts are visible above the slab roof. The displacement vectors of the shear planes of the Sunda arc, determined from earthquake mechanisms, are directed outside the arc from the center of its curvature, where secondary upper mantle plumes are concentrated. This indicates the presence of thrusts at the arc front that are not associated with the subduction plate. The 3D  $\delta V_p$  display over the Tibetan plume contains structures similar to the Sunda Arc region. There is an area of subhorizontal fragments of slabs and breaks in which plume anomalies of deep and secondary origin are found, which are associated with the W – E-trending extension of Tibet. The fan-shaped pattern of azimuths of seismic movements in the Himalayan arc is directed towards Hindustan. This indicates rock displacement to the south from the back-arc extension region within Tibet with the formation of thrust deformation. Thus, in both arcs two directions of seismic movements are distinguished. The first corresponds to the underthrust of the Indian plate, the second corresponds to the thrust on it.

The results of the research performed are presented in 6 scientific papers published in 2024.

## 1.7. Перечень публикаций за год по результатам проекта

1

Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Чеботарев А.А., Соколов С.А. [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 (2024) wos, scopus, «Белый список», Q1

---

2

Трифонов В.Г., Соколов С.А., Овсяченко А.Н., Соколов С.Ю., Batsaikhan T, Demberel S., Бутанаев Ю.В., Кошевой Н.Г. [АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ СЕВЕРА ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ, ИХ СООТНОШЕНИЕ С НОВЕЙШЕЙ СТРУКТУРОЙ И ГЛУБИННЫМ СТРОЕНИЕМ РЕГИОНА](#) Геотектоника (2024) wos, scopus, rsci, РИНЦ, «Белый список», Q2

---

3

Соколов С.Ю., Трифонов В.Г. [ДУГОВЫЕ СТРУКТУРЫ И СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОТОМОГРАФИИ И СЕЙСМИЧНОСТИ](#) Геотектоника (2024) wos, scopus, rsci, РИНЦ, «Белый список», Q2

---

4

Сизов А.В., Сотникова М.В., Соколов С.А., Якимова А.А., Тесаков А.С., Вислобокова И.А., Зеленков Н.В., Симакова А.Н., Юшин К.И., Батсайхан Ц. [НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ВОЗРАСТ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ НЕОГЕНОВЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ ХИРГИС-НУР-2 \(СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ\) ГЕОДИНАМИКА И ТЕКТОНОФИЗИКА](#) (2024) wos, scopus, rsci, РИНЦ, «Белый список»

---

5

Сизов А.В., Клементьев А. М., Pierre-Olivier Antoine [An Early Miocene skeleton of Brachydiceratherium Lavocat, 1951 \(Mammalia, Perissodactyla\) from the Baikal area, Russia, and a revised phylogeny of Eurasian teleoceratines](#) bioRxiv (2023)

---

6

Чеботарев А.А., Аржанников С.Г., Аржанникова А.В., Курбанов Р.Н. [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) wos, scopus, «Белый список», Q1

1.10. Информация о представлении достигнутых научных результатов на научных мероприятиях (конференциях, симпозиумах и пр.)

Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Чеботарев А.А., Трифонов В.Г., Соколов С.А. Роль сдвиговых разломов на плиоцен-четвертичном этапе формирования новейшей структуры Саяно-Тувинского нагорья // IX Международном симпозиум «Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Бишкек: ИС РАН, 2024 г. (Устный доклад)

Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Чеботарев А.А., Трифонов В.Г., Соколов С.А. Скорости смещения и возраст сдвиговых деформаций Саяно-Тувинского нагорья // Всероссийская конференция «Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический аспект» Иркутск, 16–21 сентября 2024 г. (Пленарный доклад).

Соколов С.А., Юшин К.И., Сизов А.В. Позднечетвертичные надвиги южного склона хр. Хан-Хухэй (северо-западная Монголия) // «LV (55) Тектоническое совещание. Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2024». Москва, 29 января – 3 февраля 2024 г. (Устный доклад).

Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Иерархия мантийных плюмов и их геодинамические воздействия // LV (55) Тектоническое совещание «Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2024». Москва, 29 января – 3 февраля 2024 г. (Пленарный доклад).

**Форма 5и**  
**Итоговый отчет о выполнении проекта**  
**№ 22-17-00049**  
**«Неотектоника и активная тектоника северной части Центральной Азии»**

5.1. Заявленный в проекте план работы на весь срок выполнения проекта, предлагаемые методы и подходы (в соответствии с исходной заявкой на участие в конкурсе)

Разнообразные задачи проекта требуют применения разнообразных методов исследования. При изучении выражения новейшей структуры в рельефе большое значение будет иметь анализ детальных моделей рельефа и космических изображений. Это относится, прежде всего, к изучению морфологии поднятий, выявлению относительной роли изгибных деформаций и движения блоков в формировании их поверхности, тогда как морфология поверхности впадин в меньшей степени отражает их структуру, замаскированную новейшими отложениями. В ходе такого анализа будут выбраны участки детальных работ, где помимо наземных наблюдений будет проводиться съемка с управляемых летательных аппаратов (дронов) с последующей количественной обработкой результатов съемки. Дроны будут применены также для картирования и параметризации активных разломов и новейших вулканов. Детальная топографическая съемка с помощью комплекта ГНСС приемников EFT будет проводиться для измерения молодых смещений форм рельефа. Для изучения новейших отложений будут выбраны разрезы тех впадин и временных интервалов, которые оказались недостаточно охарактеризованы предшественниками, но необходимы для воссоздания общей картины неотектонического развития региона. В ходе полевых работ будет проводиться описание литолого-фациального состава и условий залегания новейших отложений, поиск и отбор палеонтологического материала, включая спорово-пыльцевые пробы, петрографических и палеомагнитных образцов и (при необходимости и возможности) образцов для радиоизотопного датирования. Аналитическая обработка образцов будет проводиться участниками проекта, а также иными сотрудниками ГИН РАН и других организаций. Договоренности о такой кооперации сложились в ходе многолетних совместных работ.

При изучении активных разломов будут учтены результаты предшествовавших работ как авторов проекта, так и других исследователей. Поэтому исследования будут сосредоточены на недостаточно изученных объектах. К ним относятся, прежде всего, восточное и западное окончания Хангайского разлома и его соотношения с активными разломами Монгольского Алтая, северо-восточная часть Цэцэрлэгского разлома, разломы Тувы субширотного и ВСВ-ного направлений, их соотношения с субмеридиональными разломами, а также с разломами Алтая на западе и Тункино-Мондинской зоной разломов на востоке. При полевом изучении активных разломов, помимо определения или уточнения их геометрии и кинематики, большое внимание будет уделено режиму развития разлома, т.е. характеристикам палеосейсмических проявлений в его зоне. Для этого будет применен тренчинг, а для сдвигов также метод определения дискретности амплитуд горизонтальных смещений, удачно применявшийся в Монголии ранее (Трифонов, 1985). Помимо радиоизотопных методов датирования деформированных отложений и сейсмогенных подвижек авторы рассчитывают использовать археосейсмологический, историко-сейсмологический и топонимический подходы, успешно зарекомендовавшие себя на территории Тувы и Монголии (Хилько и др., 1985; Панин, 2011; Бутанаев и др., 2018; Овсяченко и

др., 2019б).

Для изучения скоростной структуры верхней мантии будет выполнен анализ баз сейсмографических данных мировой сети, будут выявлены и зарегистрированы отличия скоростей сейсмических волн в определенных объемах мантии от средних для соответствующих глубин значений. Эти отклонения будут представлены на многочисленных скоростных разрезах мантии. При их построении будет использован программный модуль С.Ю. Соколова, с помощью которого, в отличие от стандартных программных средств, разрезы строятся вдоль заданных произвольных профилей, состоящих из цепочек координатных пар, не лежащих на линии большого круга. В отличие от прежних подобных работ участников проекта, методика которых изложена в публикациях, например (Соколов, Трифонов, 2012; Трифонов, Соколов, 2017, 2018; Трифонов и др., 20212), в данном проекте будут сопоставлены результаты анализа различных баз сейсмографических данных, что повысит достоверность сопоставления строения верхней мантии с новейшей структурой земной поверхности. Будет построена 3D модель Хангайского плюма и сопоставлена с аналогичными моделями Тибетского плюма и Эфиопско-Афарского и Тихоокеанского суперплюмов.

В первый год реализации проекта (2022 г.) будут проанализированы все опубликованные материалы по тематике проекта; будет исследована структура новейших поднятий и их ограничений методами структурной геоморфологии; более детально изучена мантийная скоростная структура Хангайского плюма и его Хэнтэйского ответвления, построена их 3D модель и выяснены соотношения со строением мантии Забайкалья. Планируется проведение полевых работ в Монголии, где будут исследованы разрезы новейших отложений впадин, примыкающих к Хангайскому нагорью с запада, новейшая структура Хангайского нагорья и поднятых обрамлений указанных впадин на ключевых участках, а также активные разломы восточного окончания Хангайской зоны, зоны Цэцэрлэгского разлома и обрамлений Хубсугульского (в том числе, проявления землетрясения 2021 г. с магнитудой  $M_w=7$ ), Дархатского и Бусийнгольского грабенов. Планируется также исследовать Мондинский разлом и активные разломы Центрально-Тувинской системы межгорных впадин.

Во второй год реализации проекта (2023 г.) планируется исследовать (с проведением полевых работ в Монголии) новейшую структуру Гобийского и Монгольского Алтая, новейшие отложения Долины Озер, примыкающей к Гобийскому Алтаю с севера, и впадин предгорий Монгольского Алтая, активные разломы западных частей Гоби-Алтайской и Хангайской зон. В Туве планируется исследовать соотношения субмеридиональных активных разломов Монгольского Алтая (в первую очередь Кобдинского и Цаган-Шибетинского) с субширотными активными разломами Западного Танну-Ола. Будет проанализирована скоростная структура верхней мантии региона к западу и северу от Хангайского плюма.

В третий год реализации проекта (2024 г.) будут исследованы (с проведением полевых работ в Туве и соседних районах юга Сибири) новейшая структура Тувы, ее соотношения с новейшими поднятиями Горного Алтая и Западного Саяна, простирающиеся на ВСВ активные разломы Тувы, их соотношения с субширотными разломами Тункино-Мондинской зоны и субмеридиональными разломами Восточной Тувы в пределах Билино-Бусингольской и Кунгуртугской впадин. Будут проанализированы структурная позиция Тункинской впадины в системе впадин, обрамляющих Хангайское нагорье, и Байкальской рифтовой системе, а также соотношения главных элементов новейшей структуры со строением верхней мантии региона. Будет выполнено обобщение результатов работ по проекту. Планируются полевые работы 2022–2024 гг., приходится иметь в виду возможные

эпидемиологические ограничения. Поэтому приведенный выше план проведения полевых работ следует рассматривать как оптимальный, который допускает замену полевых работ одного года работами, планируемыми на другой год, а в наиболее неблагоприятной ситуации расширение полевых работ на юге Сибири в ущерб работам в Монголии. Попытка предусмотреть такую замену представлена ниже для первого года работ по проекту (см. раздел 4.9). Вместе с тем, в случае открытия Монголии для посещения предполагается максимально увеличить продолжительность полевых работ, чтобы решить их главные задачи и уменьшить ущерб от возможных последующих запретов посещения.

В ходе исследований ожидается получение следующих научных результатов:  
2022 г. – характеристика активных разломов широтного и северо-восточного простирания Тувы в районе Центрально-Тувинской системы межгорных впадин (Кызыльской, Улугхемской, Хемчикской) и хр. Тунну-Ола и их соотношения с новейшей структурой горных поднятий и межгорных впадин региона (две подготовленные к печати статьи); новые данные о стратиграфии северного борта впадины Убсу-Нур, Северо-Западная Монголия и Тува (подготовленная статья); характеристика позднеплейстоцен-голоценовой кинематики и палеосейсмичности Мондинского разлома Тункинской системы впадин (подготовленная статья); строение Хангайского плюма, Монголия, по результатам анализа сейсмотомографических данных глобальной сети (подготовленная статья).

2023 г. – соотношения субмеридиональных активных разломов Монгольского Алтая (в первую очередь Кобдинского и Цаган-Шибетинского) с субширотными активными разломами Западного Танну-Ола (подготовленная статья); характеристика новейших поднятий Западной и Центральной Монголии по геологическим и структурно-геоморфологическим данным (подготовленная статья); геодинамические проявления Хангайского плюма, Монголия (подготовленная статья).

2024 г. – соотношения активных разломов восток-северо-восточного и близмеридионального простираний в Туве, Южная Сибирь (подготовленная статья); активная тектоника Билино-Бусингольской и Кунгуртугской впадин (подготовленная статья); соотношения активных разломов северо-восточного и широтного простираний в Туве с разломами Тункино-Мондинской зоны (подготовленная статья); неотектоническая позиция Тункинской впадины (подготовленная статья); характеристика структурного парагенеза Хангайского нагорья и пояса обрамляющих его новейших впадин и его соотношения с активными разломами региона (подготовленная статья).

В ходе реализации проекта его участники планируют опубликовать 8 статей в журналах, индексируемых в системах Web of Science и/или Scopus: Геотектоника, Геология и Геофизика, Геоморфология, Геодинамика и Тектонофизика, Физика Земли, Journal of Asian Earth Sciences, Quaternary International, Geomorphology, Tectonophysics.

## 5.2. Содержание фактически проделанной работы, полученные результаты (за все годы)

Выполнены полевые исследования активных разломов и палеосейсмичности, новейшей структуры и новейшего вулканизма, проведена аналитическая обработка полевых материалов, осуществлен анализ глобальных сейсмотомографических моделей для определения строения мантии под новейшими структурами региона и сопредельных территорий. При полевом изучении активных разломов использованы геологические и структурно-геоморфологические методы с применением квадрокоптера. Для определения скоростей движений по активным разломам и возраста палеоземлетрясений выполнен тренчинг 12 разломных зон. Возраст

сейсмических и тектонических событий определен с применением методов усовершенствованного радиоуглеродного и OSL датирования и местами археологических данных. Возраст новейших отложений впадин обоснован новыми палеонтологическими материалами, и на этой основе по-новому представлена история формирования впадин. Для определения глубинных источников новейшего вулканизма использован комплекс петро-геохимических методов.

Экспедиционные работы проводились силами трех отрядов под руководством, соответственно, А.В. Аржанниковой, А.Н. Овсюченко и С.А. Соколова. В полевых работах А.В. Аржанниковой и обработке полученных материалов участвовали С.Г. Аржанников и А.А. Чеботарев. В работах отряда А.Н. Овсюченко участвовали Ю.В. Бутанаев и Н.Г. Кошевой. В полевых работах С.А. Соколова участвовали А.В. Сизов, К.И. Юшин и А.А. Якимова совместно с сотрудником Института астрономии и геофизики АН Монголии Ц. Батсайханом. В обработке и анализе добытого палеонтологического материала участвовал более широкий круг специалистов. Радиоуглеродное, OSL и K-Ar датирование для нужд проекта осуществлялось сторонними организациями. Обычно полевые отряды работали независимо друг от друга, но иногда совместно.

В.Г. Трифионов и С.Ю. Соколов с привлечением других участников проекта выполнили аналитические исследования и обобщение данных по активной тектонике, неотектонике и строению мантии под исследуемым регионом и соседними территориями. Ниже кратко охарактеризованы работы, выполненные разными группами участников проекта.

Отряд А.В. Аржанниковой

В 2022 г. в Тункинской системе впадин закончены работы по изучению Мондинского разлома [Arzhannikova et al., 2023], и начаты работы по изучению неоген-четвертичной истории развития впадины и источников сноса обломочного материала. Выполнены исследования в Дархадской впадине. Работы проводились на двух известных сейсмодислокациях: Джара-Гол (в восточном борту северной части впадины) и Том-Гол (на юге впадины), выявлены и закартированы две новые сейсмогенные структуры – Хогор-Гол (меридиональный разлом в западном борту впадины) и Хулган (взбросо-надвиг между Дархадской и Хубсугульской впадинами). Выкопано и документировано 6 траншей, где выявлены следы двух палеоземлетрясений. Отобраны 37 образцов для <sup>14</sup>C датирования палеоземлетрясений и 2 образца на OSL для расчета скорости движений.

