

Отчет о выполнении проекта РФФ № 22-17-00049  
«Неотектоника и активная тектоника северной части Центральной Азии»  
в 2023 году

**Заявленный в проекте план работы научного исследования на отчетный период**

Экспедиционные работы в Монголии и обработка полученных материалов. Районы работ – хр. Хан-Хухийн и соседние склоны Убсунурской впадины и Котловины Больших Озер севернее оз. Хиргис-Нур; Хангайское нагорье и его склоны. Исполнители – С.А. Соколов, К.И. Юшин, А.А. Якимова, а также А.В. Сизов (вспомогательный персонал). Продолжительность работ – 30–35 дней в июле-сентябре.

Цели работ. (1) Уточнение стратиграфии северного борта Котловины Больших Озер севернее оз. Хиргис-Нур и сбор палеонтологического и литолого-геохимического материала для обоснования стратиграфии и истории формирования региона. Исполнители – А.В. Сизов, А.А. Якимова, С.А. Соколов и К.И. Юшин. Будет продолжено изучение богатого местонахождения ископаемой фауны позднего кайнозоя Хиргис-Нур-2. (2) Определение пространственных и хронологических соотношений между Хангайским разломом и надвигами северного борта Котловины Больших Озер, а также между Хангайским, Цэцэрлэгским и Дунганским разломами и области их сочленения. Исполнители – С.А. Соколов и К.И. Юшин. (3) Исследование вулканов и лавовых полей Хангайского нагорья и его склонов; отбор образцов для изучения петрографических, минералогических, геохимических особенностей вулканических пород, датирования извержений, выявления параметров вулканической камеры и геодинамической характеристики вулканизма; определение структурной позиции позднекайнозойских вулканов. Исполнители – С.А. Соколов и К.И. Юшин.

Экспедиционные работы в Монголии и Туве (область сочленения Монгольского Алтая и хр. Танну-Ола) и обработка полученных материалов. Районы работ – область сочленения Монгольского Алтая и хр. Танну-Ола, а также Юго-Восточная Тува. Исполнители – А.Н. Овсяченко и Ю.В. Бутанаев, а также Н.Г. Кошевой (вспомогательный персонал). Продолжительность работ – 30–35 дней в июле-августе.

Цели работ. (1) Определить соотношения субмеридиональных активных разломов Монгольского Алтая (в первую очередь Кобдинского и Цаган-Шибетинского) с субширотными активными разломами Западного Танну-Ола и Шапшальского хребта. В Монголии работы запланированы в районе г. Улангом и оз. Урэг-Нур, а на юго-западе Республики Тыва – в районе п. Саглы и горного массива Монгун-Тайга, где расположен сложный узел сочленения активных разломов субширотной (Шапшальский разлом) и субмеридиональной (Кобдинский разлом) ориентировок. (2) В республике Тыва запланированы также полевые работы на южном фланге крупнейшего Каахемского активного разлома в долине р. Малый Енисей (район п. Ужеп). Цель этих работ – определить соотношения Каахемского разлома с Енисейским активным разломом и Бусийнгольским меридиональным грабеном на севере Центральной Монголии. (3) Активная тектоника Хемчикской впадины Тувы.

Экспедиционные работы на юге Сибири и в Туве (часть Саяно-Тувинской/Каахемской системы активных разломов), а также в смежных областях Тувы и Северной Монголии (Эрзино-Агардагский разлом). Исполнители: А.В. Аржанникова и привлеченный ею на время полевых работ вспомогательный персонал. Продолжительность работ – 30–35 дней в июле-августе.

Цели и задачи работ – морфотектонические и палеосейсмологические исследования, по возможности, со вскрытием разломов траншеями и отбором образцов на датирование для определения возраста деформаций и расчета скоростей смещения по разломам, а также получения информации об их сейсмическом потенциале.

Аналитические исследования соотношений внутримантийных скоростных аномалий типа Хангайского плюма с неоднородностями мантии в соседних регионах. Исполнители – С.Ю. Соколов и В.Г. Трифонов

Изучение вариаций скоростей сейсмических волн в районе Хангайского плюма показало расслоенное строение «горячей» мантийной аномалии с резким понижением скоростей от подошвы утоненной литосферы до глубин ~400 км и более сложной структурой аномалии на глубинах от ~400 до ~1300 км. Глубинное строение обрамления Азии со стороны желобов Тихого и Индийского океанов по данным разрезов региональных сейсмотомографических моделей показало широкое распространение субгоризонтальных аномалий типа «стагнирующий слэб» в диапазоне глубин от 400 до 670 км с развитием над ними верхнемантийных плюмов, ответственных за проявления вулканизма на поверхности. Предполагается исследовать пространственные соотношения плюмов Хангайского типа с «холодными» аномалиями типа «стагнирующий слэб» не только на активной континентальной окраине, но и внутри континента. Предполагается построить сейсмотомографические разрезы мантии вдоль подобных структур и сравнить их с полем векторов движения по данным GPS и неотектоническим данным для выяснения направленности современной и новейшей геодинамической активности литосферы и верхней мантии.

Аналитические исследования по оценке скоростей смещения и времени начала активизации крупных левосдвиговых зон Монголии, Тувы и Юго-Западного Прибайкалья в течение третьего, плиоцен-четвертичного, этапа формирования новейшей структуры региона. Ответственный исполнитель – А.В. Аржанникова.

В плиоцен-четвертичное время в 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 через область растяжения в виде субмеридиональных Бусийнгольской, Дархатской и Хубсугульской грабенообразных впадин. Третья система объединяет Саяно-Тувинский, Каахемский, Оттутгайгино-Азасский и Окино-Жомболокский разломы. Эта система соединяет разломы Тувы с Главным Саянским разломом на краю Сибирской платформы. Оценка скоростей смещения и времени начала активизации крупных сдвиговых зон позволит оценить вклад горизонтальных перемещений в деформирование коры на плиоцен-четвертичном этапе. Подобные данные для Саяно-Тувинского/ Каахемского и Эрзино-Агардагского разломов планируется получить в результате экспедиционных работ 2023 г. (см. задание 3). Подготовка этих данных к публикации планируется на 2024 год после датирования отобранных во время экспедиции образцов.

Командировка С.А. Соколова на Конгресс INQUA в Риме 14–20.07.2023 с докладом по теме данного проекта: «Active faults in the northern Khangai Highland and its surrounding, Central Mongolia». Авторы: S. Demberel, S.A. Sokolov, A.N. Ovsyuchenko, A.V. Arzhannikova, Yu.V. Butanaev, K.I. Yushin, S.Yu. Sokolov, V.G. Trifonov. Тезисы доклада приняты организаторами Конгресса. Поездка состоится в том случае, если удастся обойти антироссийские санкции Евросоюза.

### **Ожидаемые в конце 2023 года конкретные научные результаты**

Подготовка и представление в рецензируемые журналы следующих статей:

Аржанникова А.В., Аржанников С.Г., Чеботарев А.А., Номин-Эрдэнэ Э. «Палеосейсмогенная активизация Джарагольского сегмента Дархатского разлома (юго-западный фланг Байкальского рифта, Монголия)».

Овсюченко А.Н., Бутанаев Ю.В. и др. «Каахемская система активных разломов в Туве: сегменты и повторяемость сильных землетрясений по данным палеосейсмологических исследований».

Овсюченко А.Н., Бутанаев Ю.В. и др. «Хубсугульское землетрясение 12.01.2021 с  $M_w=6.7$  в Северной Монголии: геологические эффекты и тектоническая позиция очага».

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.

Sizov, Alexander, Klementiev, Alexey, and Antoine, Pierre-Olivier. An early Miocene skeleton of *Brachydiceratherium Lavocat, 1951* (Mammalia, Perissodactyla) from the Baikal area, Russia, and a revised phylogeny of Eurasian teleoceratines // *Zoological Journal of the Linnean Society*

Соколов С.Ю., Трифонов В.Г. Соотношение плюмов Хангайского типа, восходящих из верхов нижней мантии, с субгоризонтальными аномалиями типа «стагнирующий слэб» в Центральной и Юго-Восточной Азии.

Редподготовка и публикация в рецензируемых журналах следующих статей:

Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., Ritz J.-F., Chebotarev A.A., Yakhnenko A.S. “Earthquake geology of the Mondy Fault (SW Baikal Rift, Siberia)” // *Journal of Asian Earth Sciences*. Содержание статьи изложено в разделе 1.4.5 формы 1о данного отчета.

Овсюченко А.Н., Бутанаев Ю.В., Кошевой Н.Г. «Локализация очага сильного исторического землетрясения в Центральной Туве с использованием фольклорно-исторических и палеосейсмологических данных» // *Геотектоника*. Содержание статьи изложено в разделе 1.4.1 формы 1о данного отчета.

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.

Соколов С.А., Гарипова С.Т., Бутанаев Ю.В., Зеленин Е.А., Юшин К.И., Овсюченко А.Н., Мазнев С.В. «Соотношение кайнозойских разрывных нарушений северо-востока Убсунурской впадины (респ. Тыва)» // *Геотектоника*.

### **Сведения о фактическом выполнении плана работы в отчетный период**

Полевой отряд в составе Соколова С.А., Юшина К.И., Сизова А.В., и Якимовой А.А. в период с 25.07.2023 по 23.08.23 провел экспедиционные работы в Монголии на Хангайском нагорье и на хребте Хан-Хухийн, разделяющем Хиргиснурскую и Убсунурскую впадины.

Целью работ на Хангайском нагорье было изучение новейшего вулканизма, его структурного положения, возраста, химизма, эволюции, изучение источников магматизма и геодинамической позиции. В долине реки Чулуут и в окрестностях озера Тэрхийн-Цагаан-Нур развиты основные вулканы, датируемые поздним миоценом – четвертичным временем. Они формируют хорошо оформленные в рельефе пирокластические и лавовые потоки, прорезанные рекой. Происходит закономерное омоложение вулканических построек с востока на запад, наиболее древние, миоценовые, постройки сосредоточены на востоке и северо-востоке, плиоценовые вулканические центры расположены в центральных областях, голоценовые постройки занимают наиболее западные территории.

На склоне плиоценового вулкана Суга был выбран участок детализации. Внутри участка выделяются пачки, в основании каждой – вулканическая брекчия, выше лавовый поток с ярко выраженной зоной закалки, представленной канатными лавами. Внутри каждого потока лав встречаются ксенолиты эллиптической формы, которые по предварительному петрографическому анализу соответствуют перидотитам и дунитам. Также в долине реки, был исследован мощный лавовый поток вблизи данного вулкана. Отобрана серия проб для проведения химических анализов, для получения К-Аг возраста, и образцы для изготовления шлифов. Отобраны прекрасно сохранившиеся ксенолиты, по составу отвечающие дунитам.