В 2023 г. выполнен анализ кинематики и скоростей позднечетвертичных движений по активным разломам на юго-западном фланге Байкальского рифта (рис. 18). Показано, что скорости левосторонних смещений по крупным сдвигам согласуются со скоростью опускания Дархадской впадины. Результаты изложены в статье [Arzhannikova et al., 20241]. Проведены полевые работы в Тыве и смежных районах Монголии с целью изучения активных разломов, Эрзино-Агардакского, Саяно-Тувинского и западной части Каахемского. В траншее, заложенной поперек Каахемского разлома, отобран образец на OSL-анализ и 2 образца на <sup>14</sup>C-анализ. На Саяно-Тувинском разломе заложены траншея и два шурфа. В траншее выявлены 8 взбросо-сдвигов и выделены 4 палеосейсмических события. Отобраны 9 образцов на <sup>14</sup>C анализ, а в шурфе 2 – 2 образца на OSL-анализ. В центре Эрзино-Агардакского разлома в двух траншеях выделены 2 палеоземлетрясения, отобраны 4 образца на OSL и 11 образцов на <sup>14</sup>C датирование для определения их возраста и расчета скоростей движений. Результаты изучения разломов изложены в статье [Arzhannikova et al., 20242].

В 2024 г. описаны Бадарские пески в Тункинской впадине [Chebotarev et al., 2024]. В области сочленения Гобийского и Монгольского Алтая (Юго-Западная

Монголия), где субширотные разломы с левосдвиговой компонентой находятся в парагенезисе с северо-западными правыми сдвигами, изучены Хараус-Нурский разлом СЗ простирания и субширотный разлом Дарвийн Нуруу (см. рис. 1). На участке Хараус-Нурского разлома на восточном склоне хребта Джаргалант максимальная накопленная амплитуда сдвига составляет 30–40 м. Минимальная амплитуда в 3 м интерпретируется как одноактное смещение. Магнитуда землетрясения, соответствующая такой амплитуде сдвига, составляет 7.5 [Wells, Coppersmith, 1994]. Наблюдались сколы Риделя, выраженные трещинами, в крест простирания которых заложены две траншеи. Отложения траншей разорваны трещинами, соответствующими двум палеоземлетрясениям. Отобраны образцы на радиоуглеродный анализ.

На разломе Дарвийн Нуруу выбран участок, где разлом пересекает крупную реку и подпирает мелкие водотоки. Аллювиальная поверхность представлена несколькими уровнями, которые смещены на разную величину, что свидетельствует о многоактности подвижек. Минимальная величина разломного уступа составляет  $1.2 \pm 0.2$  м, что, скорее всего, соответствует амплитуде последнего события. Такая амплитуда характерна для землетрясения с магнитудой 7 [Wells and Coppersmith, 1994], при котором длина разрыва составляет ~40 км, что соответствует длине вскрытого сегмента разлома.

Отряд А.Н. Овсяченко

В 2022 г. выполнены исследования очаговой зоны Хубсугульского землетрясения 12.01.2021 г., расположенной в крутом западном борту Хубсугульского полуграбена, обработка полевых материалов и анализ опубликованных и картографических материалов. Результаты исследования изложены в статье [Овсяченко, Дэмбэрэл и др., 2023].

Исследована взбросо-надвиговая структура Хулган между Дархадской и Хубсугульской впадинами. Позднеголоценовые смещения закартированы на 15 участках. Надвиги имеют субширотное простирание. Совместно с отрядом С.А. Соколова исследован Цэцэрлэгский разлом на левом борту р. Тэсийн-Гол (Тэс-Хем). Разрыв изучен в двух траншеях на поверхности высокой (1–2 м) пойменной террасы. Результаты изложены в статье [Трифонов и др., 2024].

Исследованы активные разломы Тувинской системы межгорных впадин. В Кызыльской и Улугхемской впадинах изучены сейсмотектонические смещения в зоне Кызыльского разлома, трассируемого вдоль правого борта долины р. Енисей западнее г. Кызыл. Зафиксированы левосдвиговые смещения, одноактные исторического времени на 50–70 см и позднеголоценовые на 4–5 м. На западе Хемчикской впадины выявлены активные разломы в районе уйгурской крепости Малгаш-Бажын, стены которой испытали двукратные катастрофические разрушения. Гибель крепости и первое землетрясение, вероятно, произошли в 835–840 гг. В 2023 г. определялись соотношения субмеридиональных активных разломов Монгольского Алтая (Кобдинского и Цаган-Шибэтинского) и субширотных активных разломов Западного Танну-Ола, Убсунупской впадины и западного окончания хр. Хан-Хухийн на СЗ Монголии и ЮЗ Тывы. На западном окончании хр. Хан-Хухийн закартированы и изучены северная и южная ветви Хангайского разлома. В южной ветви выявлен левый сдвиг древнего оборонительного сооружения до 1 м. Обе ветви не имеют прямого сочленения с зоной Цаган-Шибэтинского разлома. В Убсунурской впадине выделен Хундлэнгольский разлом ВСВ простирания. На западе он утыкается в Цаган-Шибэтинский разлом и со смещением к северу продолжается Шапшальским разломом. По Цаган-Шибэтинскому разлому обнаружены смещения курганов и древних оросительных каналов. В долине р. Хархира правый сдвиг древнего канала – 3.3 м. На западном обрамлении хребта Цаган-Шибэту изучена

очаговая зона Урэг-Нурского землетрясения 1970 г. с  $M_s=7.0$ . Правый сдвиг при этом событии достиг 0.8–1 м. К западу от Кобдинского разлома выявлен молодой правый сдвиг ССЗ простирания длиной  $\geq 20$  км. В траншее отобраны образцы на  $^{14}\text{C}$  датирование из трех горизонтов палеопочв.

В зоне Улугхемского разлома на востоке Центрально-Тувинской системы активных разломов выявлен левый сдвиг трех курганов на 1.3 м. В Хемчикской впадине по разлому Центрально-Тувинской системы замерен левый сдвиг уступа высокой террасы р. Хонделен на 80–90 м. На окончании Хемчикского сегмента Центрально-Тувинской системы разломов в траншеях получены калиброванные даты палеопочв опущенного крыла сейсмоструктурного разрыва:  $4080\pm 160$ ;  $3000\pm 130$ ;  $1140\pm 80$  лет назад.

В 2024 г. для определения соотношения субмеридиональных разломов Монгольского Алтая с субширотными активными разломами Западного Танну-Ола, хр. Хан-Хухий и Шапшальского хребта продолжено изучение Хундлэнгольского разлома. Определены левосдвиговые смещения мелких долин на 3–4.5 м, и уточнена длина разлома – 41 км. В случае одноактности смещений магнитуда сейсмического события, определяемая по величине смещений, существенно больше таковой, определяемой по длине разлома. Вероятно, он представляет собой лишь восточный фланг крупной Шапшальской очаговой зоны, вспарывавшейся при сильнейших землетрясениях с  $M \geq 8$ . В западном обрамлении хребта Цаган-Щибэту продолжено изучение сейсмоструктурного правого сдвига СЗ простирания в очаговой зоне Урэгнурского землетрясения 1970 г. с  $M_s=7.0$ . Обнаружен сейсмоструктурный уступ, сместивший вправо на 0.5 м современный загон для скота.

На восточном фланге Южно-Таннуольской системы разломов закартировано смещение кургана по широтному разрыву влево на 1–1.1 м и вертикально на 0.3–0.4 м. На востоке Тувы, на участке долины р. Малый Енисей длиной ~60 км изучен Малоенисейский разлом субширотного простирания к востоку от сочленения с субмеридиональным отрезком Каахемской системы разломов, образующим структуру «конского хвоста» в районе устья р. Ужеп. Смещение по этой системе привело к выдвиганию треугольного блока на юг в локальную депрессию, образованную Малоенисейской разломной зоной. К востоку от устья р. Ужеп разрывы Малоенисейской зоны образуют левосдвиговой ансамбль. Максимальная величина левого сдвига – 50–60 м. Выявлена взбросовая компонента смещений с поднятым северным крылом. Левосдвиговые смещения тыловых швов высокой пойменной террасы варьируют от 7 м до 30 м. В расчистках выявлены три разовые подвижки, отобраны 8 образцов палеопочв на  $^{14}\text{C}$  датирование. По дистанционным данным Малоенисейский разлом достигает на востоке меридиональной Белино-Бусийнгольской впадины, разделяя ее на Белинский и Бусийнгольский сегменты. В Центрально-Тувинской системе разломов исследован активный левый взбросо-сдвиг ВСВ простирания в районе г. Чадан. В расчистке разломная зона представлена двумя разрывами, между которыми залегают пролювиально-делювиальные осадки с серией коллювиальных клиньев – маркеров одноактных смещений. Клинья захоронили 6 фрагментов палеопочв, из которых отобрано 6 образцов на  $^{14}\text{C}$  датирование. Длина разлома может достигать 55 км, что соответствует очагу землетрясения с  $M=7.2-7.5$ .

По полученным материалам готовятся к печати 3 статьи: (1) Морфоструктура Ужепского тектонического узла в восточной Туве (долина р. Малый Енисей); (2) Очаг сильных землетрясений в Хемчикской впадине (Западная Тува): исследования методами палео- и археосейсмологии; (3) Повторяемость сильных землетрясений в очаге Цэцэрлэгского землетрясения 9.07.1905 в Северной Монголии. В печать сдана статья: Овсяченко А.Н., Бутанаев Ю.В., Ларьков А.С., Мараханов А.В.

Каахемская система активных разломов в Туве: сегменты и повторяемость сильных землетрясений по данным палеосейсмологических исследований // Физика Земли. Установлено, что в Каахемской зоне за последние 4000 лет произошли 4 землетрясения с  $M_w=7.2-7.5$ . Сильные землетрясения объединяются в сейсмические кластеры, которые не охватывали зону целиком и могут представлять одно сильнейшее событие с  $M_w=7.2-7.5$  и несколько с  $M_w=6.3-7.0$  в соседних сегментах. Более слабые события, подобные Тувинским 2011–2012 гг. ( $M_w=6.3-7.0$ ), за последнее тысячелетие повторялись раз в 300–500 лет.

Отряд С.А. Соколова

В 2022 г. исследован разрез Хиргис-Нур-2 на северном берегу одноименного озера в Центральной Монголии. Средняя (песчаники и алевриты) и верхняя (пресноводные мергели и известковистые глины) части разреза выделены в пачки А и Б хиргиснурской свиты. В пачке А сделаны новые палеонтологические находки, Эти находки и ревизия ранее добытого палеонтологического материала убедили нас, вопреки прежним представлениям, что вся пачка А принадлежит позднему миоцену. На неогеновых породах с разрывом залегает грубообломочная толща верхнего плиоцена–плейстоцена. Ее накопление обусловлено формированием хребта Хан-Хухейн, вдоль которого протягивается на 370 км Хангайский (Балнайский) левый сдвиг. По Дунганскому правому сдвигу, отходящему на север от Хайнгайского разлома, обнаружены свежие деформации, связанные с землетрясением 1905 г. В окрестностях оз. Тэрхийн-Цагаан-Нур обследованы неоген-четвертичный вулканический конус и окружающее его вулканическое плато. Базальты содержат крупные мантийные ксенолиты оливина. Из лавовых потоков отобран материал для петро-геохимического изучения и датирования извержений.

В 2023 г. продолжено изучение стратотипического разреза Хиргис-Нур-2 и соседних местонахождений фауны. На южном склоне хр. Хан-Хухийн в обнажении Хартермес породы от позднего миоцена до среднего плейстоцена надвинуты на аналогичный разрез, а на них надвинуты породы средней юры. В обнажении Хиргис-Нур 2 на кайнозойские отложения надвинуты песчаники и гравелиты средней юры, а на них – конгломераты нижней юры. В 1.5 км к СВ на юрские отложения надвигаются граниты среднего кембрия. В плейстоцене продолжалось поднятие хр. Хан-Хухийн за счет его надвигания на соседние впадины, произошло обособление этих впадин, представлявших ранее единый бассейн.

В долине р. Чулуут и окрестностях оз. Тэрхийн-Цагаан-Нур на Хангайском нагорье исследованы неоген-четвертичные основные вулканы. На склоне плиоценового вулкана Суга выделено несколько лавовых потоков. Южнее изучены вулканы и лавовые потоки, формирующие террасу реки, в том числе молодой вулкан Горго на окраине с. Тариат Отобраны образцы лав и дунитовых ксенолитов для комплексного изучения.

В 2024 г. продолжено исследование стратиграфии позднекайнозойских отложений. Изучено местонахождение Чоно-Хариах на западе Котловины Больших Озер. Остатки крупных и мелких млекопитающих указывают на ранний плиоцен. Отложения Чоно-Хариаха соответствуют пачке Б хиргиснурской свиты обнажения Хиргис-Нур-2 и, возможно, немного надстраивают ее, отличаясь более грубым составом.

Подготовлена статья о надвигах южного склона хр. Хан-Хухийн. Приводятся данные об амплитудах и скоростях движений по надвигам. Показано, что скорости тектонических движений увеличиваются на порядок в четвертичное время и достигают 0,57 мм/год. На северном склоне хребта выявлен неизвестный ранее активный разлом СЗ простирания. В траншее вскрыта плоскость разлома, смещающего современный почвенный слой.

Изучены проявления миоценового вулканизма на субмеридианальном участке долины

р. Чулуут-гол. Вулканиды образуют ряд террасовидных поверхностей, которые врезаны одна в другую. Для выяснения возрастных соотношений террас и эволюции вулканизма опробованы потоки лав, слагающие наиболее выраженные террасы. В ходе исследований 2022–2024 гг. закартировано и опробовано много вулканических построек и лавовых потоков. Собрана база данных по химическому составу вулканидов района. Петрографические и химические исследования пород позволили отнести их к тефритам, фонолитовым тефритам и трахиандезибазальтам. Спектры распределения редких элементов, нормированных к примитивной мантии, характеризуются понижением от легких к тяжелым элементам и схожи с эмпирическим эталонным спектром OIB [Sun, McDonough, 1989]. На дискриминантных диаграммах «Zr–Nb–Y» [Meschide, 1986] и Nb•2–Zr/4–Y [Pearce, Cann, 1973] точки составов базитов располагаются в поле, отвечающем внутриплитным щелочным базальтам. По результатам изучения вулканизма подготовлена статья, требующая дополнения данными полевых работ 2024 г. и K–Ar датами, которые сейчас определяются. Поэтому сдача статьи в печать сдвинута на 2025 г.

Работы Трифонова и СЮ Соколова

В 2022 г. В.Г. Трифонов проанализировал опубликованные материалы и обобщил их вместе с новыми результатами полевых работ и анализа моделей рельефа, космических изображений и геофизических данных. Воссоздана новейшая структура региона (см. рис. 18). Проанализированы разрезы впадин С-образного пояса и других депрессий вокруг Хангайского нагорья. Новейшая структура сопоставлена с глубинным строением региона. Охарактеризован Хангайский внутримантийный плюм. О его наличии свидетельствовал меловой и кайнозойский внутриплитный вулканизм мантийного происхождения [Рассказов 1993; Рассказов и др, 2000, 2005; Ярмолюк и др., 1995, 2019; Windley, Allen, 1993; Yarmolyuk et al., 2015]. На существование плюма указывали предшествовавшие сейсмологические исследования [Зорин и др., 1988; Huang, Zhao, 2006, 2022; Кулаков, 2008; Трифонов и др., 2021]., Предлагавшиеся в них контуры и размеры плюма существенно различались, что побудило С.Ю. Соколова провести исследования на основе анализа объемной модели вариаций скоростей Р-волн, выраженных их отклонениями от средних значений ( $\delta V_p$ ) в процентах [Li et al., 2008]. Составлена серия разноглубинных сечений и ортогональных скоростных разрезов мантии, где наряду со значениями  $\delta V_p$  показано положение границы значения  $\delta V_p = -0.22\%$  между разрезами. Это позволило построить 3D модель плюма. На глубинах низов верхней мантии и верхов нижней мантии выявлена связь Хангайского плюма с Тибетским плюмом.

В 2023 г. проанализированы вариации скоростей Р-волн в Центральной и Юго-Восточной Азии. Хангайский внутримантийный плюм сопоставлен с другими аналогичными образованиями. Выделен субмеридиональный ряд внутримантийных плюмов, Хангайского, Тибетского и Мьянма–Юньнань, восходящих из верхней части нижней мантии (1250–15500 км). Исследованы соотношения кинематики внутримантийных и верхнемантийных плюмов в тыловых частях Зондской и Гималайской дуг с кинематикой сейсмогенных перемещений. Показано, что наряду с пододвиганием Индийской плиты в дугах происходит встречное надвигание на нее. Оно ориентировано нормально к фронтам дуг и, вероятно, обусловлено растяжением в их тылу.

В 2024 г. В.Г. Трифонов совместно с другими участниками проекта выделили и исследовали парагенез II порядка, образованный активными разломами между Хангайским левым сдвигом и Тункино-Мондинской левосдвиговой зоной, которые являются элементами главного парагенеза активных разломов региона. Парагенез

II порядка объединяет Эрзин-Агардагский и Цэцэрлэгский левые сдвиги СВ простирания и зону левосдвиговых деформаций, состоящую из субмеридиональных грабенообразных впадин и расположенных между Дархатской и Хубсугульской впадинами надвигов и принадвиговых складок. Отклонение осей напряжений парагенеза II порядка относительно главного парагенеза может быть связано с вращением блока между пограничными разломами. В.Г. Трифонов начал исследования по определению роли офиолитового субстрата в расположении активных разломов и интенсивности перемещений по ним. Подготовлена статья с первыми результатами такого сопоставления в азиатской части Альпийско-Гималайского пояса.

### 5.3. Основные результаты выполнения проекта

Полученные результаты изложены в 12 статьях, опубликованных за отчетный период по тематике проекта. Ниже их характеристика сгруппирована по направлениям исследований.

#### 1. Активные разломы и палеосейсмичность

(1) А.Н. Овсюченко, Ю.В. Бутанаев, Н.Г. Кошевой. Локализация очага сильного исторического землетрясения в Центральной Туве с использованием фольклорно-исторических и палеосейсмологических данных // Геотектоника. 2023. № 2, С. 1–21. DOI: 10.31857/S0016853X23020066. Выявлены одноактные левосдвиговые смещения в зоне субширотного Кызыльского разлома к западу от г. Кызыл. Землетрясение идентифицировано по археологическим данным и письменным источникам с привлечением тувинского эпоса «Улу-Дуне»; возраст землетрясения определен в пределах 1715–1758 гг.

(2) А. Н. Овсюченко, С. Дэмбэрэл, Ю. В. Бутанаев, Н. Г. Кошевой, Ц. Батсайхан, Н. Баатар. Хубсугульское землетрясение 12.01.2021 с  $M_w = 6.7$  в Северной Монголии: геологические эффекты и тектоническая позиция очага // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 511, № 1. С. 65–70. DOI: 10.31857/S2686739723600455. Изучены и закартированы геологические эффекты Хубсугульского землетрясения 12.01.2021 г.. Выход очага на поверхность представлен правым сбросо-сдвигом со смещением до 20 см, обновившим позднеголоценовый тектонический уступ в западном борту Хубсугульской рифтовой впадины. Происходило разрастание впадины за счет деструкции горного массива.

(3) A.V. Arzhannikova, S.G. Arzhannikov, J.-F. Ritz, A.A. Chebotarev, A.S. Yakhnenko. Earthquake geology of the Mondy fault (SW Baikal Rift, Siberia) // J. of Asian Earth Sci. 2023. V. 248. 105614, <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2023.105614>. Мондинский разлом – широтная активная зона, связывающая Тункинскую впадину с Хубсугульским рифтом на западе. Разлом формировался в течение неогена в трансенсивном режиме (левый сбросо-сдвиг). Выполненные исследования показали, что кумулятивные левосдвиговые перемещения сопровождаются значительной взбросовой компонентой. Таким образом, существовавшая в неогене сбросовая вертикальная компонента преобразилась во взбросовую вслед за инверсией тектонического режима на юго-западе Байкальского рифта. Мы оценили скорость сдвига вдоль разлома в 0.9–1.5 мм/год в последние ~13 тыс. лет и идентифицировали четыре крупных сейсмических события с магнитудой не менее  $M_w=7.4$ , вызвавших подвижки по разлому и разделенных средними интервалами повторяемости 3.9–4.6 тыс. лет.

(4) A.V. Arzhannikova, S.G. Arzhannikov, A.A. Chebotarev, E. Nomin-Erdene. Morphotectonics and paleoseismology of the North Darhad fault (SW

Baikal Rift, Mongolia) // *J. of Asian Earth Sci.* 2024. V.259. 105882, <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2023.105882>. Представлены новые морфотектонические и палеосейсмологические данные по зоне Северо-Дархатского разлома на восточном борту Дархатской впадины. Выявлены два палеосейсмических события, ответственных за образование разломного уступа. Средняя скорость сбросового смещения составляет от  $0.3 \pm 0.06$  до  $0.6 \pm 0.12$  мм/год за последние 8400 лет. Интервал повторяемости землетрясений  $M_w=7$  – 3500 лет. Если эти оценки распространить в прошлое, возраст Дархатской впадины составит 6.5–3.3 млн лет.

(5) 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 // *J. of Asian Earth Sci.* 2024. V.276. 106355, <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2024.106355>.

Исследуются Саяно-Тувинский разлом и западная часть Каахемского разлома, нарушающие Саяно-Тувинское поднятие, и Эрзин-Агардагский разлом, расположенный между этим поднятием и Хангайским сводом. По всем трем разломам доминировали левосдвиговые перемещения. Установлено, что сдвиговая активизация Саяно-Тувинского разлома началась 2.4 млн лет назад, и минимальная скорость позднечетвертичного сдвига –  $0.9 \pm 0.1$  мм/год. Аналогичные характеристики западной части Каахемского разлома – 5 млн лет и  $0.6 \pm 0.1$  мм/год. Сдвиг по Эрзин-Агардагскому разлому регистрируется в течение последних 2.1–1.1 млн лет, и его голоценовая скорость –  $0.7$ – $1.4$  мм/год. Период повторяемости землетрясений с  $M_w \sim 7.8$  определен в интервале 9400–4700 лет. 1.1–2.1 млн лет назад произошло изменение кинематики региона, приведшее к сдвиговым перемещениям по унаследованным разломам.

(6) В.Г. Трифонов, С.А. Соколов, А.Н. Овсяченко, С.Ю. Соколов, Т. Batsaikhan, S. Demberel, Ю.В. Бутанаев, Н. Г. Кошевой. Активные разломы севера Центральной Монголии, их соотношение с новейшей структурой и глубинным строением региона // *Геотектоника*. 2024. № 2. С. 3–33. DOI: 10.31857/S0016853X24020019.

Исследована активная тектоника региона между крупнейшими субширотными зонами левых сдвигов – Хангайским разломом и Тункино-Мондинской зоной. Они являются частью парагенеза активных разломов Монголо-Байкальского региона, сформировавшихся в условиях северо-восточного наибольшего сжатия и северо-западного растяжения. Между пограничными зонами протягиваются Эрзин-Агардагский и Цэцэрлэгский левые сдвиги ВСВ простирания. Между Эрзин-Агардагским сдвигом и Тункино-Мондинской зоной расположены субмеридиональные грабенообразные впадины – Бусийнгольская, Дархатская и Хубсугульская, образующие зону левосдвиговых деформаций, которая кинематически сходна с продолжающими ее сдвигами. В отличие от пограничных сдвигов, этот структурный парагенез сформировался в условиях субмеридионального относительного сжатия и субширотного растяжения. Изменение ориентировки напряжений может быть связано с вращением блока между пограничными разломами. Грабенообразные впадины находятся над поднятием кровли низкоскоростной мантии Хангайского плюма. Над ним литосфера редуцирована и разупрочнена. Сильные землетрясения повторялись в области этих впадин чаще, чем в зонах сдвигов, но с меньшими магнитудами.

2. Новейшая структура и ее соотношения с глубинным строением

Раздел включает широкий спектр работ от палеонтологических исследований до парагенетического анализа новейшей структуры, воссоздания ее эволюции и 3D моделирования строения мантии.

(7) Alexander Sizov, Alexey Klementiev, Pierre-Olivier Antoine. An Early Miocene skeleton of *Brachydiceratherium* Lavocat, 1951 (Mammalia,

Perissodactyla) from the Baikal area, Russia, and a revised phylogeny of Eurasian teleoceratines // bioRxiv preprint <https://doi.org/10.1101/2022.07.06.498987>; this version posted July 13, 2023.

Бегемотоподобные носороги телеоцератины были заметным компонентом фауны млекопитающих гомарктического миоцена. В нижнемиоценовых отложениях острова Ольхон (местонахождение Тагай, Восточная Сибирь; 16–18 млн лет) найден целый скелет телеоцератинового носорога *Brachydiceratherium shanwangense*. Он описан в статье и сравнивается с другими представителями этой группы посредством филогенетического анализа. Показано, что *Diaceratherium Dietrich, 1931* (ранний миоцен, Западная Европа) монотипен и выделен как самое раннее телеоцератиновое ответвление. Другие роды имеют более одного вида и также монофилетические: *Prosantorhinus Heissig, 1974* (ранний миоцен, Евразия) + *Teleoceras Hatcher, 1894* (миоцен, Северная Америка) и *Brachypotherium Roger, 1904* (миоцен, Старый Свет) + *Brachydiceratherium Lavocat (1951)*. Мы считаем, что *Brachydiceratherium* включает 8 видов, охватывающих период от позднего олигоцена до позднего миоцена. Все роды телеоцератин, за исключением *Diaceratherium*, имели значительные географические и стратиграфические ареалы.

(8) А.В. Сизов, М.В. Сотникова, С.А. Соколов, А.А. Якимова, А.С. Тесаков, И.А. Вислобокова, Н.В. Зеленков, А.Н. Симакова, К.И. Юшин, Батсайхан Цэрэнпил. Новый взгляд на возраст и геологическое строение местонахождения неогеновых позвоночных Хиргис-Нур-2 (Северо-Западная Монголия) // Геодинамика и тектонофизика. 2024. № 6. С. 1–21. DOI: 10.5800/GT-2024-15-6-0791. На северо-западе Монголии в Котловине Больших Озер широко распространены отложения континентального позднего неогена, в частности, свиты хиргис-нур. Ее стратотип описан в разрезе Хиргис-Нур-2 на северном берегу одноименного озера [Девяткин, 1970]. По итогам работ 70–80-х годов XX века граница миоцена и плиоцена находится внутри пачки А нижней части (подсвиты) разреза. Новые данные по геологии нижнехиргиснурской подсвиты и ревизия комплекса млекопитающих позволяют заключить, что вся эта часть разреза относится к терминальному позднему миоцену, а териофауна характеризует поздний туролий (MN13). Полученные результаты заставляют скорректировать историю развития Котловины Больших Озер.

(9) С.А. Соколов, С.Т. Гарипова, К.И. Юшин, Ю.В. Бутанаев, Е.А. Зеленин, А.Н. Овсяченко, С.В. Мазнев. Новейшая структура северного обрамления Убсунурской впадины и ее соотношение с активными разломами (Республика Тыва, Россия) // Геотектоника. 2023. № 1. С. 93–112. DOI: 10.31857/S0016853X23010071.

Представлены новые данные об олигоцен–четвертичных отложениях, неоген–четвертичной структуре и активных разломах северного борта Убсунурской впадины на ее границе с хребтом Танну-Ола. На севере впадины выявлены два парагенезиса разрывных нарушений, имеющих разную геологическую природу, структурное и рельефообразующее значение. Первый парагенезис представлен Северо-Убсунурским скрытым надвигом и связанными с ним деформациями, развивавшимися в неоген–четвертичное время и образующими границу впадины и горного поднятия. Второй парагенезис включает Южно-Таннуольский и Эрзин-Агордагский разломы, секущие структуры первого парагенезиса и активные в позднем плейстоцене и голоцене. Эпохи интенсивного развития парагенезисов сменяют друг друга во времени.

(10) A.A. Chebotarev, S.G. Arzhannikov, A.V. Arzhannikova, R.N. Kurbanov. Origin of the Badar Sand Field and the late pleistocene tectonic movements in the Tunka depression, the Baikal Rift Zone, Eastern Siberia // J. of Asian Earth Sci. 2024. V. 260, 105957,

<https://doi.org/10.1016/j.jseae.2023.105957>. Предложена новая модель образования Бадарского песчаного купола в Тункинской впадине без тектонического поднятия песков. Их нижняя часть накопилась в палеозере, возникшем в результате оползневого подпруживания р. Иркут. Верхняя часть песков испытала эоловое воздействие. Новые OSL даты показали, что озеро существовало 24–15 тыс. лет назад.

(11). В.Г. Трифонов, С.Ю. Соколов, С.А. Соколов, С.В. Мазнев, К.И. Юшин, S. Dembereḷ. Хангайский внутримантийный плюм (Монголия): 3D модель, влияние на кайнозойскую тектонику и сравнительный анализ // Геотектоника. 2023. № 6. С. 94–129. DOI: 10.31857/S0016853X23060073. Хангайский плюм расположен под Центральной и Восточной Монголией и соответствует объему мантии с пониженными скоростями продольных (P) волн. Плюм выделен в результате анализа объемной модели MITP08 вариаций скоростей P волн, выраженных отклонениями от средних значений в процентах. Над плюмом литосферная мантия утонена до ~50 км. Наибольшее понижение скоростей до –6% обнаружено в подлитосферной мантии до 400 км. Основное тело плюма находится под Хангайским нагорьем и распространяется до края Сибирской платформы. Хэнтэйская ветвь плюма выделена юго-восточнее Хэнтэйского нагорья. Она связана с основным плюмом на глубинах 800–1000 км. Ответвления плюма распространяются в Забайкалье. Плюм уменьшается с глубиной, и самая глубокая часть (1250–1300 км) находится под южной частью Хангайского нагорья. Главному телу плюма соответствует кайнозойское поднятие поверхности. С юго-востока область плюма и его Хэнтэйской ветви ограничена позднекайнозойскими прогибами вдоль границы Монголии. С других сторон Хангайское поднятие ограничено С-образным поясом впадин, состоящим из юго-западной части Байкальской рифтовой зоны, Тункинских и Тувинских впадин на севере, Убсунурской впадины и Котловины Больших Озер на западе и Долины Озер на юге. Впадины заполнены озерными и флювиальными отложениями от позднего олигоцена до плиоцена. В четвертичное время Южная и Центральная впадины Байкала стали частью Байкальского рифта, а другие впадины были вовлечены в поднятие региона. Структурный парагенез Хангайского поднятия и обрамляющих впадин обусловлен воздействием Хангайского плюма. Над плюмом с его ветвями происходил кайнозойский базальтовый вулканизм плюмового типа, местами наследующий меловой вулканизм. Плюмовый структурный парагенез сочетается со структурным парагенезом, производным от взаимодействия плит и блоков литосферы. Он выражен активными разломами, но развивался синхронно с плюмовым парагенезом. Кинематика активных разломов показывает, что запад и центр региона развиваются в условиях транспрессии, а северо-восток – растяжения и транстенсии. Хангайский плюм связан на глубине с Тибетским плюмом, расположенным под Центральным и Восточным Тибетом севернее блока Лхаса. Тибетский плюм восходит с глубин 1400–1600 км и сопровождается утонением литосферы и подъемом поверхности. Хангайский и Тибетский плюмы представляют категорию плюмов, которые поднимаются из верхов нижней мантии. Возможна связь Хангайского и Тибетского плюмов с ответвлениями Африканского и Тихоокеанского суперплюмов, но допускается и их независимое происхождение.

3. Структурное положение и геодинамическое значение внутримантийных плюмов.