Были проведены работы по изучению и опробованию нескольких вулканов, расположенных южнее, а также лавовые потоки, формирующие террасу реки. Более подробно

исследован молодой вулкан Горго (окраина населенного пункта Тариат) и связанное с ним вулканическое плато. Из вулканических центров и лавовых потоков были отобраны образцы для получения геохимической и геохронологической (К-Аг метод) характеристики вулканитов (21 шт.), планируется изучить, в том числе, распределение редкоземельных элементов и изотопию неодима. Отобраны образцы для изготовления петрографических шлифов (26 шт), для изучения минерального состава пород. Собранный материал в данный момент проходит стадию пробоподготовки и изучения.

В литературе описывается Тариатский грабен субширотной ориентировки, контролирующей распространение этих вулканических построек. Полевые работы и дешифрирование материалов дистанционного зондирования не подтверждает присутствие такого рода разломов. Напротив, толща вулканитов не тектонизирована. Единственным примером деформаций является крупный комплекс основания вулкана Сур, которым выступает толща пирокластического материала, нарушенная системой разрывных нарушений сбросовой природы северо-восточной и северо-западной ориентировки. Залегание пород этого потока также не горизонтально, в нем можно выделить отчетливые анти- и синклинальные складки, с углами падения крыльев до  $20^\circ$ .

Полевые работы на хр. Хан-Хунийн включали в себя структурно-геологические, неотектонические и палеонтологические исследования.

Неотектонические исследования производились как на Южном склоне хребта, в его подножье, так и на северном. На южном склоне были изучены надвиговые структуры, нарушающие мезо-кайнозойские отложения. В обнажении Хартермес наблюдается удвоение разреза неоген-четвертичных отложений по надвигу северо-западного простирания ( $315^\circ$ ). Породы верхов свиты хиргис-нур (поздний миоцен-ранний плиоцен), а также туин-гол (поздний плиоцен-ранний плейстоцен) и гошу (средний плейстоцен) по тектоническому контакту надвинуты на аналогичный разрез (рис. 1). Плоскость разлома погружается на северо-восток под углом  $20^\circ$ . Над надвигом сформировалась пологая антиклиналь в неогеновых породах. В 300 м к северо-востоку на неоген-четвертичные породы надвинуты породы средней юры. Плоскость надвигания значительно круче, чем у разлома, описанного выше, до  $70^\circ$ , с выполаживанием в верхах разреза ( $45^\circ$ ) (рис. 2). Разлом имеет простирание  $290^\circ$  в месте измерения, уходя на северо-запад, становится параллельным первому. В зоне разлома зажат блок, сложенный породами свит туин-гол и гошу, залегающий субвертикально.

Этот надвиг прослежен далее на северо-запад, где расположено обнажение Хиргис-Нур 2. Как и в обнажении Хартермес, на комплекс кайнозойских отложений, в том числе четвертичных, надвинуты охристые песчаники и гравийные конгломераты средней юры. На них, в свою очередь, по тектоническому контакту покоится толща валунных вишнево-серых конгломератов нижней юры.

В 1.5 км к северо-востоку, вверх по разрезу, на юрские отложения надвигаются граниты среднего кембрия. Положение сместителя угадывается по высыпкам рыжих юрских пород, уходящим под зеленовато-серые палеозойские граниты. Плоскость надвигания простирается на северо-запад по азимуту  $310^\circ$ , угол падения сместителя предположительно около  $20^\circ$ . В палеозойские интрузивные породы вложены кайнозойские отложения, от среднего миоцена (красноцветные породы свиты ошин) до грубообломочных четвертичных толщ.

На северном склоне хребта Хан-Хухийн в его подножии обнаружены деформированные конусы выноса и русла временных водотоков позднеплейстоценового возраста. Деформации выражены тектоническими уступами высотой до 2 м фестончатой формы, отвечающими надвиговым деформациям.

Таким образом, в позднем плейстоцене продолжалось активное поднятие хребта Хан-Хухийн за счет надвигания горного сооружения на Хиргиснурскую и Убсунурскую впадины. Начало поднятия датируется поздним плиоценом – ранним плейстоценом, по-видимому, в это время происходит обособление обозначенных впадин, представлявших ранее единый бассейн.

В рамках стратиграфических исследований было продолжено изучение стратотипического разреза Хиргис-Нур-2, также были обследованы обнажения Хиргис-Нур-1, Могой-Булак и Хар-Термес.

Основные работы проводились на местонахождении Хиргис-Нур-2, отличающемся хорошей обнаженностью и содержащим наибольшее количество ископаемой фауны, что безусловно позволит лучше понять палеоэкологические и палеоклиматические условия формирования отложений, а также более точно определить их возраст. Здесь на озерных пестроцветных породах свиты ошин с размывом залегают отложения свиты хиргис-нур, имеющей двучленное строение. Пачка А представлена преимущественно аллювиальными породами русловых и пойменных фаций, богатыми фаунистическими остатками. Пачка Б отличается глинисто-карбонатным составом отложений озерного происхождения, эта пачка гораздо беднее фауной, но содержит больше палиноформ. Выше на свите хиргис-нур с размывом залегают породы свиты туин-гол, характеризующиеся частым переслаиванием гравелитов (со слабоокатанные обломками) с песчаниками и алевропесчаниками. Венчается разрез серыми грубообломочными отложениями, по всей вероятности, свиты гошу. Из разреза собран богатый фаунистический материал, преимущественно из пачки А свиты хиргис-нур, где были обнаружены многочисленные остатки крупных и мелких млекопитающих, птиц, рептилий, амфибий и рыб. В верхней части свиты ошин найдена линза, содержащая большое количество ископаемых остатков сухопутных черепах. Также были отобраны образцы на палинологию из разных стратиграфических уровней.

В этом году нами были изучены также близкий по составу разрез Могой-Булак, в котором обнажаются отложения свиты хиргис-нур и более молодых пород, и местонахождение Хиргис-Нур-1, где вскрывается наиболее представительный разрез свиты ошин, а отложения более молодых свит сокращены. К сожалению, эти обнажения оказались менее богаты фаунистическими остатками.

Собранный фаунистический материал позволяет уточнить стратиграфическое положение свиты хиргис-нур а также палеоэкологические обстановки, характерные для Котловины Больших Озер в позднемиоцен-четвертичное время. Полученные данные указывают на то, что хиргиснурская свита начала формироваться в конце туролия в позднем миоцене (начало MN13) и закончила формирование в середине русциния в раннем плиоцене (середина MN15), а граница миоцен-плиоцена в отложениях свиты проходит чуть ниже средней части пачки Б. Во время формирования отложений хиргиснурской свиты здесь существовал постоянный водоток и крупное озеро или серия озер, окруженные прибрежной лесной растительностью. В то же время, удаленные от озера участки, по всей видимости, окружала сухая степь.

С 15 июня по 26 июля группа в составе: А.Н. Овсученко; Ю.В. Бутанаев, Н.Г. Кошевой выполнила полевые структурно-геоморфологические, палеосейсмологические, сейсмогеологические и археосейсмологические исследования активных разломов Тувы и северо-западной Монголии (рис. 3). В рамках задачи (1) по определению соотношения субмеридиональных активных разломов Монгольского Алтая (в первую очередь Кобдинского и Цаган-Шибэтинского) с субширотными активными разломами Западного Танну-Ола и Шашшальского хребта, были проведены экспедиционные работы в северо-западной Монголии и юго-западной Туве. (2) В республике Тыва выполнены полевые работы на южном фланге крупнейшего Каахемского активного разлома в долине р. Малый Енисей (район п. Ужеп). Цель этих работ – определить соотношения Каахемского разлома с Енисейским активным разломом и Бусийнгольским меридиональным грабеном на севере Центральной Монголии. (3) Выполнены исследования активной тектоники Хемчикской впадины Тувы.

Работы были направлены на прослеживание и структурно-геоморфологический анализ различных позднекайнозойских геоморфологических уровней с выявлением их тектонических деформаций голоценового возраста. Помимо структурно-геоморфологического картирования работы сопровождались аэрофотосъемкой и тренчингом. Аэрофотосъемка проводилась с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА) с высоты 200-500 м в зависимости от условий и задач. Построенные при обработке полученных фотографий цифровые модели рельефа и аэрофотопланы позволили определить морфологию и количественные параметры тектонических деформаций в рельефе. Использование полученных и других дистанционных данных основано на морфологических методах – прежде всего выявление линейных зон (уступов, рвов, валов и т.п.), секущих и смещающих молодые формы

рельефа. На ключевых участках такие формы были изучены в горных выработках (траншеях и расчистках – т.н. тренчинг) с целью надежного установления тектонической природы смещений и восстановлением их истории и пространственных параметров. Археосейсмологические исследования были нацелены на выявление тектонических и сейсмически наведенных деформаций в архитектурных и погребальных памятниках древности, прямо указывающих на проявления позднеголоценовой тектонической активности.

В северо-западной Монголии работы проведены в районе г. Улангом и оз. Урэг-Нур, а на юго-западе Республики Тыва – в районе п. Саглы и горного массива Монгун-Тайга. В Монголии исследования выполнены на западном и восточном обрамлениях хр. Цаган-Шибэту, в прилегающих районах Убсунурской и Урэгнурской впадин и на западном окончании хр. Хан-Хухийн.

На западном окончании хр. Хан-Хухийн были закартированы и изучены в двух горных выработках северная и южная ветви Хангайского разлома. В зоне южной ветви изучен левый сдвиг древнего оборонительного сооружения, представленного рвом и валом. Вал сдвинут влево до 1 м, аналогичные смещения зафиксированы в стенках рва, здесь же задокументирована цветкообразная система разрывов в позднеплейстоцен-голоценовых отложениях. Северная ветвь изучена в карьере, где задокументирована система ступенчатых сбросов в молодых отложениях. Выяснено, что обе ветви не имеют прямого сочленения с зоной Цаган-Шибэтинского активного разлома. Сочленение имеет сложный характер и представлено сочетанием флексур и изолированных воздымающихся массивов, один из которых расположен на окраине г. Улангом.

В Убсунурской впадине был выявлен активный разлом субширотной (BCB) ориентировки, названный Хундлэнгольским по названию ближайшей крупной реки Хундлэн-Гол, впадающей в оз. Убсу-Нур. На поверхности конуса выноса одной из ранних генераций разлом выражен эшелонированной системой сильно сглаженных временем рвов и валов сжатия, образующих левосдвиговой структурный рисунок. В молодых пролювиальных отложениях в двух местах были изучены разрывы, представленные сочетанием узких (шириной 1-3 м) грабенов и валов. На восточном окончании разлом выражен в руинах средневекового городища двухкратным сдвигом стен. Здесь разрывы меняют ориентировку на СЗ и имеют правосдвиговую кинематику смещений. Можно полагать, что здесь расположено восточное окончание одноактного сеймотектонического разрыва. На западе разрыв утыкается в зону Цаган-Шибэтинского разлома, и сместившись к северу, продолжается Шапшальским разломом. Не исключено, что разрыв представляет собой восточный фланг крупной Шапшальской очаговой зоны сильнейшего ( $M \geq 8$ ) землетрясения. Общая длина Хундлэнгольского разрыва – 41 км.