(12) С.Ю. Соколов, В.Г. Трифонов. Дуговые структуры и строение верхней мантии Центральной и Юго-Восточной Азии по данным сейсмотомографии и сейсмичности // Геотектоника. 2024. № 1. С. 28–47. DOI: 10.31857/S0016853X24010023. Во внутренней части Зондской дуги выделяется ряд плюмовых объемов, прерывающих стагнирующий слэб, обрамленный с юга слэбом Зондской дуги. Над кровлей слэба выделяются вторичные плюмы, образующие рифты. 3D отображение bVp в районе

Тибета и Центральной Азии содержит структуры, сходные с районом Зондской дуги. Наблюдается область субгоризонтальных фрагментов слэбов и разрывы, в которых обнаруживаются плюмовые аномалии глубинного и вторичного происхождения. Векторы подвижек по плоскостям срывов Зондской дуги, установленные по механизмам землетрясений, направлены вовне дуги от центра ее кривизны, где сконцентрированы вторичные верхнемантийные плюмы. Это указывает на присутствие надвигов на фронте дуги, не связанных с субдуцирующей плитой. Веерообразный рисунок азимутов сейсмических подвижек в дуге Гималаев направлен на Индостан. Это указывает на смещения масс на юг от задуговой области растяжения в пределах Тибета с формированием надвиговых деформаций. Таким образом, в обеих дугах выделяются два направления сейсмических перемещений. Первое соответствует поддвигу Индийской плиты, второе – надвиганию на нее.

#### 4. Обобщение результатов выполненных исследований.

При изучении активных разломов и палеосейсмичности доказана позднечетвертичная активность ряда разломов Тувы и Монголии, которые ранее не считались активными. Определена кинематика этих разломов, выявлены связанные с ними землетрясения [Овсяченко, Бутанаев и др., 2023; Соколов и др., 2023]. Обнаруженные разломы нашли отражение на карте активных разломов региона [Трифонов и др., 2024] и в Базе данных активных разломов Евразии [Database..., 2020]. Описаны структурные проявления Хубсугульского землетрясения 12.01.2021 с  $M_w = 6.7$  в Северной Монголии [Овсяченко, Дэмбэрэл и др., 2023]. Определены или уточнены скорости перемещений по крупнейшим активным разломам региона (Таблица 1).

Для крупнейших активных разломов установлены интервалы повторяемости сильных землетрясений определенной магнитуды (Таблица 2). Показано, что эти интервалы в зоне Мондинского разлома ~4 тыс. лет [Arzhannikova et al., 2023] совпадают в пределах точности расчетов с таковыми в зонах Тункинского и юго-восточной части Главного Саянского разломов, продолжающих Мондинский разлом на восток [Arzhannikova et al., 2011; Ritz et al., 2018]. По-видимому, в течение последних 13–14 тыс. лет вся Тункино-Мондинская зона активизировалась в эпохи общих сейсмических кластеров. В зоне Северо-Хубсугульского разлома землетрясения имели меньшую магнитуду и повторялись чаще, что связано с воздействием Хангайского плюма [Овсяченко, Дэмбэрэл и др., 2023; Трифонов и др., 2024].

Полученные данные об активных разломах наращивают знания о проявлениях активной тектоники и современной геодинамики и являются важным вкладом в оценку сейсмической опасности региона.

При изучении новейшей структуры и ее соотношений с глубинным строением региона выделены два новейших структурных парагенеза [Трифонов и др., 2023] (рис. 18). Первый парагенез образован активными разломами. Крупнейшие из них составляют единую систему нарушений, сформированных в условиях северо-восточного относительного сжатия и северо-западного растяжения. При этом на западе и в центре региона доминирует транспрессия, а на северо-востоке (Байкал и Забайкалье) – транстенсия и растяжение. Между субширотными Хангайским разломом и Тункино-Мондинской зоной разломов с доминирующими левосдвиговыми смещениями развивается парагенез активных разломов II порядка [Трифонов и др., 2024]. Он образован Цэцэрлегским и Эрзин-Агардагским левыми сдвигами северо-восточного простирания и зоной левосдвиговых деформаций (субмеридиональные грабены и субширотные структуры надвигания) между Эрзин-Агардагским разломом и Тункино-Мондинской зоной. Этот парагенез сформирован в

условиях субмеридионального сжатия и субширотного растяжения. Отклонение напряжений от главного парагенеза может быть связано с вращением блока. Второй, Хангайский, структурный парагенез образован сводовыми поднятиями Хангайского и Хэнтэйского нагорий, поясом впадин, обрамляющим своды с юго-востока, и С-образным поясом впадин, окружающим Хангайский свод с севера (Южно-Байкальская, Тункинские и Тувинские впадины), запада (Убсунурская впадина и Котловина Больших Озер) и юга (Долина Озер), а также крупными разломами, ограничивающими С-образный пояс впадин с внешней стороны. Анализ сейсмографических данных модели МІТР08 выявил местоположение и строение Хангайского внутримантийного плюма, восходящего с глубин 1250–1300 км. Его самая глубокая часть находится под наиболее поднятой южной частью Хангайского свода. Проекция плюма охватывает структуры Хангайского парагенеза, в его области сосредоточен меловой и кайнозойский базальтовый вулканизм мантийного происхождения. Хангайский парагенез образован воздействием плюма.

Важная проблема – соотношение Хангайского парагенеза с парагенезом активных разломов, который является продуктом интерференции воздействия Сибирской платформы, удаленных воздействий Индийской плиты и процессов на восточной окраине Азии. Активные разломы являются элементами современной тектоники. Для крупнейших из них доказано унаследованное развитие с начала плейстоцена или плиоцена. Активные разломы секут длительно развивавшиеся структуры северного борта Урсунурской впадины, а в Тункино-Мондинской зоне отличаются знаком вертикальных движений от унаследованных ими разломов северных бортов Тункинской системы впадин, причем изменение знака движений со сбросовых на взбросовые произошло в начале плейстоцена. Вместе с тем, крупные структуры Хангайского парагенеза, возникшие не позднее позднего олигоцена, развиваются до сих пор. Грабены, сходные с грабенами парагенеза активных разломов, формировались в Забайкалье с мелового времени. Активные разломы являются структурообразующими элементами неотектоники Монгольского и Гобийского Алтая. Таким образом, парагенезы развивались одновременно. Их сосуществование оказалось возможным, поскольку они связаны с геодинамическими воздействиями разных уровней тектоносферы: литосферы для парагенеза активных разломов и подлитосферной мантии для Хангайского парагенеза.

Внутримантийные плюмы Хангайский, Тибетский и Мьянма-Юннань образуют субмеридиональный ряд плюмовых образований, восходящих из верхов нижней мантии (1250–1550 км) и этим отличающихся от верхнемантийных плюмов и суперплюмов (рис. 19). Внутримантийные плюмы занимают определенное положение в глобальной структуре мантии и оказывают воздействие на кайнозойскую структуру земной коры и магматизм. Надвигание Гималайской дуги навстречу пододвиганию Индийской плиты связано с растяжением над Тибетским плюмом подобно тому, как встречное надвигание Зондской дуги связано с растяжением Андаманского задугового моря.

#### 5.4. Описание выполненных работ и полученных научных результатов

на русском языке

При изучении активных разломов и палеосейсмичности доказана позднечетвертичная активность ряда разломов Тувы и Монголии, которые ранее не

считались активными. Определена кинематика этих разломов, выявлены связанные с ними землетрясения. Обнаруженные разломы нашли отражение на карте активных разломов региона и в Базе данных активных разломов Евразии. Описаны структурные проявления Хубсугульского землетрясения 12.01.2021 с  $M_w = 6.7$  в Северной Монголии. Определены или уточнены скорости перемещений по крупнейшим активным разломам региона. На этой количественной основе создана модель четвертичной тектоники Саяно-Тувинского нагорья. Модель представляет основные блоки, смещенные по крупным сдвигам, наследующим границы протерозойских и палеозойских террейнов.

Для крупнейших активных разломов установлены интервалы повторяемости сильных землетрясений определенной магнитуды. Показано, что эти интервалы в зоне Мондинского разлома (~4 тыс. лет) совпадают в пределах точности расчетов с таковыми в зонах Тункинского и юго-восточной части Главного Саянского разломов, продолжающих Мондинский разлом на восток. По-видимому, в течение последних 13–14 тыс. лет вся Тункино-Мондинская зона активизировалась в эпохи общих сейсмических кластеров. В зоне Северо-Хубсугульского разлома землетрясения имели меньшую магнитуду и повторялись чаще, что связано с воздействием Хангайского плюма.

Полученные данные об активных разломах наращивают знания об активной тектонике и современной геодинамике и являются важным вкладом в оценку сейсмической опасности региона.

При изучении новейшей структуры и ее соотношений с глубинным строением региона выделены два новейших структурных парагенеза. Первый парагенез образован активными разломами. Крупнейшие из них составляют единую систему нарушений, сформированных в условиях СВ–ЮЗ относительного сжатия и СЗ–ЮВ растяжения. При этом на западе и в центре региона происходит транспрессия, а на северо-востоке (Байкал и Забайкалье) – транстенсия и растяжение. Между субширотными Хангайским разломом и Тункино-Мондинской зоной разломов с доминирующими левосдвиговыми смещениями развивается парагенез активных разломов II порядка. Он образован Цэцэрлегским и Эрзин-Агардагским левыми сдвигами СВ простирания и зоной левосдвиговых деформаций (субмеридиональные грабены и субширотные структуры надвигания) между Эрзин-Агардагским разломом и Тункино-Мондинской зоной. Этот парагенез сформирован в условиях субмеридионального сжатия и субширотного растяжения. Отклонение напряжений от главного парагенеза может быть связано с вращением блока.

Второй, Хангайский, структурный парагенез образован сводовыми поднятиями Хангайского и Хэнтэйского нагорий, поясом впадин, обрамляющим своды с юго-востока, и С-образным поясом впадин, окружающим Хангайский свод с севера (Южно-Байкальская, Тункинские и Тувинские впадины), запада (Убсунурская впадина и Котловина Больших Озер) и юга (Долина Озер), а также крупными разломами, ограничивающими С-образный пояс впадин с внешней стороны.

Выполненные стратиграфические и палеонтологические исследования уточнили историю развития Убсунурской впадины и Котловины Больших Озер в миоцене и плиоцене. Изучен миоцен-четвертичный вулканизм Хангайского нагорья. Показано, что его проявления принадлежат к тефритам, фонолитовым тефритам и трахиандезибазальтам и на диаграммах располагаются в поле внутриплитных щелочных базальтов.

Анализ сейсмотомографических данных модели MITP08 выявил местоположение и строение Хангайского внутримантийного плюма, восходящего с глубин 1250–1300 км. Его самая глубокая часть находится под наиболее поднятой южной частью Хангайского свода. Проекция плюма охватывает структуры Хангайского

парагенеза, в его области сосредоточен меловой и кайнозойский базальтовый вулканизм мантийного генезиса. Таким образом, Хангайский парагенез образован воздействием плюма.

Исследовано соотношение Хангайского парагенеза с парагенезом активных разломов, который является продуктом интерференции воздействия Сибирской платформы, удаленных воздействий Индийской плиты и процессов на восточной окраине Азии. Активные разломы –элементы современной тектоники. Для крупнейших из них доказано унаследованное развитие с начала плейстоцена или плиоцена. Активные разломы секут длительно развивавшиеся структуры северного борта Урсунурской впадины, а в Тункино-Мондинской зоне отличаются знаком вертикальных движений от унаследованных ими разломов северных бортов Тункинской системы впадин, причем изменение знака движений со сбросовых на взбросовые произошло в начале плейстоцена. Это указывает на то, что парагенезы сменяют один другого во времени. Вместе с тем, крупные структуры Хангайского парагенеза, возникшие не позднее позднего олигоцена, развиваются до сих пор. Грабены, сходные с грабенами парагенеза активных разломов, формировались в Забайкалье с мелового времени. Активные разломы являются структурообразующими элементами неотектоники Монгольского и Гобийского Алтая. Таким образом, парагенезы развивались одновременно. Их сосуществование оказалось возможным, поскольку они связаны с геодинамическими воздействиями разных уровней тектоносферы: литосферы для парагенеза активных разломов и подлитосферной мантии для Хангайского парагенеза.

Показано, что внутримантийные плюмы Хангайский, Тибетский и Мьянма-Юннань образуют субмеридиональный ряд плюмовых образований, восходящих из верхов нижней мантии (1250–1550 км) и этим отличающихся от верхнемантийных плюмов и суперплюмов. Внутримантийные плюмы занимают определенное положение в глобальной структуре мантии и оказывают воздействие на кайнозойскую структуру земной коры и магматизм. Надвигание Гималайской дуги навстречу пододвиганию Индийской плиты связано с растяжением над Тибетским плюмом подобно тому, как надвигание Зондской дуги связано с растяжением Андаманского задугового моря. Надвигание дуг сочетается с пододвиганием под них Индийской плиты.

Результаты исследований представлены в 12 научных статьях.

на английском языке

When studying active faults and paleoseismicity, the Late Quaternary activity of a number of faults in Tuva and Mongolia, which were not previously considered active, was proven. The kinematics of these faults was determined, and the earthquakes associated with them were identified. The discovered faults are shown on the map of active faults in the region and are included into the Database of Active Faults of Eurasia. The structural manifestations of the 12.01. 2021 Khubsugul earthquake with  $M_w = 6.7$  in Northern Mongolia are described. The rates of movement on the major active faults in the region have been determined or clarified. On this quantitative basis, a model of the Quaternary tectonics of the Sayan-Tuva Highlands was created. The model represents the main blocks displaced on major strike-slip faults that inherit the boundaries of Proterozoic and Paleozoic terranes.

For the largest active faults, recurrence intervals of strong earthquakes of a certain magnitude have been determined. It is shown that these interval in the Mondy fault zone (~4000 years) coincide, within the accuracy of calculations, with those in the zones of the Tunka fault and the southeastern part of the Main Sayan fault, which continue the Mondy fault to the east.

Apparently, over the past 13–14 Ka, the entire Tunka-Mondy zone has been activated in epochs of common seismic clusters. In the zone of the North Khubsugull fault, earthquakes had a lower magnitude and were repeated more often, which is caused by the impact of the Khangai plume. The resulting data on active faults increases knowledge of active tectonics and recent geodynamics and is an important contribution to the seismic hazard assessment in the region.

When studying the neotectonic structure and its relationship with the deep-seated structure of the region, two Cenozoic structural parageneses were identified. The first paragenesis is formed by active faults. The largest of them constitute a single system of faults formed under conditions of the NE–SW relative compression and the NW–SE extension. Transpression occurs in the west and center of the region, and transtension and extension occur in the northeast (Baikal and Transbaikalia). Between the W–E-trending Khangai fault and the Tunka-Mondy fault zone with dominant left-lateral displacements, a paragenesis of active faults of the second order develops. It is formed by the Tsetserleg and Erzin-Agardag NE-trending left-lateral faults and a zone of left-lateral deformation (N–S-trending grabens and W–E-trending thrust structures) between the Erzin-Agardag fault and the Tunka-Mondy zone. This paragenesis was formed under conditions of N–S-trending compression and W–E-trending extension. The deviation of stress axes from the main paragenesis may be caused by the rotation of the block between the boundary faults.

The second, Khangai, structural paragenesis is formed by the arched uplifts of the Khangai and Khentei uplands, a belt of depressions framing these arches from the southeast, and a C-shaped belt of basins surrounding the Khangai arch from the north (South Baikal, Tunka and Tuva basins), west (Ubsunur Basin and Depression of Great Lakes) and south (Valley of Lakes), as well as major faults that limit the C-shaped belt of basins from the outside. The performed stratigraphic and paleontological studies clarified the history of the development of the Ubsunur Basin and the Depression of Great Lakes in the Miocene and Pliocene. The Miocene-Quaternary volcanism of the Khangai Highlands has been studied. It is shown that its manifestations belong to tephrites, phonolite tephrites and basaltic trachyandesites and are located in the field of intraplate alkaline basalts on the diagrams.

Analysis of seismic tomographic data of the MITP08 model revealed the location and structure of the Khangai intramantle plume, rising from depths of 1250–1300 km. Its deepest part is located under the most elevated southern part of the Khangai arch. The projection of the plume covers the structures of the Khangai paragenesis; The Cretaceous and Cenozoic basaltic volcanism of mantle genesis is concentrated in its area. Thus, the Khangai paragenesis was formed by the impact of a plume.