На восточном обрамлении хребта Цаган-Шибэту изучена главная ветвь зоны одноименного активного разлома. Разлом имеет яркое выражение в виде предгорного уступа, нарушающего поверхность предгорного пролювиального шлейфа. На выходе долин рек Тургэн и Хархира из хребта Цаган-Шибэту обнаружены смещения курганов и древних оросительных каналов (рис. 4). В курганах выявлены вертикальные смещения до 1 м. В долине р. Хархира выявлен правый сдвиг древнего оросительного канала величиной 3.3 м. Восточнее поверхность Убсунурской впадины нарушена дугообразной серией уступов, деформирующих речные террасы и образующих ограничения небольших низкогорных массивов (форбергов).

На западном обрамлении хребта Цаган-Шибэту изучена очаговая зона Урэг-Нурского землетрясения 1970 г. с  $M_s=7.0$ . Наиболее яркие проявления очага расположены на склоне и в привершинной части небольшого горного массива Цагдул-Ула. Массив расположен в сложном тектоническом узле сочленения западной ветви Цаган-Шибэтинского и Шапшальского активным разломов. Разрыв имеет субширотное (ЗСЗ) простирание. В четырех местах определены величины правого сдвига при последнем событии величиной 0.8-1 м. Вкрест простирания разрыва пройдено две канавы. В разрезе разрыв представлен рвом, ограниченным ступенчатой системой сбросов, с более древними опущенными фрагментами древней дневной поверхности – палеопочвами, из которых отобран образец, датирующий последнее землетрясение. Длина разрыва небольшая – около 1 км. Однако в 8 км к северо-западу был изучен обновленный в недавнем прошлом сеймотектонический уступ, смещающий вправо на

величину до 0.5 м стенки современного загона для скота. Не исключено, что смещение произошло в 1970 г. Этот участок заслуживает дальнейших исследований. Здесь расположено юго-восточное окончание Шапшальского активного разлома, который был изучен ранее в юго-западной Туве, в долине р. Каргы. В этом районе Шапшальский разлом непосредственно сопрягается с ветвями Цаган-Шибэтинского разлома.

На севере монгольского участка исследований были закартированы структурно-геоморфологические проявления активных разломов южного подножия Западного Танну-Ола. Разломы представлены уступами длиной 5-15 км, образующими широкую полосу концентрированных деформаций вдоль южного подножия хребта. Уступы выражены на поверхности речных террас, пролювиальных шлейфов. В одном случае обнаружено вертикальное смещение кургана, что говорит о подвижке в историческое время, в позднем голоцене. Уступы имеют как продольную (СВ), так и поперечную (СЗ) ориентировку. Взбросо-надвиговые уступы на поверхности предгорного пролювиального шлейфа были закартированы в детальном масштабе с использованием БПЛА и на восточном фланге Южно-Таннуольской системы разломов, в южном подножии хр. Восточный Танну-Ола в южной Туве.

На юго-западе Тувы – в районе п. Саглы и горного массива Монгун-Тайга, расположен сложный узел сочленения активных разломов субширотной (Шапшальский разлом) и субмеридиональной (Кобдинский разлом) ориентировок. Кобдинский разлом представляет собой крупнейший правый сдвиг север-северо-западного простираения со скоростью голоценовых смещений 5-6 мм/год. На территории Монголии он относительно хорошо изучен, а вдоль него протрассирован сеймотектонический разрыв возрастом несколько сотен лет, общей протяжённостью 215 км, с горизонтальным смещением до 7 м (структура Ар-Хутел). Особый интерес представляет собой северное окончание Кобдинского правого сдвига в юго-западной Туве. Здесь крупная разломная зона трассируется вдоль долины р. Моген-Бурен. Обнаружен относительно короткий разрыв, секущий как поверхность водораздела, так и 1-ую надпойменную террасу р. Моген-Бурен, длиной около 3 км, природа которого требует дальнейшего исследования. Ответвление Устю-Ыйматинского разлома от Кобдинского может свидетельствовать о распространении сосредоточенных деформаций в северо-западном направлении, в сторону Чулышманского плато. По Устю-Ыйматинскому разлому выявлены только вертикальные смещения. Частичная компенсации горизонтальных перемещений по Кобдинскому разлому вертикальными характеризует Устю-Ыйматинский разлом как опасный с сейсмической точки зрения.

К западу от Кобдинского разлома изучено продолжение Ачитнурского активного разлома на территории Тувы. Здесь выявлен очень молодой (по морфологическим признакам возраст 100-150 лет) правосдвиговый сеймотектонический разрыв, представленный эшелонированной системой рвов глубиной до 2 м ССЗ простираения и валов высотой до 1 м СЗ ориентировки, общего ССЗ простираения (рис. 5). Длина сеймотектонического разрыва – не менее 20 км. Разрыв был изучен в канаве. Вскрыта цветкообразная структура, представленная грабеном, ограниченным ступенчатыми сбросами. В грабене выделены три горизонта палеопочв, из которых отобраны три образца на радиоуглеродное датирование.

В районе п. Саглы изучен тектонический уступ, ограничивающий с севера Саглынскую впадину. Уступ имеет сложное строение. На поверхности пролювиального шлейфа он образует четыре ступени, разделяющие участки с разным углом наклона поверхности шлейфа. Высота верхнего уступа – 1 м; средних – 2-3 м, нижнего – 1 м. Вдоль нижнего уступа обнаружено левосдвиговое смещение древнего оросительного канала величиной 0.6-1 м. Вдоль верхнего уступа зафиксировано левосдвиговое смещение уступа 1-ой надпойменной террасы величиной 3-5 м. Продольные уступы осложнены поперечными и диагональными правыми взбросо-сдвигами. Один из них был изучен в разрезе, где в опущенном крыле залегает захороненная палеопочва, маркирующая последнюю подвижку по всей разломной зоне. Из неё отобран образец на радиоуглеродное датирование.

В осевой части хр. Цаган-Шибэту выполнено рекогносцировочное исследование Барлыкского разлома. В долине р. Эйлиг-Хем, изучен правый сдвиг СЗ простираения, выраженный горизонтальным смещением конечной морены последнего оледенения величиной 31-34 м и ледникового трога величиной 33-35 м.

(2) На востоке Тувы, в долине р. Малый Енисей (район п. Ужеп) изучен Енисейский активный разлом субширотного простирания. Здесь, в левом борту р. Мал. Енисей к востоку от п. Ужеп изучена эшелонированная система уступов, отделяющих плоское и широкое днище долины от горного массива, общей длиной около 10 км. Уступы образуют местные базисы эрозии и секут конусы выноса ручьев, правых притоков р. Малый Енисей. На гребнях отрогов обнаруживаются левые сдвиги величиной в первые десятки м. Величина вертикального смещения увеличивается в восточном направлении. К востоку от п. Чодуралыг высота уступа на поверхности 1-ой надпойменной террасы р. Малый Енисей – не менее 2 м. В районе базы ТИКОПра разрыв был прослежен на поверхности 1-ой надпойменной террасы р. Малый Енисей. Высота его здесь не более 0.5 м. В песчано-глинистом аллювии пойменной фации изучен двухактный разрыв сдвиговой кинематики – вдоль него п на примере риходят в соприкосновение разные последовательности слоев. В раннем структурно-литологическом комплексе разрыв выполнен тектонической брекчией, представленной беспорядочными фрагментами песков и супесей. Вероятнее всего, смещение произошло в мерзлом состоянии. В позднем структурно-литологическом комплексе разрыв образует цветкообразную структуру.

В районе п. Усть-Элегест в зоне Улугхемского разлома, на восточном фланге Центрально-Тувинской системы разломов, изучен левый сдвиг трех курганов со смещением на 1.3 м. В районе г. Чадан выявлен выразительный сегмент Центрально-Тувинской системы активных разломов, заслуживающий детальных исследований. Разлом имеет субширотное (ВСВ) простирание. Основная компонента смещений – левый сдвиг, восстанавливается по выдвигению борта долины мелкого ручья на 48-50 м.

(3). В Хемчикской межгорной впадине, в районе г. Чадан, и в районе п. Усть-Элегест изучены сегменты одной из крупнейших структур Алтае-Саянского региона – Центрально-Тувинской системы активных разломов. В центральной части Хемчикской впадины выполнено структурно-геоморфологическое картирование и аэрофотосъемка, в результате чего замерен левый сдвиг уступа высокой надпойменной террасы р. Хонделен – 80-90 м. Сдвиг прослежен от долины р. Хонделен в долину р. Эдегей и её притока, и далее на восток, до г. Орта-Бош-Даг на правом берегу долины р. Хемчик. В долине р. Эдегей тыловой шов террасы смещен на 75-80 м, уступ – на 30-35 м. На горе Орта-Бош-Даг сдвиг образует серию рвов, расходящихся в виде структуры «конского хвоста», что позволяет предполагать здесь окончание Хемчикского сегмента Центрально-Тувинской системы активных разломов. Он был изучен в нескольких канавах, где получены калиброванные даты палеопочв, погребенных в опущенном крыле сейсмостектонического 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.

Отобранные образцы отправлены на анализ. Подготовка полученных данных к публикации планируется на 2024 год после получения результатов датирования отобранных образцов.

Также в этом году был выполнен комплекс аналитических работ по датированию образцов, полученных в рамках полевых работ 2022 года на радиоуглеродный анализ (8 образцов). Результаты датирования были использованы для написания статей по проекту.

В рамках задач по оценке скоростей смещения и времени начала активизации крупных левосдвиговых зон Монголии, Тувы и Юго-Западного Прибайкалья в течение плиоцен-четвертичного этапа формирования новейшей структуры региона (задачи №3 и №5 из плана работ), группа А.В. Аржанниковой провела экспедиционные работы в Туве и смежных областях



Северной Монголии с целью морфотектонического и палеосейсмологического изучения трех крупных активных разломов указанного региона: Каахемского, Саяно-Тувинского и Эрзино-Агардакского (рис. 6). Морфотектонические исследования заключались в построении цифровых моделей рельефа зон деформаций, определении кинематики разломов и амплитуд смещения. Палеосейсмологические исследования проводились методом тренчинга (заложение траншей) вкрест простирания разломов, с документированием разрезов и отбором образцов для датирования палеоземлетрясений.

Каахемский разлом имеет дугообразную в плане форму и меняет простирание от северо-восточного в западной части до субмеридионального – в восточной (рис. 6). Изучаемый участок Каахемского разлома длиной 10 км имеет северо-восточное простирание и является одной из кулис, обрамляющих с севера Уюкский хребет. На участке наблюдаются ярко выраженные левосторонние смещения долин, а также вертикальные деформации конусов выноса временных водотоков (рис. 7). На одном из тектонических уступов вкрест простирания Каахемского разлома была заложена траншея, на другом – шурф на поверхности конуса выноса временного водотока, смещенного по разлому. Траншея вскрыла коллювиально-пролювиальные отложения и погребенные палеопочвы, деформированные в зоне разлома (рис. 8). На основании изучения разреза выделено два палеосейсмических события и отобрано 8 образцов на радиоуглеродный анализ для определения их возраста. Шурф на поверхности деформированного конуса выноса был заложен с целью определения возраста последних пролювиальных отложений, после чего произошло тектоническое смещение конуса и начался врез в поднятое крыло разлома. На рис. 9 представлены фотографии шурфа и документация разреза. Отобран 1 образец на OSL-анализ из пролювиальных отложений и 2 образца на  $^{14}\text{C}$ -анализ из перекрывающей палеопочвы и субэаральных отложений для определения границ возраста начала деформации конуса выноса и, на основании этого, расчета скорости смещения по разлому.