The relationship of the Khangai paragenesis with the paragenesis of active faults, which is a product of the interaction of the influence of the Siberian platform, the remote influences of the Indian plate and processes in the eastern margin of Asia, has been studied. Active faults are elements of recent tectonics. For the largest of them, inherited development since the beginning of the Pleistocene or Pliocene has been proven. Active faults cut the long-developing structures of the northern side of the Ubsunur Basin, and in the Tunka-Mondy zone they differ in the sign of vertical movements from the faults that they inherited from the faults of the northern sides of the

Tunka system of basins, and the change in the sense of movements from normal to reverse occurred at the beginning of the Pleistocene. This indicates that parageneses replace one another over time. At the same time, large structures of the Khangai paragenesis, which arose no later than the Late Oligocene, are still developing. Grabens, similar to grabens of active fault paragenesis, formed in Transbaikalia since the Cretaceous. Active faults are structure-forming elements of the Mongolian and Gobi Altai neotectonics. Thus, the parageneses developed simultaneously. Their coexistence turned out to be possible because they are associated with the geodynamic influences of different levels of the tectonosphere: the lithosphere for the paragenesis of active faults and the sublithospheric mantle for the Khangai paragenesis. It is shown that the Khangai, Tibetan, and Myanma-Yunnan intramantle plumes form a N–S-trending series of plume formations rising from the upper parts of the lower mantle (1250–1550 km) and this differs from the upper mantle plumes and superplumes. Intramantle plumes occupy a certain position in the global structure of the mantle and influence on the Cenozoic structure of the Earth's crust and magmatism. The thrusting of the Himalayas to the Indian platform is probably caused by extension over the Tibetan plume, just as the thrust of the Sunda Arc is associated with extension of the Andaman back-arc sea. The thrusting of the arcs is combined with the underthrusting of the Indian plate under them. The research results are presented in 12 scientific papers.

#### 5.5. Перечень публикаций по проекту за весь срок выполнения проекта

1

Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Соколов С.А., Мазнев, С.В., Юшин К.И., Дэмбэрэл С. [Khangay intramantle plume in Mongolia: 3D model, influence on Cenozoic tectonics of the lithosphere, and comparison with other mantle plumes](#) Journal of Asian Earth Sciences (2023) wos, scopus, Q1

---

2

Соколов С.А., Гарипова С.Т., Юшин К.И., Бутанаев Ю.В., Зеленин Е.А., Овсяченко А.Н., Мазнев С.В. [Новейшая структура северного обрамления Убсунурской впадины: и ее соотношение с активными разломами \(Тыва, Россия\)](#) Геотектоника (2023) wos, scopus, rsci, РИНЦ

---

3

А. Н. Овсяченко, Ю. В. Бутанаев, Н. Г. Кошевой [ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОЧАГА СИЛЬНОГО ИСТОРИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ТУВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОЛЬКЛОРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ И ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ](#) Геотектоника (2023) wos, scopus, rsci, РИНЦ

---

4

Овсяченко А.Н., Дэмбэрэл С., Бутанаев Ю.В., Кошевой Н.Г., Батсайхан Ц., Баатар Н. [ХУБСУГУЛЬСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 12.01.2021 С Mw = 6.7 В СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ:](#)

[ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ И ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ОЧАГА](#) ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ (2023) [wos](#), [scopus](#), [rsci](#), [РИНЦ](#)

---

5  
А.В. Аржанникова, С.Г. Аржанников, А.А. Чеботарев, Е. Номин-Эрдене [Morphotectonics and paleoseismology of the North Darhad fault \(SW Baikal Rift, Mongolia\)](#) Journal of Asian Earth Sciences (2024) [wos](#), [scopus](#), [Q1](#)

---

6  
А.В. Аржанникова, С.Г. Аржанников, Дж.-Ф. Ритц, А.А. Чеботарев, А.С. Яхненко [Earthquake geology of the Mondy fault \(SW Baikal Rift, Siberia\)](#) Journal of Asian Earth Sciences (2023) [wos](#), [scopus](#), [Q1](#)

---

7  
Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Чеботарев А.А., Соколов С.А. [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 (2024) [wos](#), [scopus](#), «Белый список», [Q1](#)

---

8  
Трифонов В.Г., Соколов С.А., Овсяченко А.Н., Соколов С.Ю., Batsaikhan T, Demberel S., Бутанаев Ю.В., Кошевой Н.Г. [АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ СЕВЕРА ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ, ИХ СООТНОШЕНИЕ С НОВЕЙШЕЙ СТРУКТУРОЙ И ГЛУБИННЫМ СТРОЕНИЕМ РЕГИОНА](#) Геотектоника (2024) [wos](#), [scopus](#), [rsci](#), [РИНЦ](#), «Белый список», [Q2](#)

---

9  
Соколов С.Ю., Трифонов В.Г. [ДУГОВЫЕ СТРУКТУРЫ И СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОТОМОГРАФИИ И СЕЙСМИЧНОСТИ](#) Геотектоника (2024) [wos](#), [scopus](#), [rsci](#), [РИНЦ](#), «Белый список», [Q2](#)

---

10  
Сизов А.В., Сотникова М.В., Соколов С.А., Якимова А.А., Тесаков А.С., Вислобокова И.А., Зеленков Н.В., Симакова А.Н., Юшин К.И., Батсайхан Ц. [НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ВОЗРАСТ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ НЕОГЕНОВЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ ХИРГИС-НУР-2 \(СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ\)](#) ГЕОДИНАМИКА И ТЕКТОНОФИЗИКА (2024) [wos](#), [scopus](#), [rsci](#), [РИНЦ](#), «Белый список»

---

11  
Сизов А.В., Клементьев А. М., Pierre-Olivier Antoine [An Early Miocene skeleton of Brachydiceratherium Lavocat, 1951 \(Mammalia, Perissodactyla\) from the Baikal area, Russia, and a](#)

12

Чеботарев А.А., Аржанников С.Г., Аржанникова А.В., Курбанов Р.Н. [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) wos, scopus, «Белый список», Q1

Приложение к Сводному отчету за 2023–2024 гг.

Таблица 1. Новые определения скоростей подднечетвертичных перемещений по активным разломам региона, полученные в ходе реализации проекта

№	Название разлома	Компонента движений	Возрастной интервал	Скорости движений мм/год	Литература
1	Хангайский	$S \gg V(+S)$	5000 лет	$V_s = 7-8$	Трифонов и др., 2024
2	Эрзин-Агардагский	$S > V(+SE)$	С позднего $Q_2$  18700 лет	$V_s = 0.7 \pm 0.2 - 3.4 \pm 0.7$ $V_v = 0.04 \pm 0.02 - 0.2 \pm 0.1$ $V_s = 1.4 \pm 0.3$ $V_v = 0.08 \pm 0.02$	Arzhannikova et al., 2024 <sub>б</sub>
3	Северо-Дархатский	$N(+E)$	8400 лет	$V_n = 0.3-0.6$	Arzhannikova et al., 2024 <sub>1</sub>
4	Северо-Хубсугульский	$N(+W)$	958–1176 л.	$V_n = 0.6-0.7$	Трифонов и др., 2024
5	Саяно-Тувинский, В-й сегмент	$S > V$	С конца $Q_2$	$V_s = 0.9 \pm 0.1$	Arzhannikova et al., 2024 <sub>2</sub>
6	Каахемский, 3-я часть	$S > V$	После 44 Ка $\pm 6$ Ка	$V_s = 0.6 \pm 0.1$	Arzhannikova et al., 2024 <sub>2</sub>
7	Мондинский	$S > R(+S)$	13000 лет	$V_s \sim 1.1$ $V_r \sim 1.0$ $V_{sum} = 1.5$	Arzhannikova et al., 2023

$V$  – скорость. Перемещения:  $S$  – левый сдвиг,  $R$  – взброс,  $N$  – сброс,  $V$  – вертикальное,  $+E$  или  $+W$  – поднятое крыло.

Таблица 2. Определения интервалов повторяемости сильных землетрясений в зонах активных разломов региона, полученные в ходе реализации проекта

№	Название разлома	Кинематика разлома	Интервалы повторяемости, годы	Магнитуда $M_w$	Литература
1	Хангайский	$S \gg V(+S)$	250–1200, в среднем $\sim 800$	$\geq 8$	Трифонов и др., 2024
2	Цэцэрлэгский	$S > V(+NW)$	1650–1750	$\geq 7.8(?)$	Трифонов и др., 2024
3	Эрзин-Агардагский	$S > V(+SE)$	От 9400 до 4700	7.8	Arzhannikova et al., 2024 <sub>2</sub>
4	Северо-Дархатский	$N(+E)$	$\sim 3500$	7.5(?)	Arzhannikova et al., 2024 <sub>1</sub>
5	Северо-Хубсугульский	$N(+W)$	240–250	6.5–7.0	Трифонов и др., 2024
6	Мондинский, запад	$S > R(+S)$	4100–4600	7.4	Arzhannikova et al., 2023
7	Мондинский, восток	$S > R(+S)$	3900–4300	7.4	Arzhannikova et al., 2023

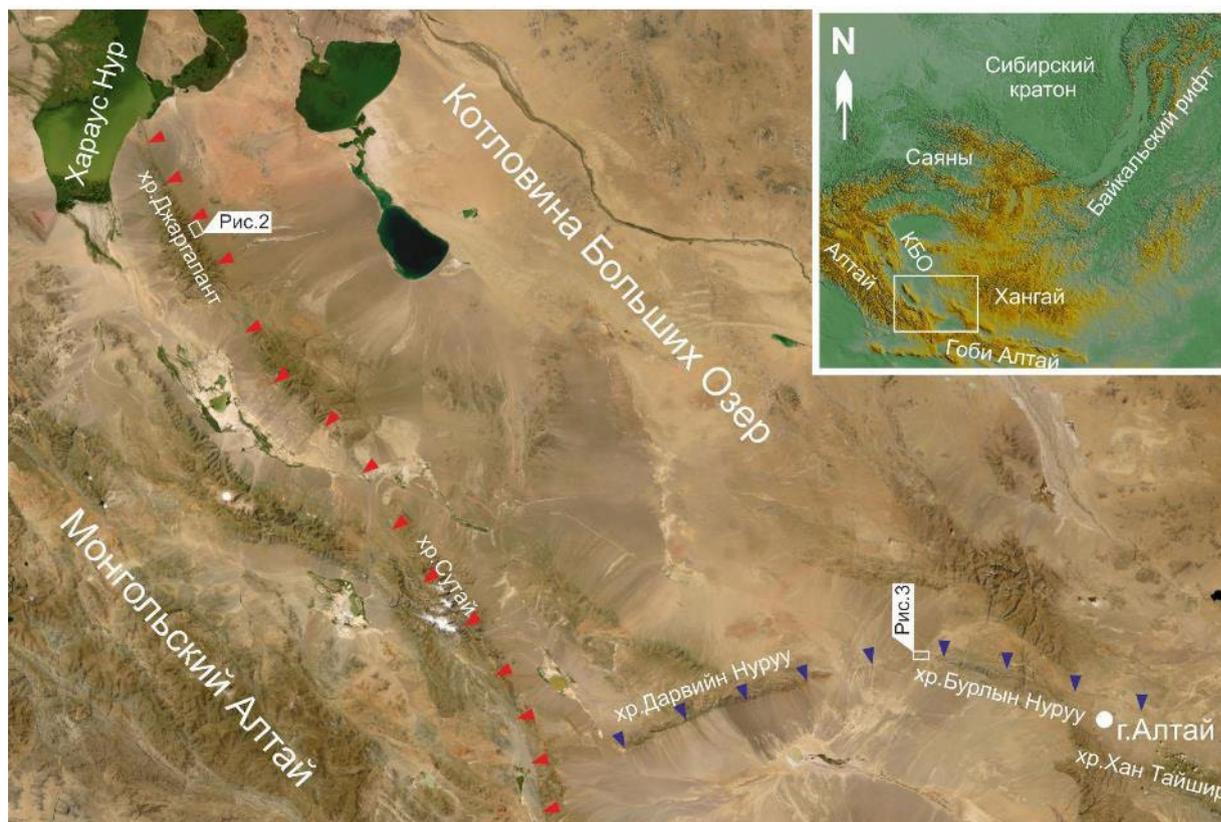


Рис. 1. Район исследований на космоснимке ESRI. Изучаемые разломы показаны цветными треугольниками: красными - Хараус-Нурский разлом, фиолетовыми - разлом Дарвийн Нуруу. Белыми прямоугольниками обозначены районы полевого изучения разломов. На цифровой модели рельефа Байкало-Монгольского региона (во врезке) показано местоположение района исследований

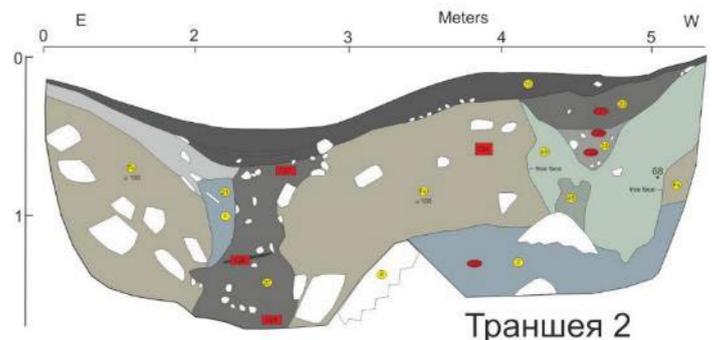
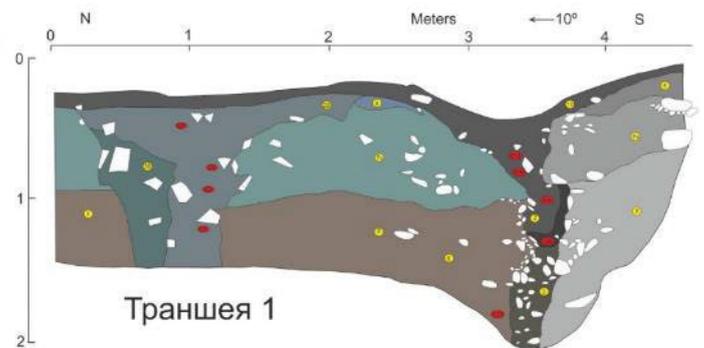
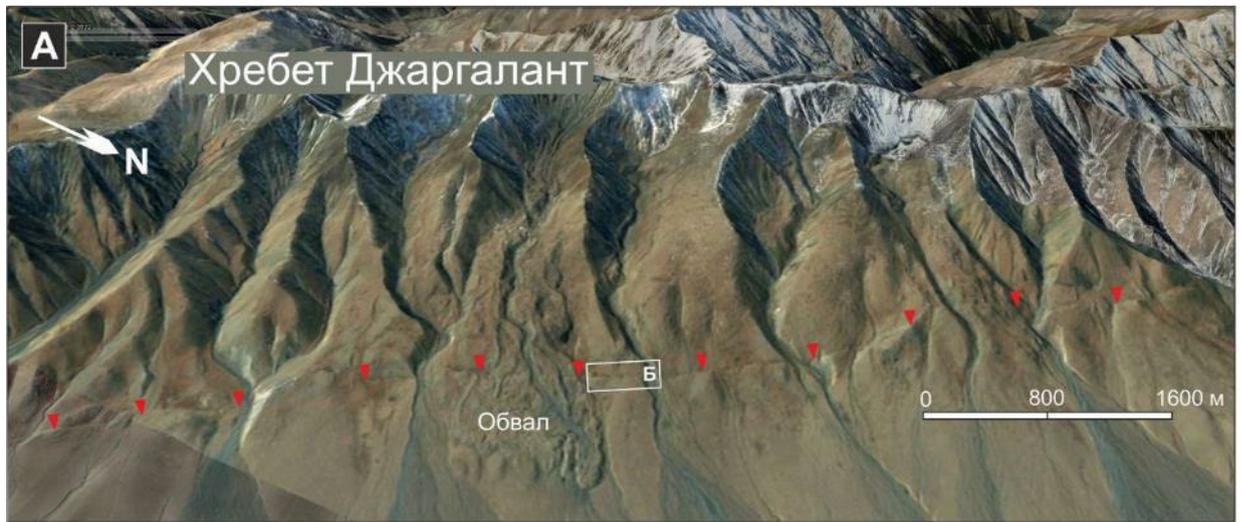


Рис. 2. Район полевого изучения Хараус-Нурского разлома в подножие массива Джаргалант (А,Б). Полевые фотографии и документация траншеи 1 (В) и 2 (Г) в крест простирания трещин растяжения вдоль разлома.