Саяно-Тувинский разлом изучался в пределах Верхнетуранской палеосейсмодислокации, выявленной ранее (Вдовин, Зеленков, 1982) и частично изученной с помощью палеосейсмологического метода. В работе (Смекалин и др., 2001) опубликованы предварительные результаты тренчинга, однако окончательных выводов о скорости смещения и сейсмическом потенциале Саяно-Тувинского разлома сделано не было. Сейсморазрывы вдоль Саяно-Тувинского разлома восток-северо-восточного простирания закартированы на протяжении ~50 км. Наиболее ярко они представлены в верхнем течении р. Туран, где разлом пересекает долину реки и ее притоки. Морфологически сейсмоструктура в этом месте выражена уступом высотой от 0.6 до 3.5 м, обращенным к северу и север-северо-западу. Небольшие временные водотоки, являющиеся левыми притоками р. Туран, смещены в зоне разлома по левостороннему сдвигу с амплитудой до 12 м. Вкрест простирания уступа нами была заложена траншея для изучения внутренней структуры сейсмодислокации. Также было заложено два шурфа – один на поднятой по разлому террасе р. Шалбык-Бар (шурф 1), другой – в борту другого, безымянного, водотока, смещенного по левостороннему сдвигу (шурф 2), для определения возраста деформированных отложений и расчета вертикальной и горизонтальной скоростей смещения по разлому. Шурф 1 заложен в самой высокой части уступа, где вскрыт аллювий, после отложения которого река начала врезаться в поднятое крыло разлома. Из аллювия на глубине 1,2–1,4 м от поверхности отобран образец на OSL-анализ для определения его возраста и расчета скорости вертикального смещения по разлому за долгосрочный период (в пределах возраста террасы).

Траншея длиной 12 м заложена в тыловой части террасы в основании сейсмогенного уступа. В разрезе вскрыты делювиальные и коллювиальные отложения, а также лессовидные суглинки и несколько почвенных горизонтов (рис. 10). Отложения подвергнуты пликративным и дизъюнктивным деформациям. В разрезе зафиксировано 8 разрывных нарушений взбросо-сдвиговой кинематики и выделено 4 палеосейсмических события, ответственных за формирование сейсмоструктуры. В стенках траншеи было отобрано 9 образцов на радиоуглеродный анализ для определения возраста и периода повторяемости разрывообразующих землетрясений.

Шурф 2 заложен на месте пересечения разлома с долиной безымянного временного водотока – левого притока р. Туран. В этом месте наблюдается обратный уступ в склоне,

фиксирующий левостороннее смещение долин с амплитудой  $10\pm 3$  м. Сдвинуты как тальвеги, так и борта временных водотоков. Шурф заложен на месте 12-метрового сдвига и подпора одного из водотоков сейсмогенным уступом. В нижней части шурфа зафиксирован горизонт русловых отложений временного водотока мощностью 20–25 см. Нами было отобрано 2 образца на OSL-анализ из русловых и перекрывающих отложений для определения границ возраста начала деформаций этой долины и расчета скорости смещения по разлому.

Эрзино-Агардакский разлом изучался на двух участках, где представлены наиболее молодые сейсмогенные деформации – в центральной части на территории республики Тыва и на юго-западном окончании на территории Монголии (см. рис. 1). Палеосейсмогенная активизация Эрзино-Агардакского разлома также уже была предварительно изучена и дана оценка магнитуд палеоземлетрясений (Аржанников, Аржанникова, 2009), однако, поскольку этот разлом не вскрывался ранее траншеями, время их проявления, периоды повторяемости и скорости смещения по разлому остались не оцененными.

Сейсмогенные деформации на центральном участке Эрзино-Агардакского разлома изучались в основании небольшого хребта, где ярко проявлены вертикальные и горизонтальные левосдвиговые смещения молодых долин временных водотоков. В одной такой долине с амплитудой горизонтального смещения в  $\sim 6$  м заложена траншея вкрест простирания уступа. На рис. 11 представлены фотографии и документация стенок траншеи. В траншее вскрыты делювиальные и эоловые осадки и перекрывающие их почвенные горизонты. Отложения в стенках траншеи смещены по нескольким разломам. В целом, в разрезе выделено 2 палеоземлетрясения и отобрано 3 образца на OSL- и 3 образца на  $^{14}\text{C}$ -датирование для определения их возраста и расчета скоростей смещения по разлому.

Эрзино-Агардакский разлом в юго-западном направлении пересекает всю Убсу-Нурскую впадину и заканчивается в северном подножье хр. Хан-Хухэйн. Полевое изучение юго-западного окончания Эрзино-Агардакского разлома показало, что сам магистральный шов не несет следов голоценового обновления, а самые молодые деформации реализовались по оперяющему разрыву длиной  $\sim 40$  км, подходящему под острым углом к Эрзино-Агардакскому разлому (см. рис. 1). Сейсмогенные деформации представлены несколькими уступами на поверхности предгорной равнины. Наиболее ярко выраженный уступ высотой до 6 м пересекает множество долин постоянных и временных водотоков, стекающих с хр. Хан-Хухэйн в Убсунурскую впадину. Мы изучили два разреза в местах пересечения сейсмогенных деформаций с крупными долинами рек.

Траншея длиной 7 метров была заложена в стенке террасы одной из рек, пересекающих разлом. В разрезе наблюдаются аллювиальные и перекрывающие делювиальные отложения, а также лессовидные карбонатизированные супеси и палеопочвы (рис. 12). Отложения подвержены пликативным и дизъюнктивным деформациям. Все аллювиальные горизонты смяты в складки. Вышележащие горизонты подвержены только разрывным деформациям. В траншее вскрыты, как минимум, два палеосейсмических события, ответственных за формирование уступа. Первое – складкообразование и смещение по разломам F1 и F2, второе – по разломам F1, F3 и F5. Нами отобран 1 образец на OSL- и 8 образцов на  $^{14}\text{C}$ -датирование для определения возраста палеоземлетрясений и расчета скорости смещения по разлому.

Второй разрез изучался непосредственно в обнажении первой террасы в левом борту соседнего водотока (рис. 13). Высота террасы в поднятом крыле разлома составляет  $\sim 2,5$  м, в опущенном – 1,5 м. Разрез представлен, преимущественно, песчано-галечным аллювием, перекрытым тонким слоем лессовидных супесей и почвенным горизонтом. Как и в предыдущей канаве, в этом разрезе выявлены следы 2 палеоземлетрясений. Они представлены разрывами со смещением осадочных горизонтов. Разрыв F1 смещает нижнюю часть аллювия до середины разреза. Второе событие представлено разрывами F2, F3 и F4, рассекающими всю толщу отложений. Разрывы F3 и F4 формируют грабен в 5 м к северу от разлома F2. Разрывы деформируют все отложения, вплоть до почвенного горизонта. Максимальная амплитуда смещения внутри грабена составляет 20 см. Деформации соответствуют последнему событию, выявленному в предыдущем разрезе. Для подтверждения этого вывода был отобран образец на радиоуглеродное датирование из деформированного почвенного горизонта.

Отобранные образцы отправлены на анализ. Подготовка полученных данных к публикации планируется на 2024 год после получения результатов датирования отобранных во время экспедиции образцов.

Также в этом году был выполнен комплекс аналитических работ по датированию образцов, полученных в рамках полевых работ 2022 года на радиоуглеродный анализ (30 образцов) и OSL-анализ (4 образца) (отчеты прилагаются). Результаты датирования были использованы для написания статей по проекту.

С.Ю. Соколов и В.Г. Трифонов проанализировали вариации скоростей *P*-волн в Центральной и Юго-Восточной Азии. Хангайский внутримантийный плюм сопоставлен с другими аналогичными мантийными образованиями. Выделен субмеридиональный ряд внутримантийных плюмов, Хангайского, Тибетского и Мьянма–Юньнань, восходящих из верхней части нижней мантии (1200–1600 км). Выявлено их отличие от верхнемантийных образований плюмового типа. Исследованы соотношения кинематики внутримантийных и верхнемантийных плюмов в тыловых частях Зондской и Гималайской дуг с кинематикой сейсмогенных перемещений в этих дугах. Полученные результаты, оформленные в виде статьи, сданной в печать, изложены в разделе 1.4 отчета.

Выполненный А.В. Аржанниковой и ее соавторами анализ кинематики и скоростей позднеплейстоцен-голоценового смещения по активным разломам в пределах юго-западного фланга Байкальского рифта позволил оценить взаимосвязь разломов на стыке субширотных и субмеридиональных впадин. Обнаруженные структуры хорошо укладываются в модель деформаций растяжения между двумя крупнейшими сдвиговыми системами - Болнайской на юге и Тункинской на севере (рис. 13). Скорости левосторонних смещений по этим разломам (~3,1 мм/год для Болнайского (Rizza et al., 2015) и 1,1–3,9 мм/год для системы разломов, ограничивающих Тункинскую впадину (Ritz et al., 2018; Chebotarev et al., 2021; Arzhannikova et al., 2023) хорошо согласуются со скоростью опускания Дархадской впадины с учетом распределения растягивающих напряжений между Хубсугульским, Дархадским и Бусингольским грабенами. Полученные результаты изложены в опубликованной статье, охарактеризованной в разделе 1.4 отчета.

Тезисы доклада С.А. Соколова на Конгресс INQUA в Риме 14–20.07.2023 были приняты организаторами Конгресса, но поездка не состоялась из-за антироссийских санкций Евросоюза.

### **Сведения о достигнутых конкретных научных результатах в отчетном периоде**

Достигнутые научные результаты изложены в статьях, опубликованных, сданных в печать или подготовленных к сдаче. Одни из них представляют новые данные об отдельных активных разломах и проявлениях в них палеоземлетрясений или посвящены отдельным местонахождениям фауны, где новые находки уточнили неоген-четвертичную стратиграфию. В других статьях, наряду с представлением новых данных об активной тектонике, палеосейсмичности или биостратиграфии новейших отложений содержатся более широкие обобщения. В третьих статьях делаются сопоставления новейшей и активной тектоники со строением мантии Центральной и Юго-Восточной Азии.

Статьи, сданные в печать или подготовленные к сдаче в 2023 г.:

Трифонов В.Г., Соколов С.А., Овсяченко А.Н., Соколов С.Ю., Бутанаев Ю.В., Юшин К.И., Кошевой Н.Г.. Активные разломы севера Центральной Монголии, их соотношения с новейшей структурой и глубинным строением региона. – Статья подготовлена к сдаче в журнал «Геотектоника».

В статье рассматривается система активных разломов севера Центральной Монголии от субширотного Хангайского (Болнайского) левого сдвига на юге до Тункино-Мондинской левосдвиговой зоны на севере. Здесь находятся два крупных левых сдвига восток-северо-

восточного простираения с подчиненной вертикальной компонентой смещений – Эрзин-Агардагский и Цэцэрлэгский, оперяющие Хангайский разлом, и ряд субмеридиональных грабенов растяжения – Бусийнгольский, Дархатский и Хубсугульский (с запада на восток). Эрзин-Агардагский разлом примыкает на северо-востоке к южной части Бусийнгольского грабена, а Хубсугульский грабен примыкает на севере к западной части Тункино-Мондинской зоны. Показано, что указанный ряд грабенов представляет собой зону левосдвиговых деформаций, которая связывает два крупных левых сдвига (Эрзин-Агардагский и Тункино-Мондинскую зону) и выполняет ту же кинематическую роль. Замещение сдвигов грабенами происходит над осью Хангайского внутримантийного плюма, где мантийная часть литосферы редуцирована. Ревизия ранее полученных радиоуглеродных дат из зоны Хангайского разлома показала, что за последние ~5000 лет интервалы времени между сильными землетрясениями варьировали от ~250 до ~1200 лет, составляя в среднем ~800 лет, а средняя скорость сдвига могла достигать 7–8 мм/год. Выявлены и датированы радиоуглеродным методом следы палеоземлетрясений на западном борту Хубсугульского грабена и в зоне Цэцэрлэгского разлома.

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. – Статья сдана в журнал «Стратиграфия. Геологическая корреляция».

Работа посвящена описанию позднемиоценового стратотипического разреза Хиргис-Нур-2 в Северо-Западной Монголии в котором обнажаются породы миоцен-четвертичного возраста. Базируясь на биостратиграфии, пересмотре ранее обнаруженной фауны, а также новых данных по геологии, полученных в результате полевых работ 2022-2023 гг., было уточнено время формирования хиргиснурской свиты, широко распространенной в Котловине Больших Озер. Хиргиснурская свита имеет ярко выраженное двучленное строение. Нижняя часть (пачка А) представлена преимущественно аллювиальными сериями, содержащими остатки крупных и мелких млекопитающих, птиц, рептилий, амфибий и рыб. Здесь, в 70-80-х годах прошлого века, была собрана коллекция микро- и макрофауны, однако некоторые группы были представлены в работах лишь на уровне списков. Возраст пачки был предварительно определен как ранний плиоцен. Однако позднее время формирования нижней части пачки было определено как терминальный миоцен. Вышележащая пачка Б и верхняя часть пачки А оставались в плиоцене. Пачка Б представлена преимущественно озерными осадками. В ней нет большого скопления макроостатков фауны. Здесь встречаются в основном остатки рыб, однако присутствуют хорошие спорово-пыльцевые комплексы. В результате проведенных работ, мы считаем, что хиргиснурская свита начала формироваться в конце туролия в позднем миоцене (начало MN13) и закончила формирование в середине русциния в раннем плиоцене (середина MN15), а граница миоцен-плиоцена в отложениях свиты проходит чуть ниже средней части пачки Б. Мы предполагаем, что на территории Котловины Больших Озер вплоть до позднего плиоцена не существовало расчлененного горного рельефа, о чем говорит отсутствие грубообломочного материала в отложениях миоцена – раннего плиоцена, а также идентичный состав и строение отложений, выполняющих Хиргиснурскую и Убсунурскую впадины. Фаза интенсивного горообразования начинается здесь с позднего плиоцена, что выражается в резкой эрозионной границе между нижне- и верхнеплиоценовыми породами и в преобладании грубообломочных пролювиальных отложений в более молодых толщах (свиты туин-гол и гошу). По-видимому, наиболее интенсивные тектонические деформации южный склон хр. Хан-Хухэй испытал в четвертичное время, что привело к формированию многочисленных субпараллельных надвиговых пластин, известных на северном берегу оз. Хиргис-Нур [Девяткин и др., 2000]. В строении надвигов принимают участие породы от среднего кембрия до среднего плейстоцена, следовательно, подвижки по разломам происходили в позднем плейстоцене. Это позволяет считать надвиги, обнаруженные в основании южного склона хребта Хан-Хухэй активными.

Соколов С.Ю., Трифонов В.Г. Дуговые структуры и строение верхней мантии Центральной и Юго-Восточной Азии. – Сдана в журнал «Геотектоника».

В статье рассматриваются объемы мантии, которые характеризуются пониженными для соответствующих глубин значениями скоростей *P*-волн и интерпретируются как разуплотненные и относительно разогретые. Наряду с ранее описанными Хангайским и Тибетским внутримантийными плюмами, восходящими из верхов нижней мантии, выделен еще один подобный плюм, Мьянма–Юньнань, восходящий с глубины ~1500 км (рис. 14). Он имеет сложную конфигурацию, и его южная ветвь прослеживается далеко на юг, где объем верхней мантии, рассеченный слэбом Зондской островной дуги, может быть ответвлением этого плюма или отдельным плюмом, восходящим с глубины ~1200 км. Указанные плюмы образуют субмеридиональный ряд. На уровне низов верхней и верхов нижней мантии выявлены каналы связи между плюмами. Над ними происходит поднятие земной поверхности. На юго-востоке Азии выделяются также горячие объемы мантии под островными дугами и задуговыми морями. Они охватывают верхнюю мантию и не распространяются глубже ее переходного слоя, будучи результатом верхнемантийной конвекции. В отличие от внутримантийных плюмов, низкоскоростные верхнемантийные объемы не сопровождаются поднятием земной поверхности. Исследованы направления сейсмических подвижек при землетрясениях в районе Зондской островной дуги и дуги Гималаев. Установлено, что в обеих дугах, наряду с пододвиганием Индийской плиты, присутствует и, возможно, доминирует надвигание дуги, нормальное к ее фронту и направленное в сторону пододвигающейся плиты. В Зондской дуге надвигание сочетается с обилием «горячих» и разуплотненных мантийных масс, связанных как с плюмом Мьянма–Юньнань, так и с верхнемантийными низкоскоростными образованиями Андаманского задугового моря, ответственными за его растяжение (рис. 15). В тылу Гималайской дуги находятся Тибетский плюм и область растяжения Тибета. Возможно, в обоих случаях тыловое растяжение, связанное с разуплотнением, обусловило надвигание дуги.

Овсяченко 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. – Сдана в журнал «Фмзика Земли».

Опубликованные статьи:

Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., Ritz J.-F., Chebotarev A.A., Yakhnenko A.S. Earthquake geology of the Mondy fault (SW Baikal Rift, Siberia) // Journal of Asian Earth Sciences. 2023. V. 248. 105614. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2023.105614>

Мондинский разлом – это 90-километровая широтная активная структура, принадлежащая юго-западной части Байкальской рифтовой системы и связывающая Тункинскую впадину на востоке с Хубсугульским рифтом на западе. Разлом хорошо выражен в рельефе и формировался в течение неогена в трансенсивном режиме (левый сбросо-сдвиг) одновременно с раскрытием Байкальского рифта. 4 апреля 1950 г. Активность разлома произвела сильное землетрясение с моментной магнитудой  $M_w=6.9$  и левосдвиговым фокальным механизмом. Наряду с другими структурами Тункинской впадины, такими как Тункинский и Саянский разломы, Мондинский разлом представляет сейсмическую опасность для таких городов региона, как Иркутская агломерация (1 млн человек). Чтобы характеризовать его потенциальную активность, мы соединили морфотектонические и палеосейсмологические исследования на двух участках, соответственно, в восточной и западной частях разлома. Наши исследования показали, что кумулятивные левосдвиговые перемещения сопровождаются значительной взбросовой компонентой. Это показывает, что существовавшая прежде в неогене сбросовая вертикальная компонента преобразилась во взбросовую, вслед за инверсией тектонического режима, выявленной на юго-западе района Байкальского рифта в позднем плейстоцене – голоцене. Мы оценили скорость сдвига вдоль разлома в 0.9–1.5 мм/год в последние ~13 тыс. лет и идентифицировали четыре крупных сейсмических события, вызвавших подвижки по разлому с минимальной магнитудой 7.4 и разделенных средними интервалами повторяемости 3.9–4.6 тыс. лет.

Arzhannikova A.V., Arzhannikov S.G., Chebotarev A.A., Nomin-Erdene E. Morphotectonics and paleoseismology of the North Darhad fault (SW Baikal Rift, Mongolia). *Journal of Asian Earth Sciences*, 2024, V. 259, 105882. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2023.105882>

Юго-Западный фланг Байкальского рифта проявляет высокую сейсмическую активность на современном этапе. Два наиболее крупных землетрясения 04.04.1950 с  $M_w 6.9$  и 11.01.2021 с  $M_w 6.7$  произошли в Тункинской и Хубсугульской впадинах по Мондинскому и Хубсугульскому разломам, соответственно (Delouis et al., 2002; Liu et al., 2021) (рис. 16 А). Дархадская впадина (рис. 16 В) является наименее сейсмически активной среди впадин Юго-Западного фланга Байкальского рифта. Так, за инструментальный период здесь были зафиксированы лишь слабые землетрясения с магнитудой меньше 5 (Radziminovich et al., 2016). При этом в зоне Северо-Дархадского разлома были обнаружены сейсмогенные деформации, свидетельствующие о проявлении сильных землетрясений в прошлом (Кочетков и др., 1993). Детальные исследования, связанные со вскрытием разлома, определением кинематики подвижек, датированием палеосейсмических событий, оценкой периодов их повторяемости и скоростей смещения по разлому до настоящего времени не проводились. Мы провели полный комплекс морфотектонических и палеосейсмологических исследований структуры Джара-Гол в зоне Северо-Дархадского разлома, что позволило установить параметры палеосейсмических событий, пригодные для оценки сейсмического потенциала разлома.

Результаты исследований позволили определить сбросовый тип смещения по разлому и выделить два палеосейсмических события, которые произошли в зоне Северо-Дархадского разлома. Датирование органических остатков, обнаруженных в разрезе, позволило оценить голоценовый возраст палеоземлетрясений и ограничить скорость вертикального смещения по Северо-Дархадскому разлому между  $0,3 \pm 0,06$  и  $0,6 \pm 0,12$  мм/год за последние ~8,4 тыс. лет. Полученные морфотектонические и палеосейсмологические данные свидетельствуют о том, что Северо-Дархадский разлом способен генерировать землетрясения с магнитудой 7 со средним периодом повторяемости ~3,5 тыс. лет.