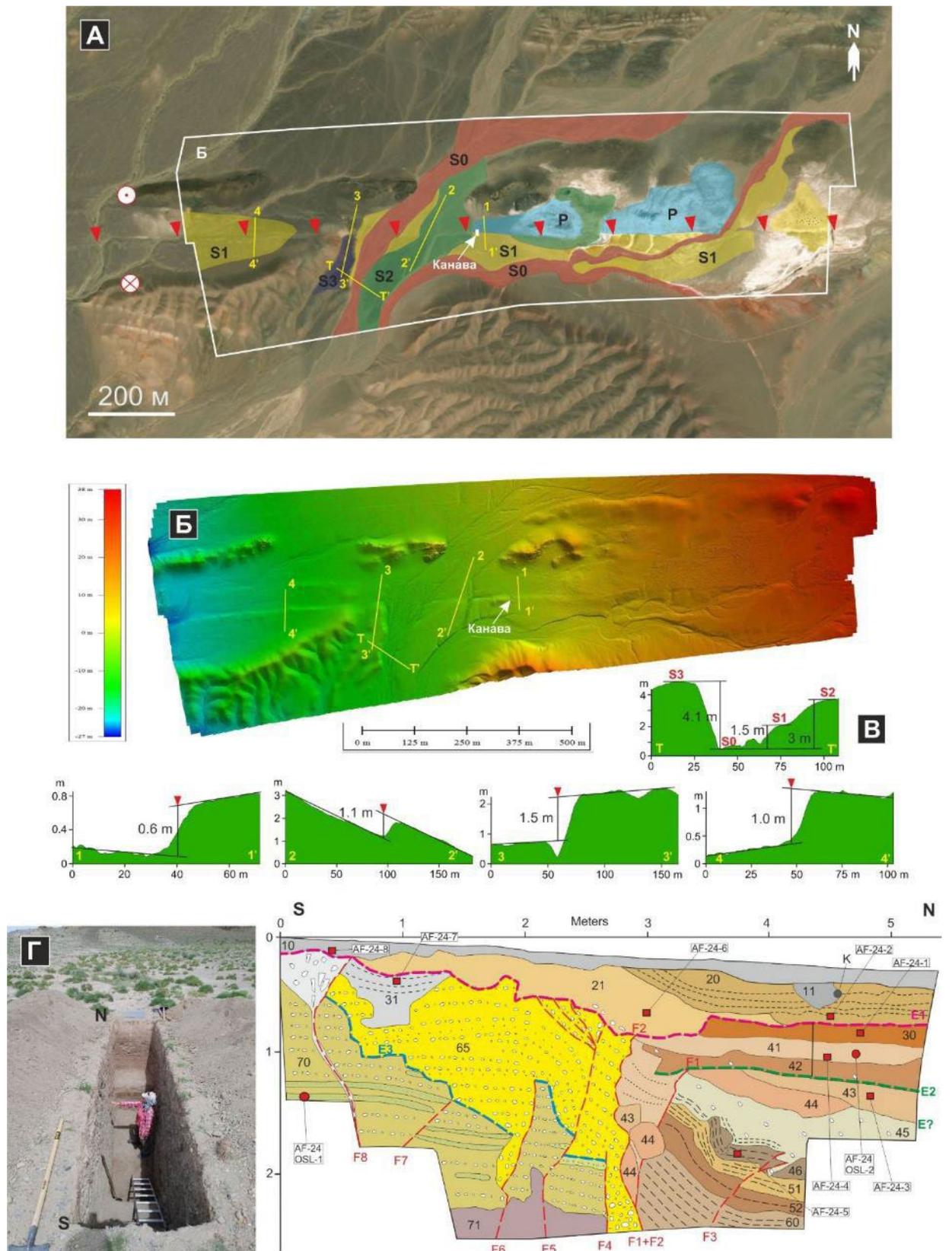
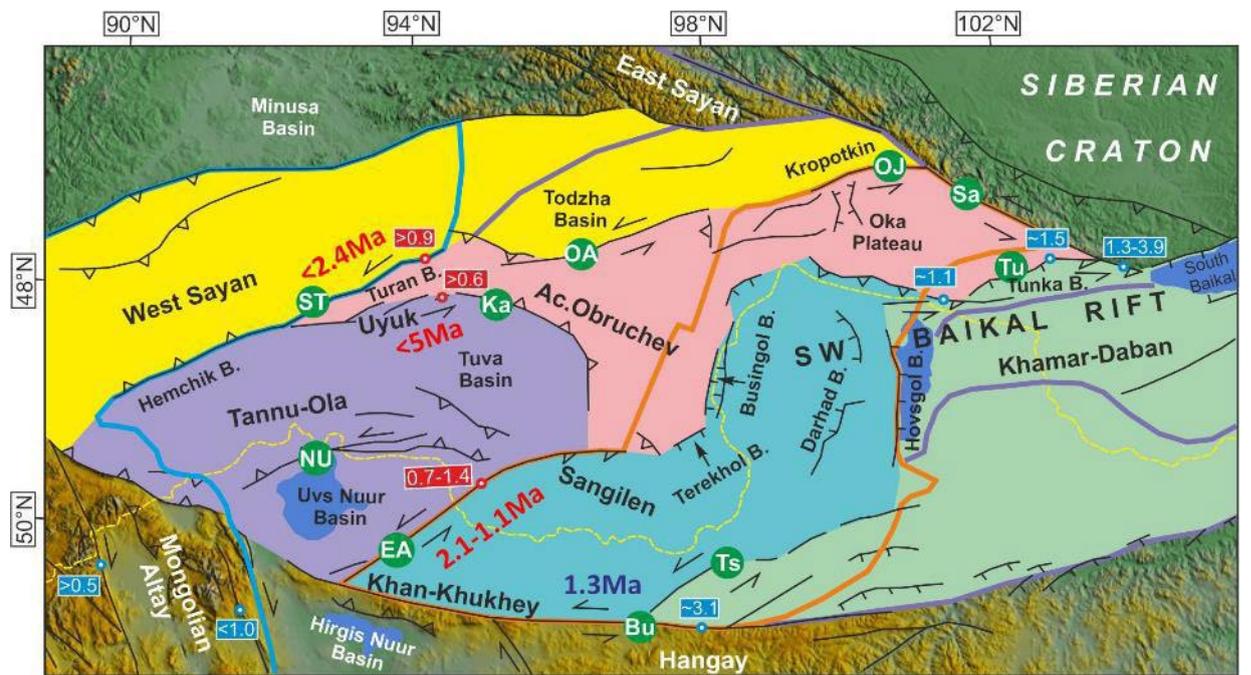


Рис. 3. Тектонический уступ разлома Дарвийн-Нуруу в месте пересечения крупной реки на космоснимке Google Earth (А), цифровая модель рельефа (Б) и серия топографических профилей в крест простирания террас (Т-Т') и разлома (1-1' - 4-4') с высотой террас и амплитудами смещения (В). На космоснимке красными треугольниками показан разломный уступ. Цветом показаны разные уровни аллювиальной поверхности (пояснения - в тексте). Г - фотография и документация западной стенки траншеи, заложенной в крест простирания сейсмогенного уступа.



**0.7-1.4** - позднплейстоцен-голоценовые скорости горизонтальных смещений (мм/год)

**2.1-1.1Ma** - возраст начала сдвиговых деформаций по разлому

Рис. 4. Кинематическая модель Саяно-Тувинского нагорья



Рис. 5. Модель формирования Бадарского песчаного массива засчет обвального подпора р. Иркут.

Слева: стратиграфическая колонка по разрезу Бадарского массива с указанием точек отбора образцов и полученных результатов OSL-датирования; в центре: реконструкция палеоозера с уровнем воды 765 м над уровнем моря и расположением обвального подпора реки Иркут в Еловском отроге; справа: схема изменения профиля реки Иркут за последние 30 тыс. лет в пределах Тункинской впадины и поэтапная схема формирования Бадарского песчаного массива.

Звездочкой указано расположение разреза.

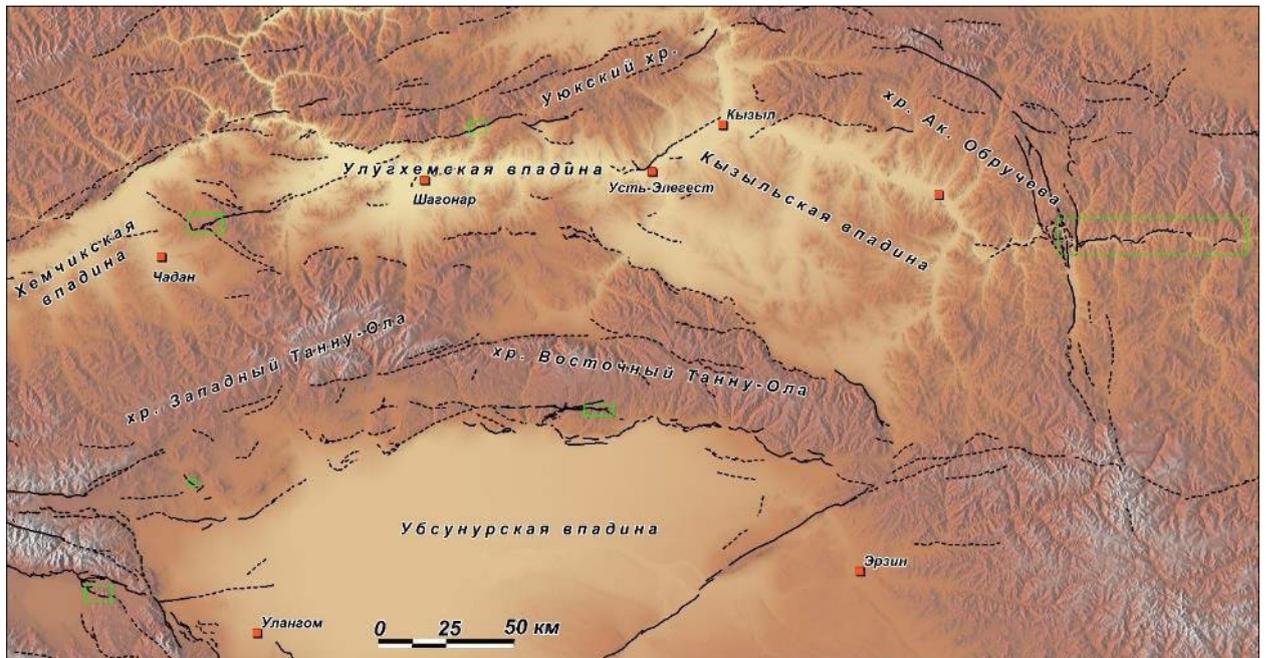


Рис. 6. Активные разломы (сплошные линии – изученные в результате сейсмотектонических исследований, штриховые – по структурно-геоморфологическим и дистанционным данным) с участками полевых исследований (зеленые прямоугольники).

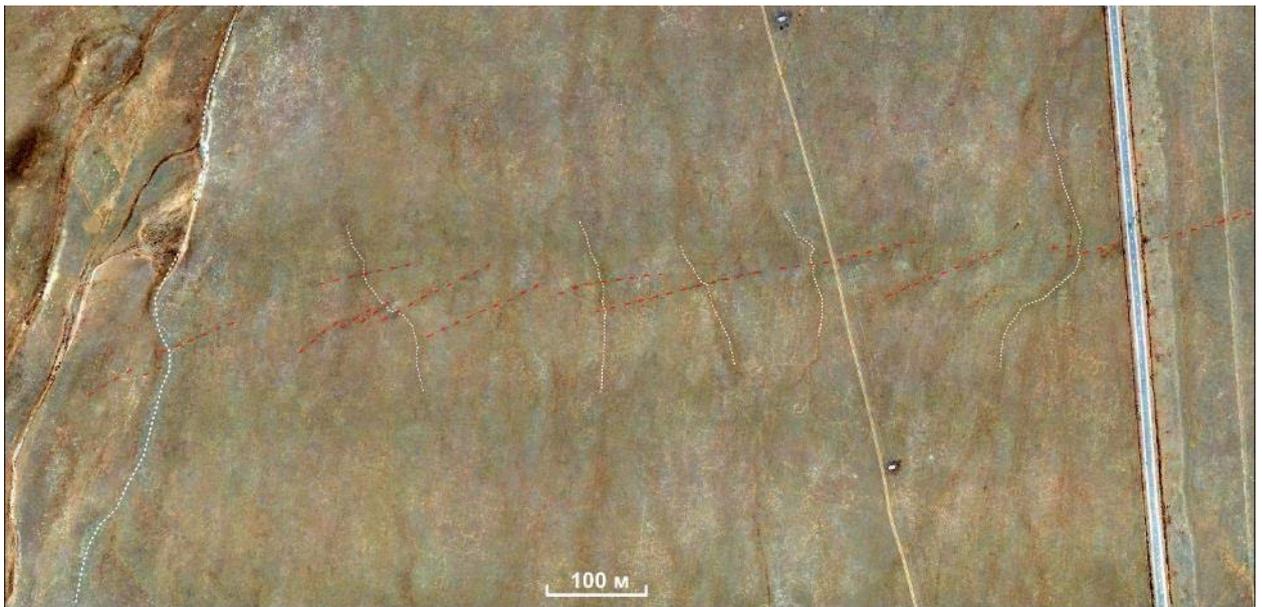


Рис. 7. Левосдвиговые смещения мелких сухих долин (белые линии) по эшелонированной системе рвов (красные линии), Хундлэнгольский разлом, западная окраина Убсунурской впадины.

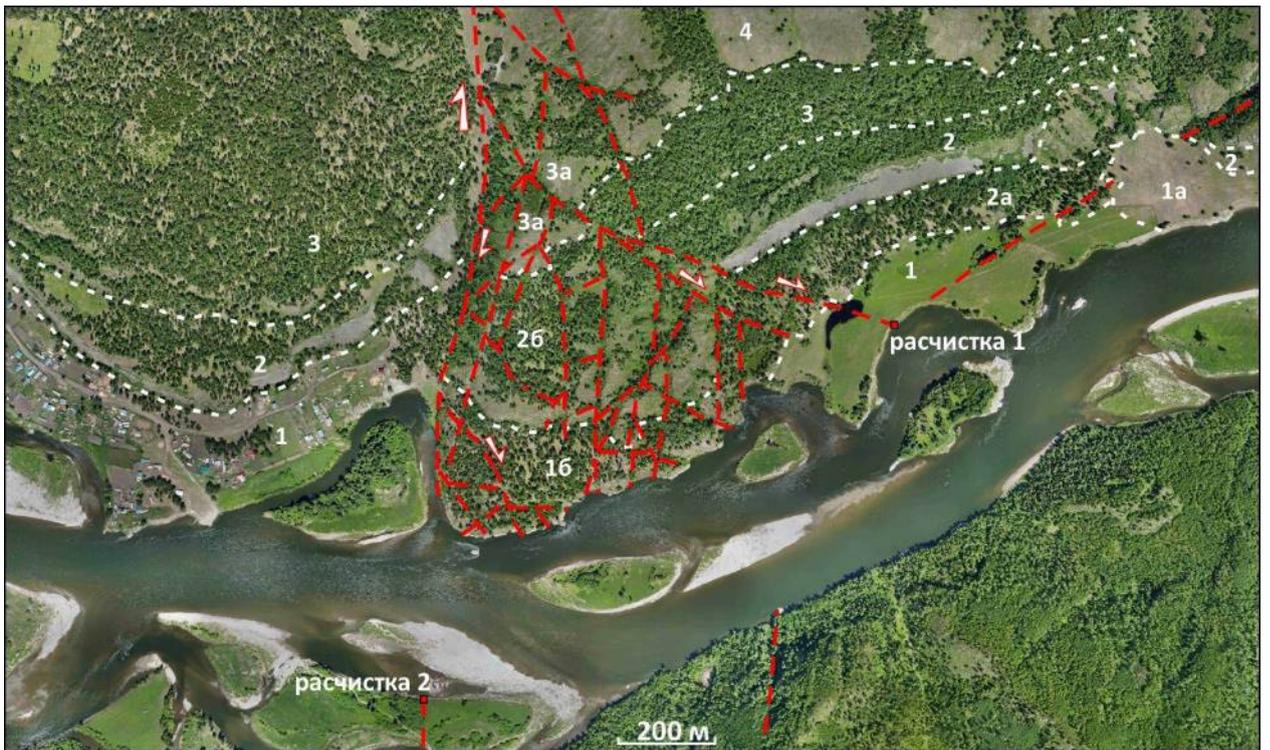


Рис. 8. Морфотектоническая схема правого борта долины р. Малый Енисей в районе с. Ужеп. Красные линии – сейсмотектонические рвы и разрывы; белые – границы крупнейших форм рельефа.