Сравнение возрастных границ двух последних разрывообразующих землетрясений, зарегистрированных для трех разломов, контролирующих развитие соседней Тункинской впадины (Мондинского, Тункинского и юго-восточного окончания Главного Саянского), и значений, полученных для Северо-Дархадского разлома, позволяет предположить, что все эти разломы могли вскрываться одновременно или во время региональных сейсмических кластеров (рис. 17). Наше исследование подтверждает идею о том, что в региональном масштабе землетрясения, вероятно, происходят во временных кластерах продолжительностью в несколько десятилетий, оставляя после себя длительные периоды затишья. Мы показали, что такое поведение характерно не только для исключительно сильных землетрясений ( $M \geq 8$ ), как это было продемонстрировано для Монголии на разломах, разделенных в пространстве на 400 км (Chery et al., 2001; Pollitz et al., 2003; Rizza et al., 2015), но и за счет землетрясений  $M 7-7,5$  в масштабе юго-западного фланга Байкальского рифта, где разломы расположены на расстоянии друг от друга от десятков до 250 км. Это указывает на то, что общее воздействие передачи статического напряжения сильно зависит от магнитуды землетрясения.

Оценка скоростей смещения по Северо-Дархадскому разлому позволила определить возраст Дархадской впадины в пределах 3,3–6,5 млн лет. Полученные возрастные ограничения в совокупности с литературными данными о возрасте отдельных хребтов и впадин в районе юго-западного фланга Байкальского рифта показали практически одновременное начало формирования разломно-блоковой структуры региона на стадии «быстрого рифтинга». С этого времени впадины и хребты юго-западного фланга Байкальского рифта, в частности Дархадская, Хубсугульская и Тункинская, стали развиваться как системы грабен/горст, контролируемые бортовыми разломами.

Овсяченко А.Н., Дэмбэрэл С., Бутанаев Ю.В., Кошевой Н.Г., Батсайхан Ц., Баатар Н. Хубсугульское землетрясение 12.01.2021 с  $M_w = 6.7$  в Северной Монголии: геологические эффекты и тектоническая позиция очага // ДАН. Науки о Земле. 2023. Т. 511, № 1. С. 65–70. DOI: 10.31857/S2686739723600455, EDN: RYKIPL

Изучены и закартированы геологические эффекты Хубсугульского землетрясения 12.01.2021 г. с  $M_w = 6.7$ , ставшего сильнейшим в Прихубсугулье на инструментальном этапе сейсмологических наблюдений. С использованием шкалы ESI-2007 околонульная эпицентральная зона с интенсивностью 8 баллов. Выход очага землетрясения на поверхность представлен правосторонним сбросо-сдвигом с амплитудой смещения до 20 см, обновившим позднеголоценовый тектонический уступ в западном борту Хубсугульской рифтовой впадины. Динамика разрывообразования в позднем голоцене свидетельствует о постепенном разрастании впадины за счет деструкции прилегающего горного массива. Данные спутниковой интерферометрии и сейсмологических наблюдений хорошо согласуются с результатами полевых исследований, что позволяет рассматривать выделенную область максимальных сотрясений в качестве проекции верхней части очаговой зоны на поверхность.

Овсюченко А.Н., Бутанаев Ю.В., Кошевой Н.Г. 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, EDN: FZJRAT

В статье изложены результаты исследований локализации очага сильного исторического землетрясения в Центральной Туве. Исследования проводились с использованием структурно-геоморфологических, палеосейсмологических и историко-сейсмологических методов. Первичные сведения об очаге и его положении найдены в фольклорных источниках, имеющих топонимическую привязку, с использованием которой следы землетрясения были обнаружены и закартированы на местности. Следы землетрясения представлены сеймотектоническими разрывами в зоне Улугхемского активного разлома и сейсмогравитационными образованиями. Предварительная датировка события – 1715–1758 гг., магнитуда –  $M_w = 6.5–7.0$ . Интенсивность землетрясения в эпицентре достигла 8–9 баллов по шкале ESI-2007. В зоне Улугхемского активного разлома закартированы последствия катастрофического взрыва 1950 г., который привел к человеческим жертвам и разрушениям. Результаты проведенных исследований позволили четко определить северную границу Кызыльской межгорной впадины как разломную с взбросо-надвигово-левосдвиговой кинематикой смещений в голоцене, а выявление эпицентральной зоны исторического землетрясения важно для оценки сейсмической опасности густонаселенного района Республики Тыва.

Alexander Sizov, Alexey Klementiev and Pierre-Olivier Antoinec. An Early Miocene skeleton of *Brachydiceratherium Lavocat, 1951* (Mammalia, Perissodactyla) from the Baikal area, Russia, and a revised phylogeny of Eurasian teleoceratines. – bioRxiv preprint. Doi: <https://doi.org/10.1101/2022.07.06.498987>

Бегемотоподобные носороги телеоцератины были заметным компонентом фауны млекопитающих голарктического миоцена, но их филогенетические взаимоотношения до сих пор остаются малоизученными. Раскопки в нижнемиоценовых отложениях острова Ольхон (местонахождение Тагай, Восточная Сибирь; 16–18 млн лет назад) открыли уникальное окно в малоизвестную раннюю историю экосистем озера Байкал, в частности, благодаря находки целого скелета телеоцератинового носорога *Brachydiceratherium shanwangense*. Его остатки дают новое представление о черепе и посткраниальной морфологии этого вида. В представленной статье новый материал сравнивается с другими евразийскими представителями этой группы, а взаимоотношения внутри телеоцератин исследуются посредством филогенетического анализа. В результате чего было показано, что *Diaceratherium Dietrich, 1931* (ранний миоцен, Западная Европа) оказался монотипным и выделен как самое раннее телеоцератиновое ответвление. Другие роды имеют более одного вида и также оказываются монофилетическими: *Prosantorhinus Heissig, 1974* (ранний миоцен, Евразия) + *Teleoceras Hatcher, 1894* (миоцен, Северная Америка), образующие сестринскую кладу *Brachypotherium Roger, 1904* (миоцен, старая Мир) + *Brachydiceratherium Lavocat, 1951*). Мы считаем, что *Brachydiceratherium* включает восемь видов, охватывающих период от позднего олигоцена до позднего миоцена в Европе и Азии. Все роды телеоцератин, за исключением *Diaceratherium*,

охватывают значительные географические и стратиграфические ареалы, что, вероятно, связано с их ультрауниверсальными экологическими предпочтениями.

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 (республика Тыва, Россия) // Геотектоника. 2023. №1. С. 93–112. DOI: 10.31857/S0016853X23010071, EDN: ELGHIF

Представлены новые данные об олигоцен–четвертичных отложениях, новейшей (неоген–четвертичной) структуре и активных разломах северного борта Убсунурской впадины на ее границе с хребтом Танну-Ола, основанные на структурном дешифрировании материалов дистанционного зондирования (МДЗ) и полевых работах 2020–2021 гг., включая тренчинг активных разломов. На севере Убсунурской 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 в себя Южно-Таннуольский и Эрзин-Агордагским разломы, секущие структуры первого парагенезиса и активные в позднем плейстоцене и голоцене. Эпохи интенсивного развития парагенезисов сменяют друг друга во времени.

Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Соколов С.А., Мазнев С.В., Юшин К.И., Demberel S. Хангайский внутримантийный плюм (Монголия): 3D модель, влияние на кайнозойскую тектонику и сравнительный анализ // Геотектоника. 2023. № 6. С. 94–129. DOI: 10.31857/S0016853X23060073, EDN: GFPLXF

Данная статья была внесена в список публикаций как принятая к печати в “Journal of Asian Earth Sciences” на основании справки редакции. Однако эта публикация не состоялась, поэтому статья была представлена в журнал «Геотектоника», где и была опубликована с указанными выходными данными.

Хангайский плюм расположен под Центральной и Восточной Монголией и соответствует объему мантии с существенно пониженными скоростями продольных ( $P$ ) волн. Плюм выделен в результате анализа объемной модели MITP08 вариаций скоростей  $P$  волн, выраженных отклонениями этих скоростей от средних для соответствующих глубин значений в процентах. Над плюмом литосферная мантия утонена до ~50 км. Особенно низкие скорости (до –6%) обнаружены в подлитосферной мантии до глубины 400 км. Основное тело плюма находится под Хангайским нагорьем и распространяется на север до края Сибирской платформы. Хэнтэйская ветвь плюма выделена юго-восточнее Хэнтэйского нагорья. Она связана с основным телом плюма на глубинах 800–1000 км. Ответвления плюма и его Хэнтэйской ветви распространяются в Забайкалье. Размеры плюма уменьшаются с глубиной, и его самая глубокая часть (1250–1300 км) находится под южной частью Хангайского нагорья.

Главному телу Хангайского плюма соответствует на земной поверхности кайнозойское поднятие высотой до 3500–4000 м на юге Хангайского нагорья. С юго-востока территория Хангайского плюма и его Хэнтэйской ветви ограничена позднекайнозойскими прогибами, протягивающимися вдоль юго-восточной границы Монголии. С других сторон Хангайское поднятие ограничено С-образным поясом впадин, состоящим из юго-восточной части Байкальской рифтовой зоны, Тункинской и Тувинской 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, заложенные не позднее раннего палеогена, стали частью Байкальского рифта, а другие впадины были вовлечены в общее поднятие региона. Структурный парагенез Хангайского поднятия и обрамляющих впадин обусловлен воздействием Хангайского плюма. Над плюмом с его Хэнтэйской и Забайкальскими ветвями происходил кайнозойский базальтовый вулканизм плюмового типа, местами наследующий меловые вулканические проявления. Плюмовый структурный парагенез сочетается со структурным парагенезом, производным от взаимодействием плит и блоков литосферы,



который выражен активными разломами, но развивался синхронно с плюмовым парагенезом. Кинематика активных разломов показывает, что западная и центральные части региона развиваются в условиях транспрессии, а северо-восточная часть – в условиях растяжения и транстенсии.

Хангайский плюм связан на глубине с Тибетским плюмом, расположенным под центральной и восточной частями Тибета севернее блока Лхаса. Тибетский плюм восходит с глубин 1400–1600 км и сопровождается утонением литосферы и подъемом земной поверхности. Хангайский и Тибетский плюмы представляют особую категорию плюмов, которые поднимаются из верхов нижней мантии и этим отличаются от верхнемантийных плюмов и Африканского и Тихоокеанского суперплюмов, восходящих от границы ядра и мантии. Возможна связь Хангайского и Тибетского плюмов с ответвлениями суперплюмов, но допускается и их независимое происхождение.

Рисунки на следующей странице



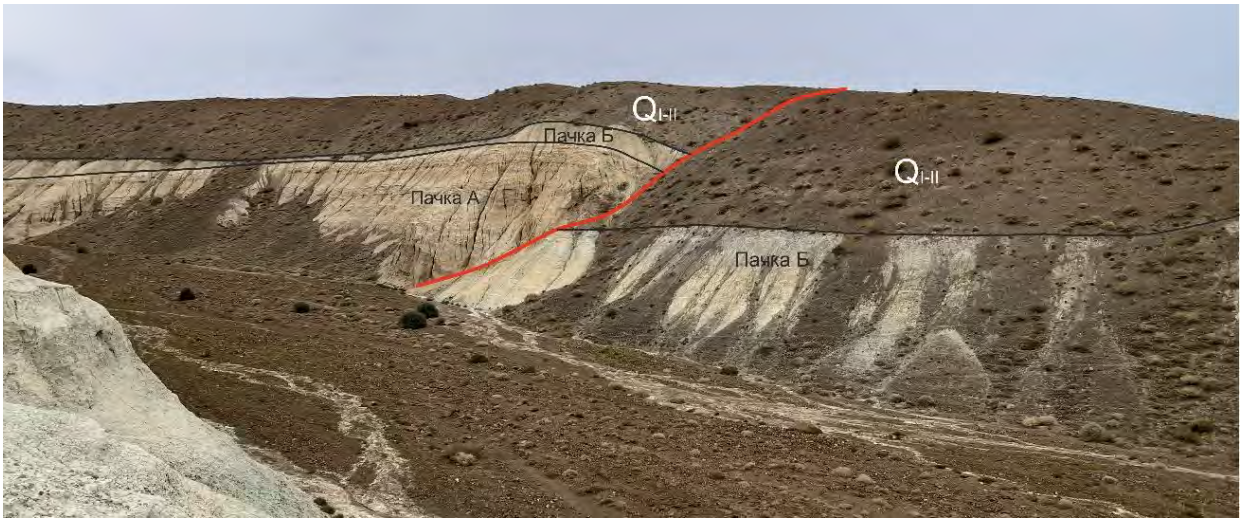


Рис. 1. Надвиг в неоген-четвертичных отложениях на северном берегу оз. Хиргис-Нур, южное подножье хребта Хан-Хухийн, обнажение Хартермес



Рис. 2. Надвигание юрских пород на разрез неоген-четвертичных отложений, субвертикальное залегание пород свиты туин-гол. Обнажение Хартермес



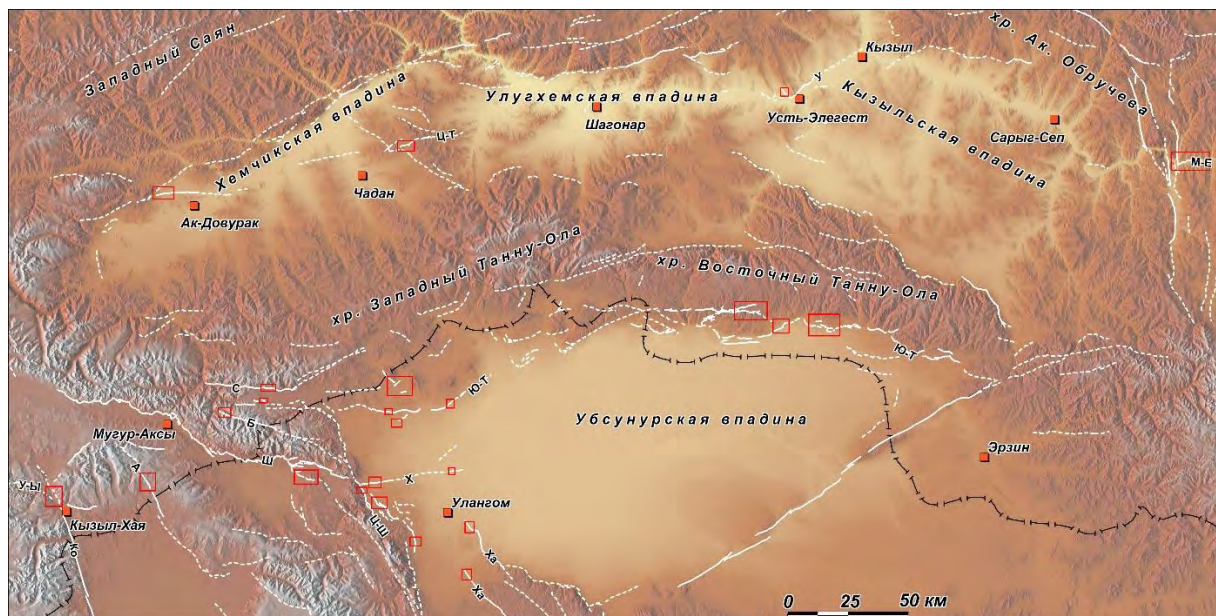


Рис. 3. Активные разломы (сплошные линии изученные в результате сеймотектонических исследований, штриховые по структурно-геоморфологическим и дистанционным данным) с участками полевых исследований.

Разломы: М-Е Мало-Енисейский; У Улугхемский; Ц-Т Центально-Тувинский; Ю-Т Южно-Таннуольский; С Саглынский; Б Барлыкский; А Ачитнурский; У-Ы Усто-Ыйматинский; Ко Кобдинский; Ц-Ш Цаган-Шибэтинский; Ш Шапшальский; Ха Хангайский; Х Хундлэнгольский



Рис. 4. Правый сдвиг древнего оросительного канала в зоне Цаган-Шибэтинского разлома, долина р. Хархира.





Рис. 5. Молодой сеймотектонический правый сдвиг. Ачитнурский активный разлом

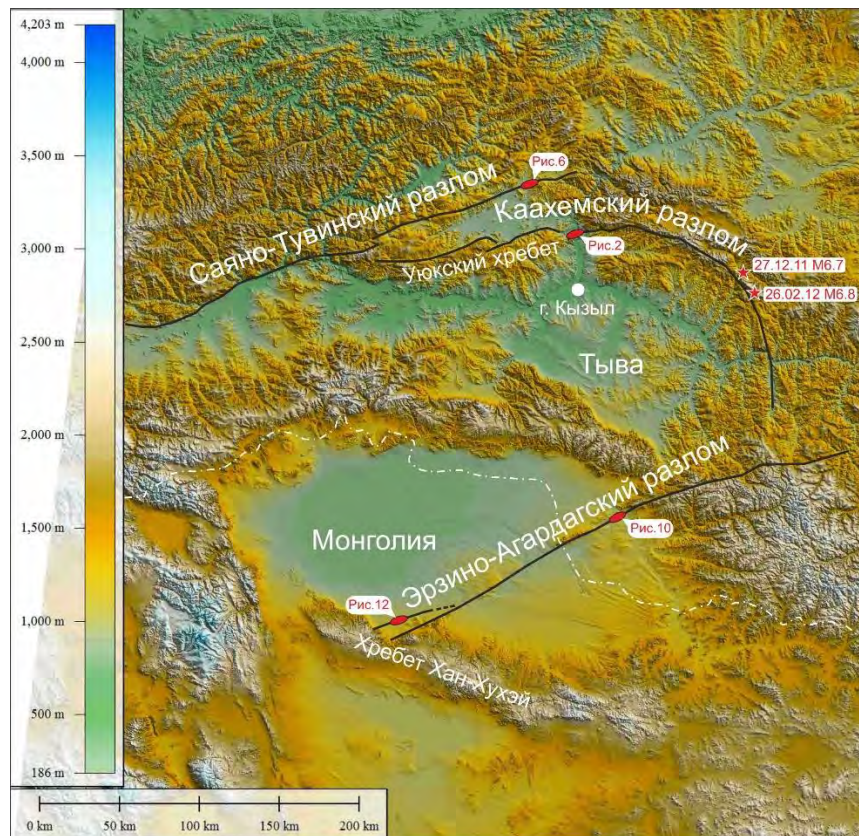


Рис. 6. Расположение изучаемых разломов на территории республики Тыва и Северной Монголии. Красными овалами обозначены участки полевых исследований. Звездочками показаны эпицентры крупнейших землетрясений республики Тыва за инструментальный период наблюдений.



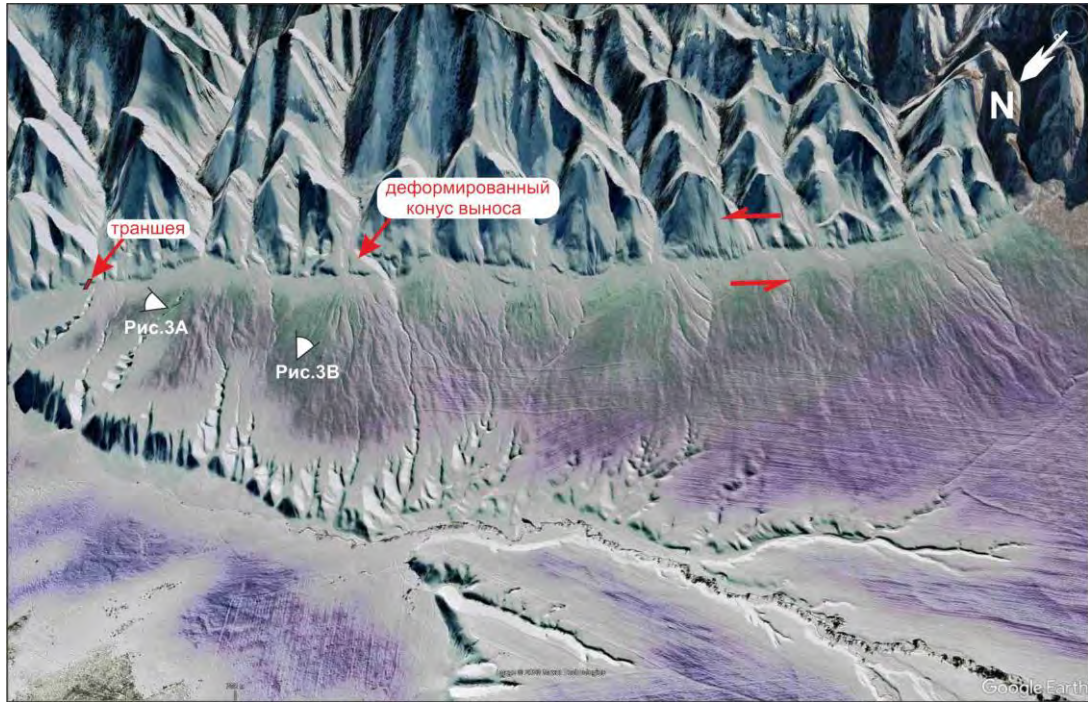


Рис. 7. Общий вид изучаемого отрезка центральной части Каахемского разлома на космоснимке Google Earth.