1 – комплекс низких террас (1а – аккумулятивные; 1б – цокольные в гранитоидах);  
 2 – комплекс средних террас (2 – базальты; 2а – обвальнo-осыпные отложения и лестница локальных цокольных террас; 2б – цокольные в гранитоидах); 3 – комплекс высоких террас (3а – аккумулятивные; 3б – цокольные в гранитоидах); 4 – коренной склон с тонким грубообломочным покровом.



Рис. 9. Левосдвиговой разрыв тылового шва высокой пойменной террасы р. Малый Енисей, район устья р. Чендракты.



Рис. 10. Активный разлом с левосдвиговой компонентой смещений. Центрально-Тувинская система разломов, район г. Чадан. Цифровая модель рельефа по данным аэрофотосъемки с БПЛА с положением расчистки.



Рис. 11. Фото и интерпретация расчистки. Центрально-Тувинская система разломов, район г. Чадан. 7 коллювиальных клиньев маркируют 7 подвижек. Из них отобрано 6 образцов на радиоуглеродное датирование.

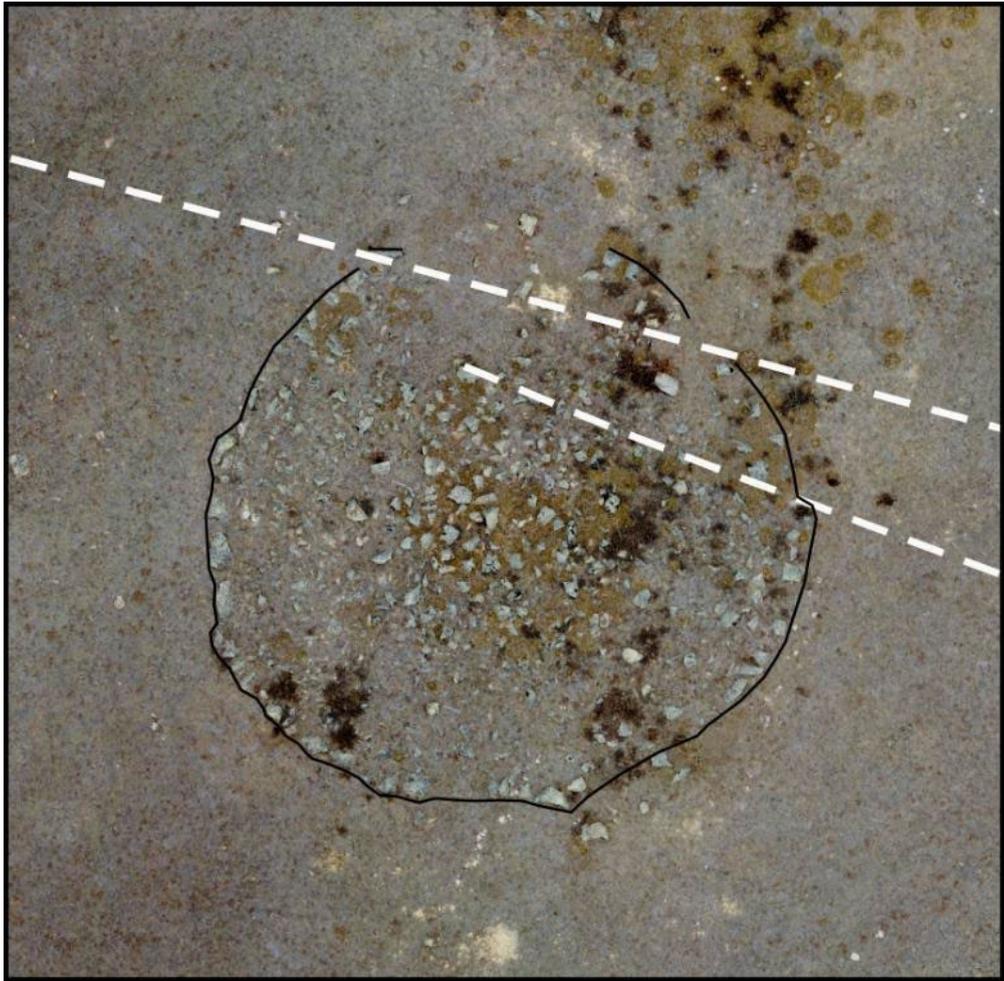


Рис. 12. Левый сдвиг кургана на 1-1.1 м в зоне Южно-Таннуольского разлома, долина р. Деспен, южная Тува.



Рис. 13. Геоморфологические уровни вулканогенных отложений долины реки Чулуут-Гол

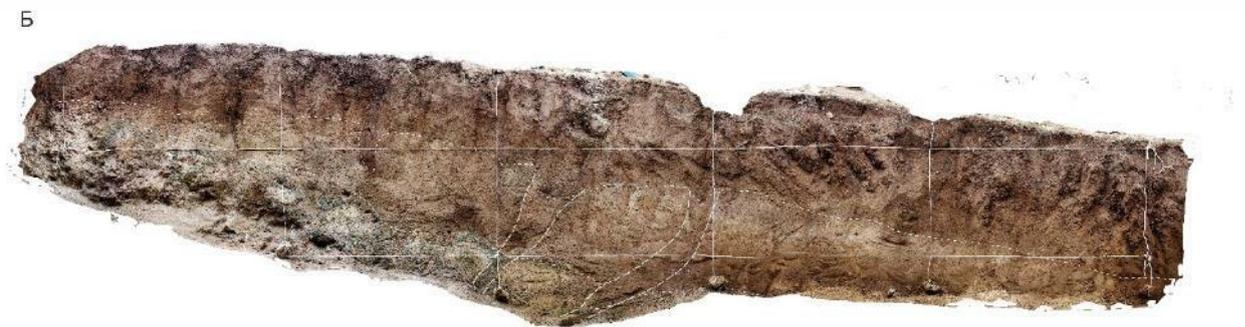


Рис. 14. Барунтурунский разлом. А – тектонический уступ; Б – фотопанорама траншеи, пройденной в крест простирания тектонического уступа, вскрывающая плоскость разлома

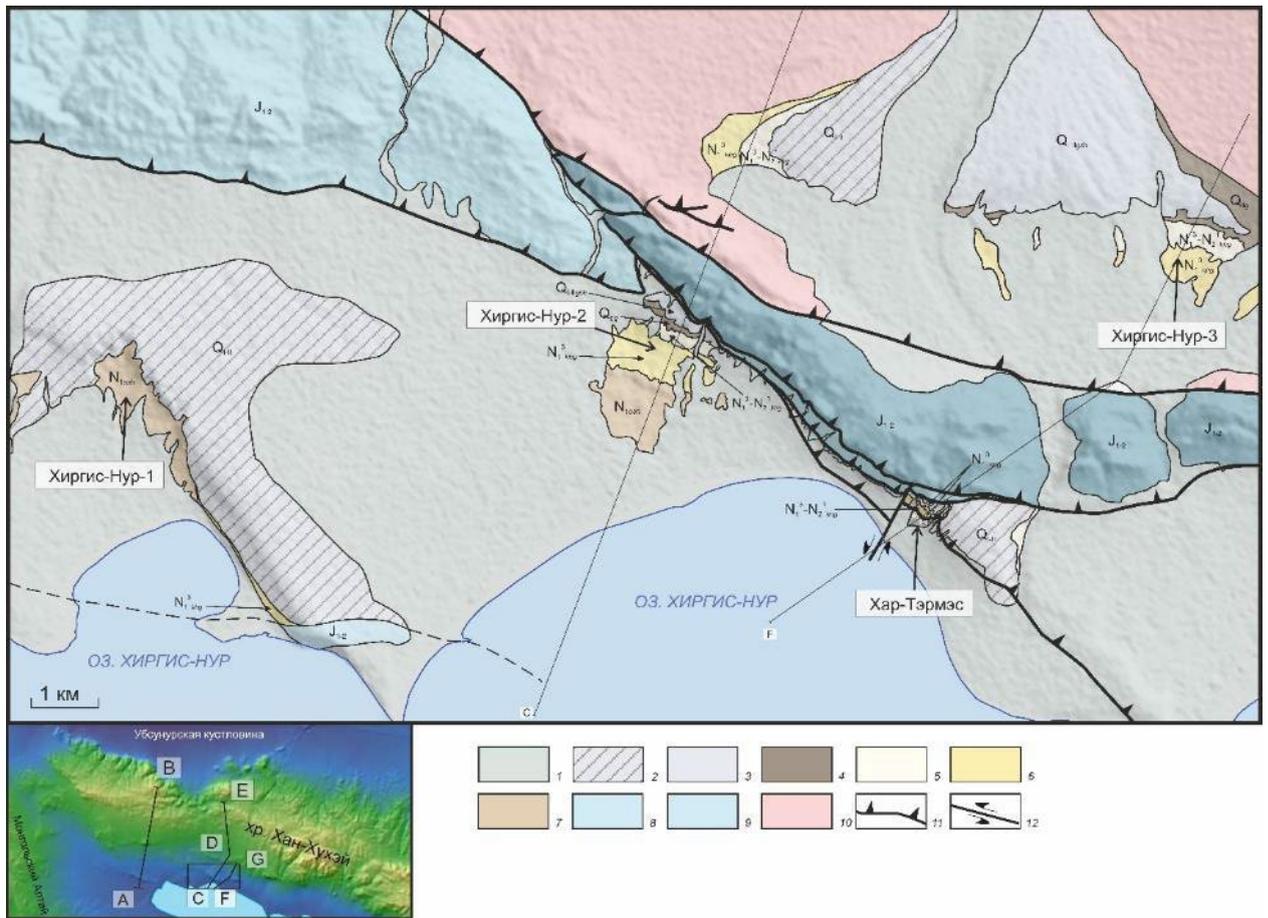
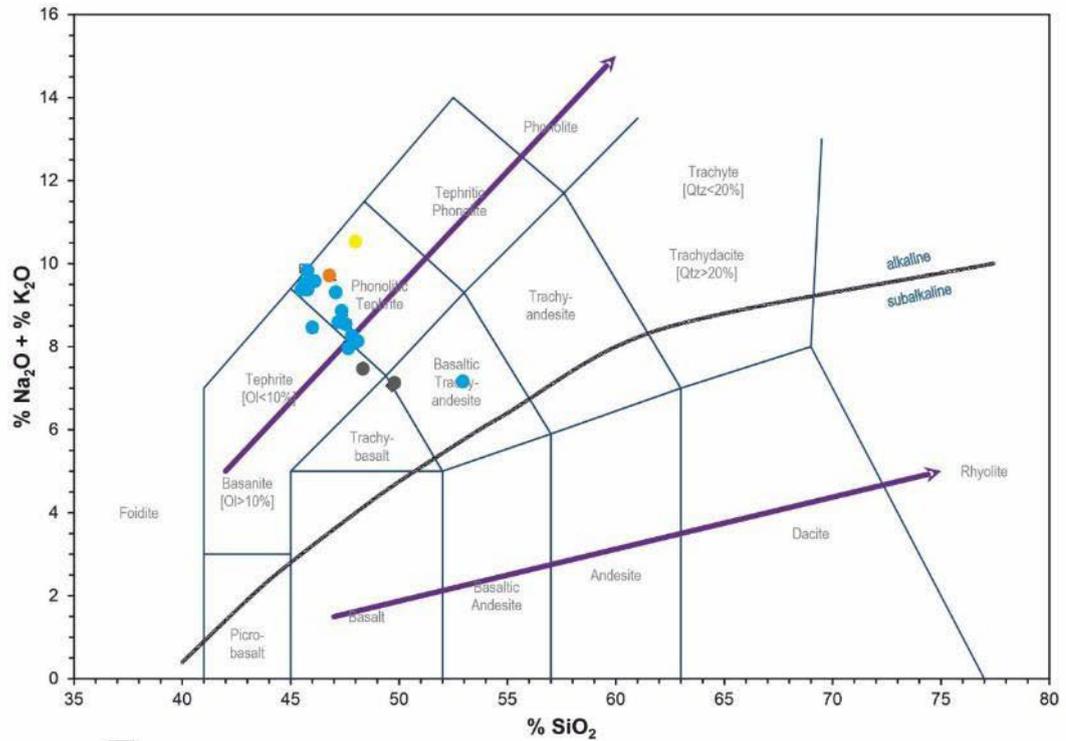


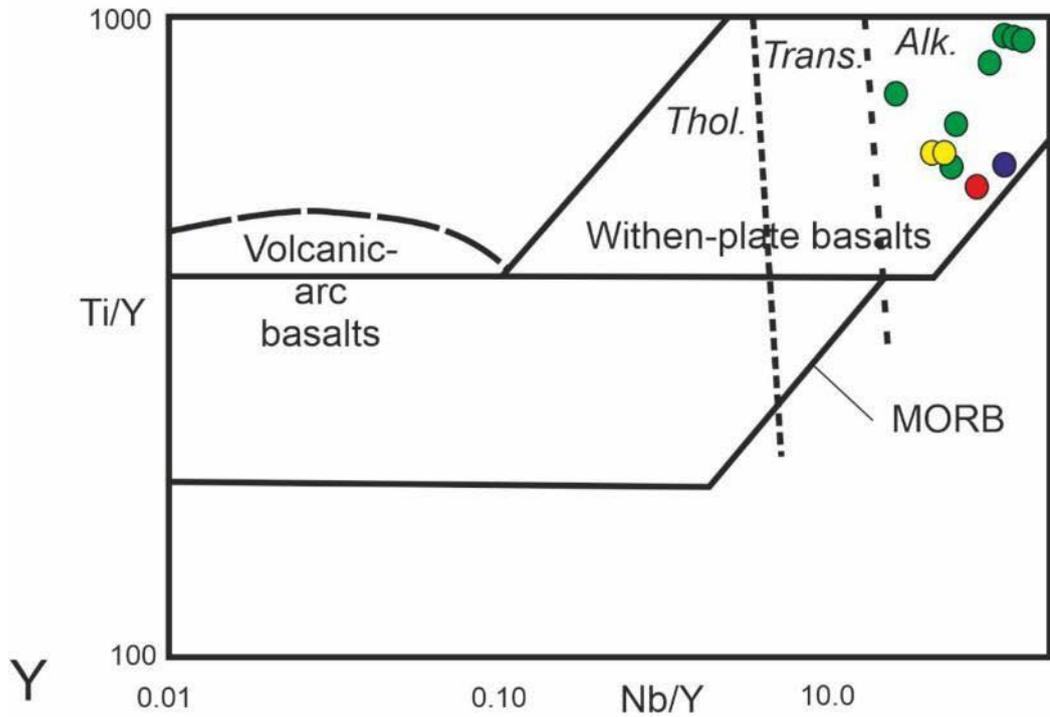
Рис. 15. Геологическая карта южного подножья хребта Хан-Хухэй.

1 – поздний плейстоцен – голоцен; 2 – нижний-средний плейстоцен неразделенные; 3 – свита гошу; 4 – свита туин-гол; 5- 6 – свита хиргис-нур: 5 – пачка Б, 6 – пачка А; 7 – свита ошин; 8 – 9 – юрская система: 8 – верхи разреза, 9 – низы разреза; 10 – кембрийские гранитоиды; 11 – 12 – разрывные нарушения: 11 – надвиги, 12 – сдвиги.

A



Б



- - лавы вулк. Суга (уч. из. 1)
- - лавы южной группы вулканических Центров (уч. из. 2)
- - лавы вулканических центров уч. из. 3
- - лавы вулк. Горго

12

Рис. 16. Геохимические особенности вулканитов Чулут-Тариатского грабена  
 А - классификационная диаграмма TAS ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ )  
 Б - диаграмма  $\text{Ti/Y}-\text{Nb/Y}$  [Pearce, 1973]

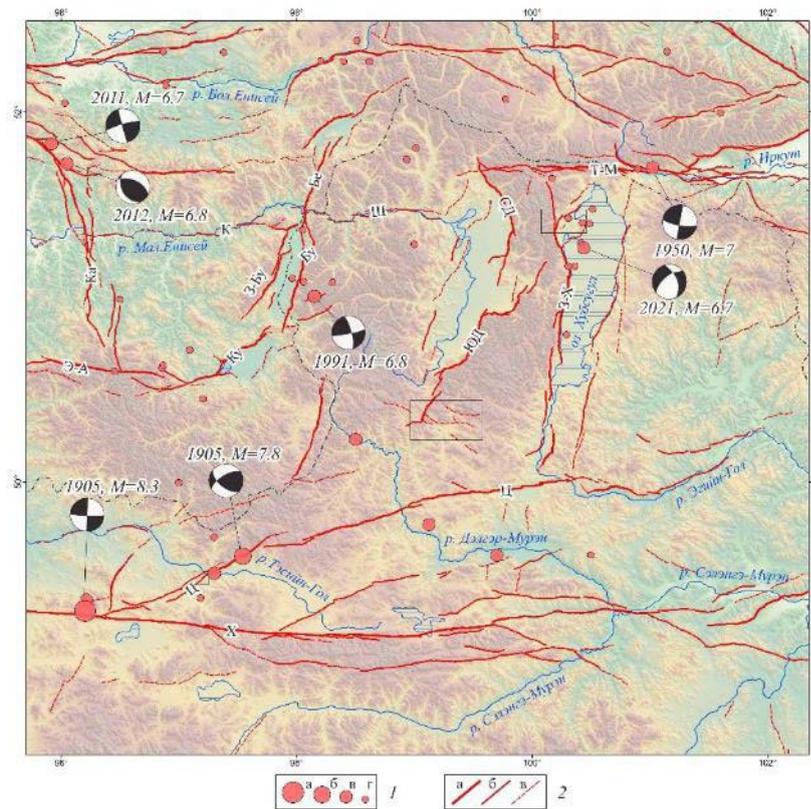


Рис.17. Активные разломы, эпицентры сильных землетрясений после 1900 г. и механизмы очагов землетрясений между Хангайской и Тункино-Мондинской зонами активных сдвигов. Основные разломы: Ха – Хангайский; Цэ – Цэцэрлэгский; Эа – Эрзин-Агардагский; Ка – Каахемский; Кз – Кызылхемский; Бе – Белинский; Бу – Бусийнгольский; Зб – Западно-Бусийнгольский; Ку – Кунгуртугский; Ши – Шишхидгольский; Юд – Южно-Дархатский; Сд – Северо-Дархатский; Зх – Западно-Хубсугульский; Тм – Тункино-Мондинский. 1 – эпицентры землетрясений с магнитудами: а -  $\geq 8$ ; б – 7.5–7.9; в – 6.5–7.0; г -  $< 6.5$ ; 2 – активные разломы: а – крупнейшие разломы со средними скоростями перемещений  $\geq 1$  мм/год; б – крупные разломы со средними скоростями перемещений  $< 1$  мм/год; в – мелкие разломы. Прямоугольниками выделены участки проведения детальных полевых работ

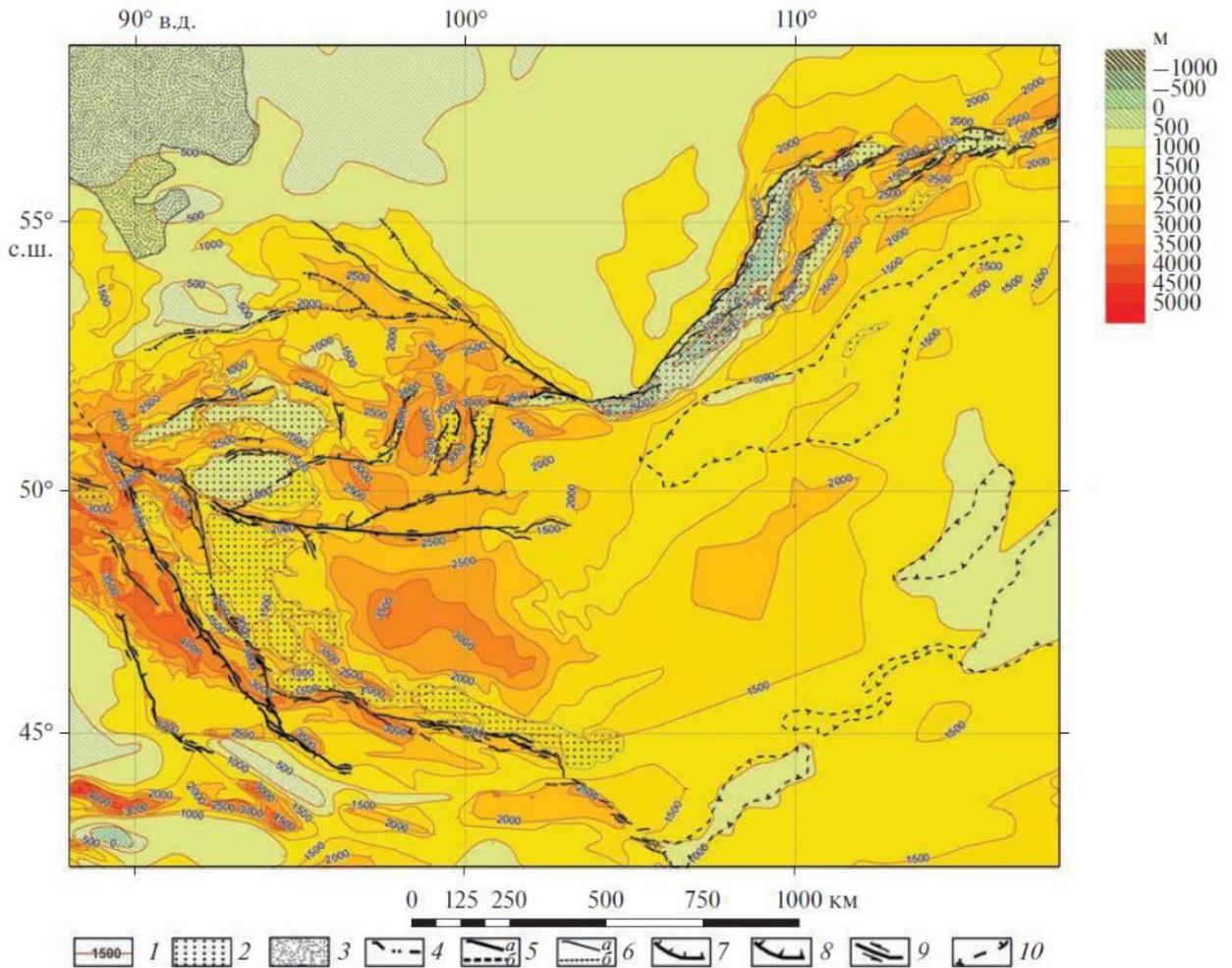


Рис. 18. Карта кайнозойской тектоники севера Центральной Азии

1 – изолинии вершинной поверхности фундамента на поднятиях и подошвы чехла во впадинах (м); 2 – осадочное и вулканическое заполнение позднемеловых и кайнозойских впадин и грабенов; 3 – равнины с кайнозойским платформенным чехлом; 4 – плиоцен–четвертичные разломы; 5 – крупные активные разломы: а – достоверные, б – предполагаемые; 6 – прочие активные разломы: а – достоверные, б – предполагаемые; 7 – сбросы; 8 – надвиги и взбросы; 9 – сдвиги; 10 – границы слабо опущенных линейных прогибов (Селенгино-Витимского и Восточной Монголии)

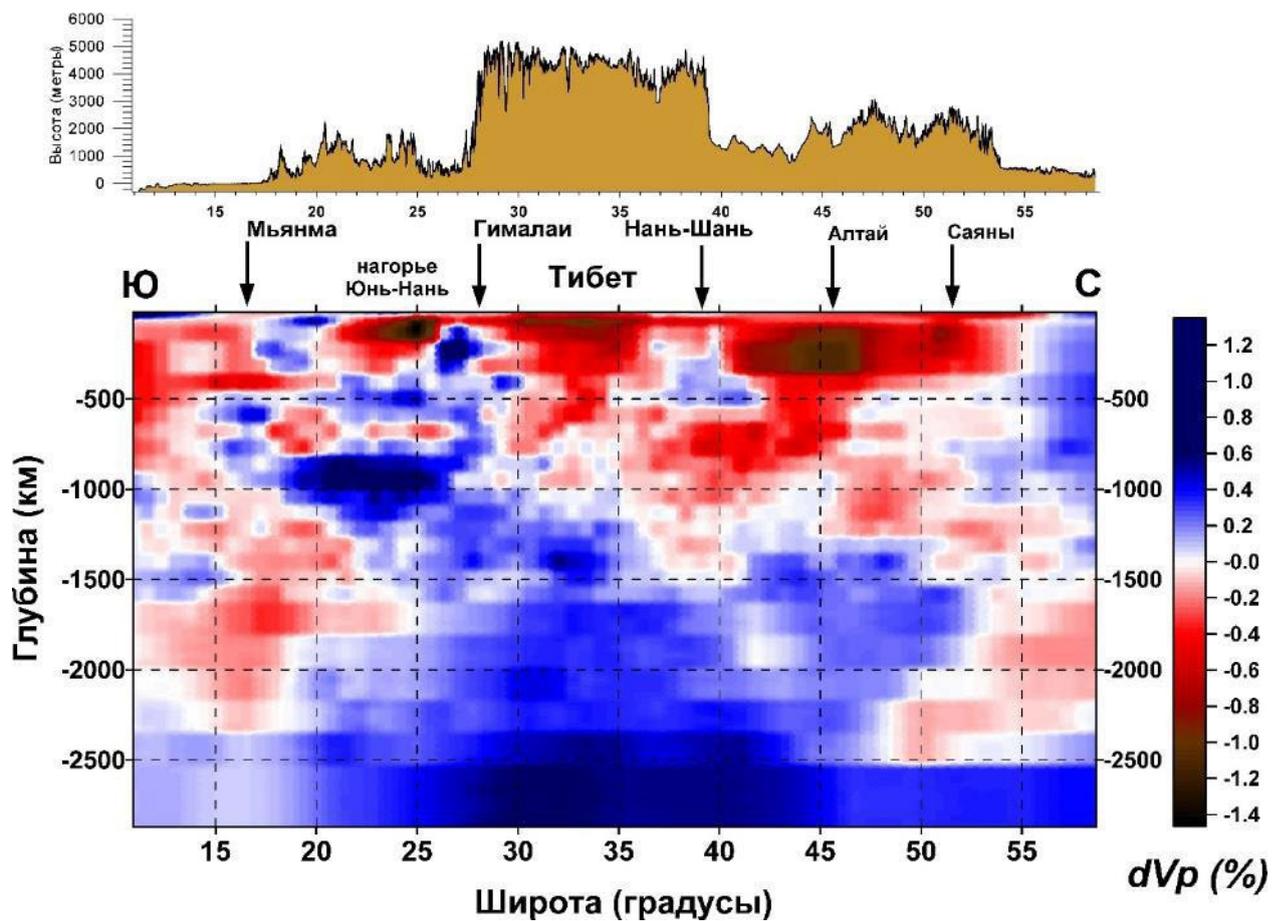


Рис. 19. Внутримантийные плюмы Хангайский, Тибетский и Мьянма-Юннань.

**Литература** (к формам 1о и 5и кроме публикаций авторов по проекту)

- Девяткин Е.В. Геология кайнозоя Западной Монголии // Геология мезозоя и кайнозоя Западной Монголии. М.: Наука, 1970. С. 44–102.
- Девяткин Е.В. Кайнозой Внутренней Азии (стратиграфия, геохронология, корреляция). М.: Наука, 1981. 196 с.
- Зорин Ю.А., Балк Т.В., Новоселова М.Р., Турутанов Е.Х. Толщина литосферы под Монголо-Сибирской горной страной и сопредельными регионами // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1988. № 7. С. 32–42.
- Кулаков И.Ю. Структура верхней мантии под Южной Сибирью и Монголией по данным региональной сейсмотомографии // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 3. С. 248–261.
- Певзнер М.А., Вангенгейм Э.А., Жегалло В.И., Зажигин В.С., Лискун И.Г. Корреляция отложений позднего неогена Центральной Азии и Европы по палеомагнитным и биостратиграфическим данным // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1982. № 6. С. 5–16].
- Рассказов С.В. Магматизм Байкальской рифтовой системы. – Новосибирск: Наука, 1993. 299 с.
- Рассказов С.В., Брандт С.Б., Брандт И.С., Иванов А.В. Радиоизотопная геология в задачах и примерах. – Новосибирск: ГЕО, 2005. 268 с.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Иванов А.В. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя: Южная Сибирь и Восточная Азия. – Новосибирск: Наука, 2000. 288 с.
- 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.
- 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.
- 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.
- Arzhannikova A., Arzhannikov S., Jolivet M., Vassallo R., Chauvet A. Pliocene to Quaternary

deformation in South East Sayan (Siberia): Initiation of the Tertiary compressive phase in the southern termination of the Baikal Rift System // *J.Asian Earth Sci.* 2011. Vol. 40. P. 581–594.

Database of Active Faults of Eurasia (GIN RAS, Moscow, 2020). <http://neotec.ginras.ru/database.html> (Accessed November 12, 2024).

*Huang J., Zhao D.* High-resolution mantle tomography of China and surrounding regions // *J. Geophys. Res.* 2006. Vol. 111. P. B09305.

*Huang Zh., Zhao D.* Seismotectonics of Mongolia and Baikal Rift zone controlled by lithospheric structures // *Geophys. Res. Lett.* 2022. Vol. 49 (e2022). P. 1–10.

*Le Maitre W.* *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms.* 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 2002, 236 pp.

*Li C., van der Hilst R.D., Engdahl E.R., Burdick S.,* 2008. A new global model for P wave speed variations in Earth's mantle // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2008. Vol. 9. № 5. P. 1–21.

*Meschide M.* A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram // *Chem. Geol.* 1986. Vol. 56. P. 207–218.

*Pearce J.A., Cann J.R.* Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1973. Vol. 19 (2). P. 290–300.

*Ritz J.-F., Arzhannikova A., Vassallo R., Arzhannikov S., Larroque C., Michelot J.-L., Massault M.* Characterizing the present-day activity of the Tunka and Sayan faults within their relay zone (western Baikal rift system, Russia) // *Tectonics.* 2018. Vol. 37. P. 1376–1392.

*Sun, S.; McDonough, W.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In *Magmatism in Ocean Basins*; Sanders, A.D., Norry, M.J., Eds.; Geological Society Special Publication: London, UK, 1989; Volume 42, pp. 313–345.

*Wells, D.L., Coppersmith, K.J.* New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // *Bulletin of the seismological society of America.* 1994. V. 84. №4. P. 974-1002.

*Windley B.F., Allen M.B.* Mongolia plateau: Evidence for a late Cenozoic mantle plume beneath central Asia // *Geology.* 1993. Vol. 21. P. 295–298.

*Yarmolyuk V.V., Kudryashova E.A., Kozlovsky A.M., Lebedev V.A., Savatenkov V.M.* Late Mesozoic–Cenozoic intraplate 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.