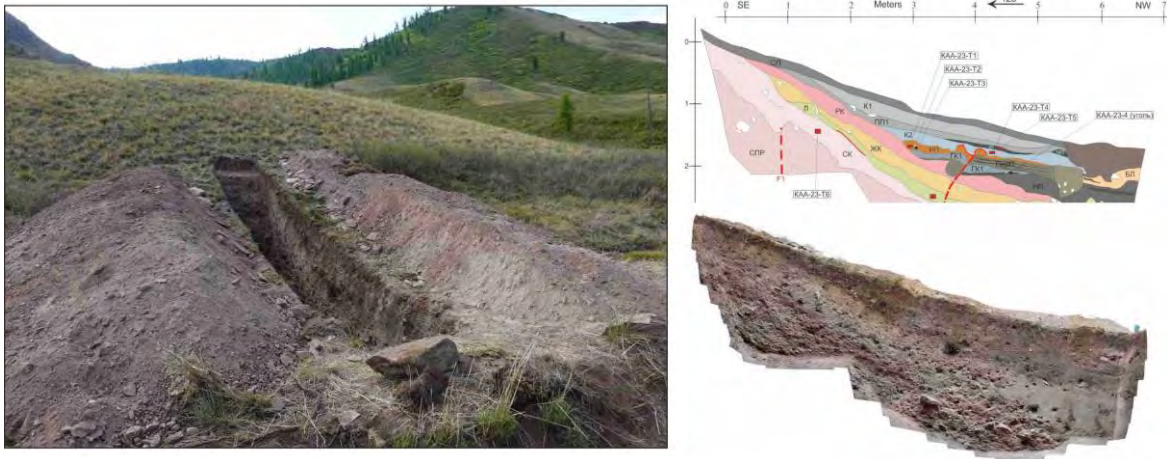


Рис. 8. Фотография и документация траншеи, пройденной вкрест простирания сейсмогенного уступа на центральном участке Каахемского разлома.



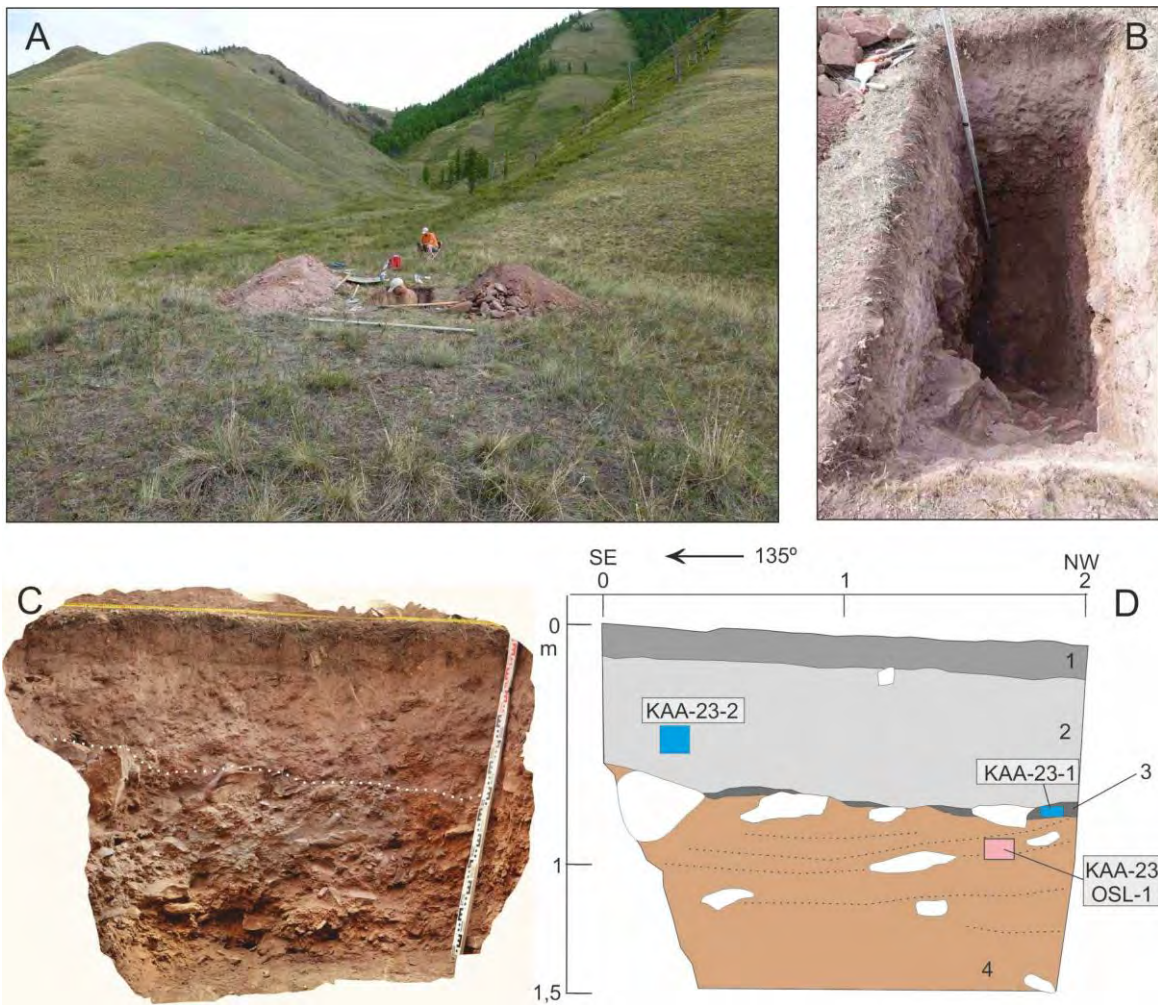


Рис. 9. А,В - фото шурфа, заложенного на поверхности деформированного конуса выноса в зоне Каахемского разлома; С,Д - фото и документация разреза в стенке шурфа. Белым пунктиром показана верхняя граница пролювиальных отложений.

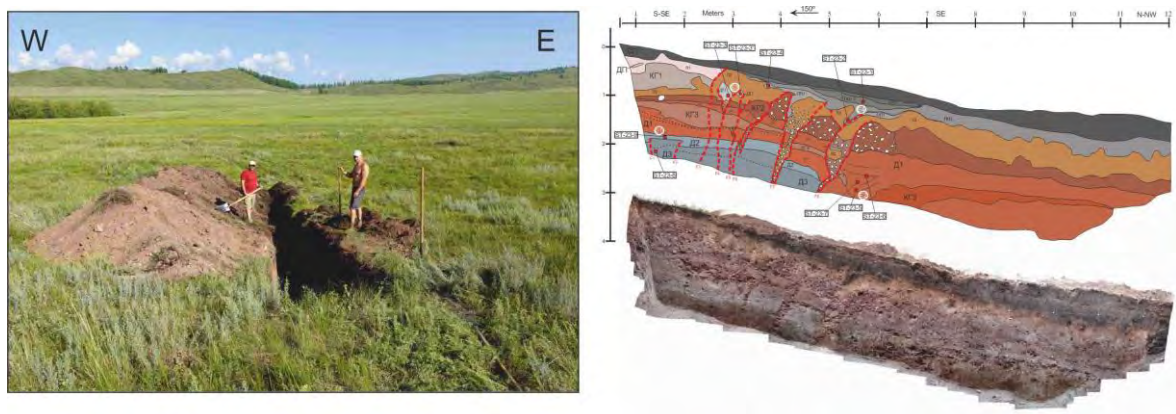


Рис. 10. Фотография и документация траншеи, пройденной вкост простираия сейсмогенного уступа Верхнетуранской сейсмодислокации на Саяно-Тувинском разломе.

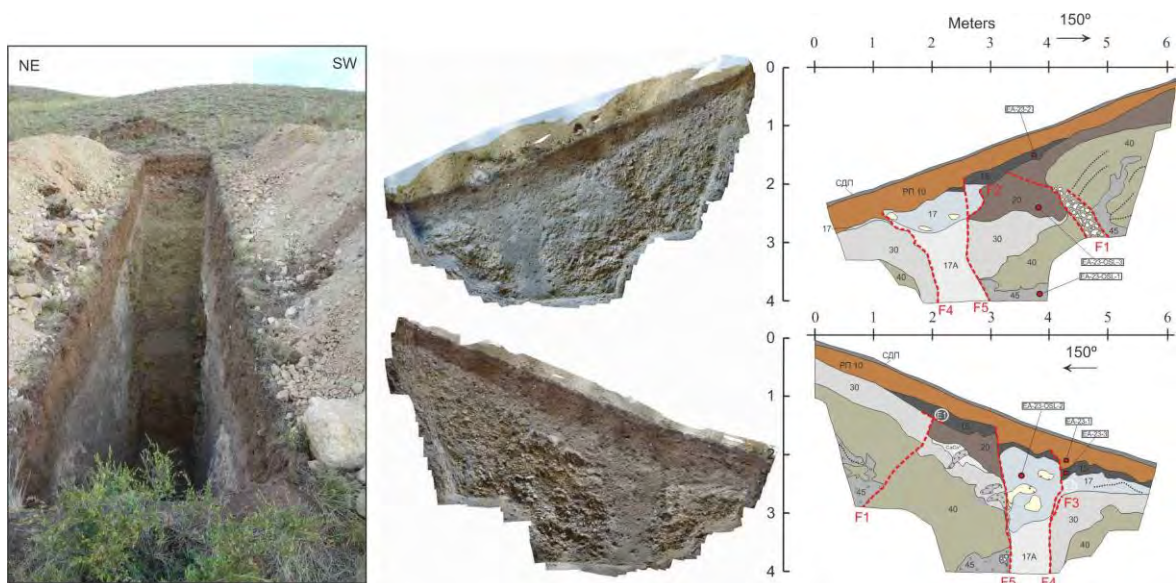


Рис. 11. Фотография и документация стенок траншеи, пройденной вкрест простирания сейсмогенного уступа в центральной части Эрзино-Агардакского разлома.

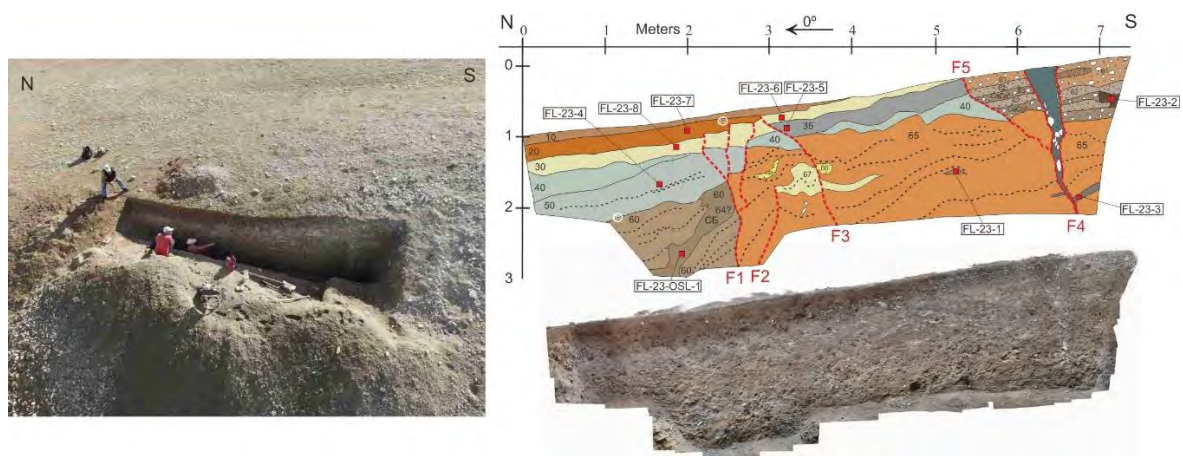


Рис. 12. Фотография и документация траншеи, пройденной вкрест простирания сейсмогенного уступа в районе юго-западного окончания Эрзино-Агардакского разлома.



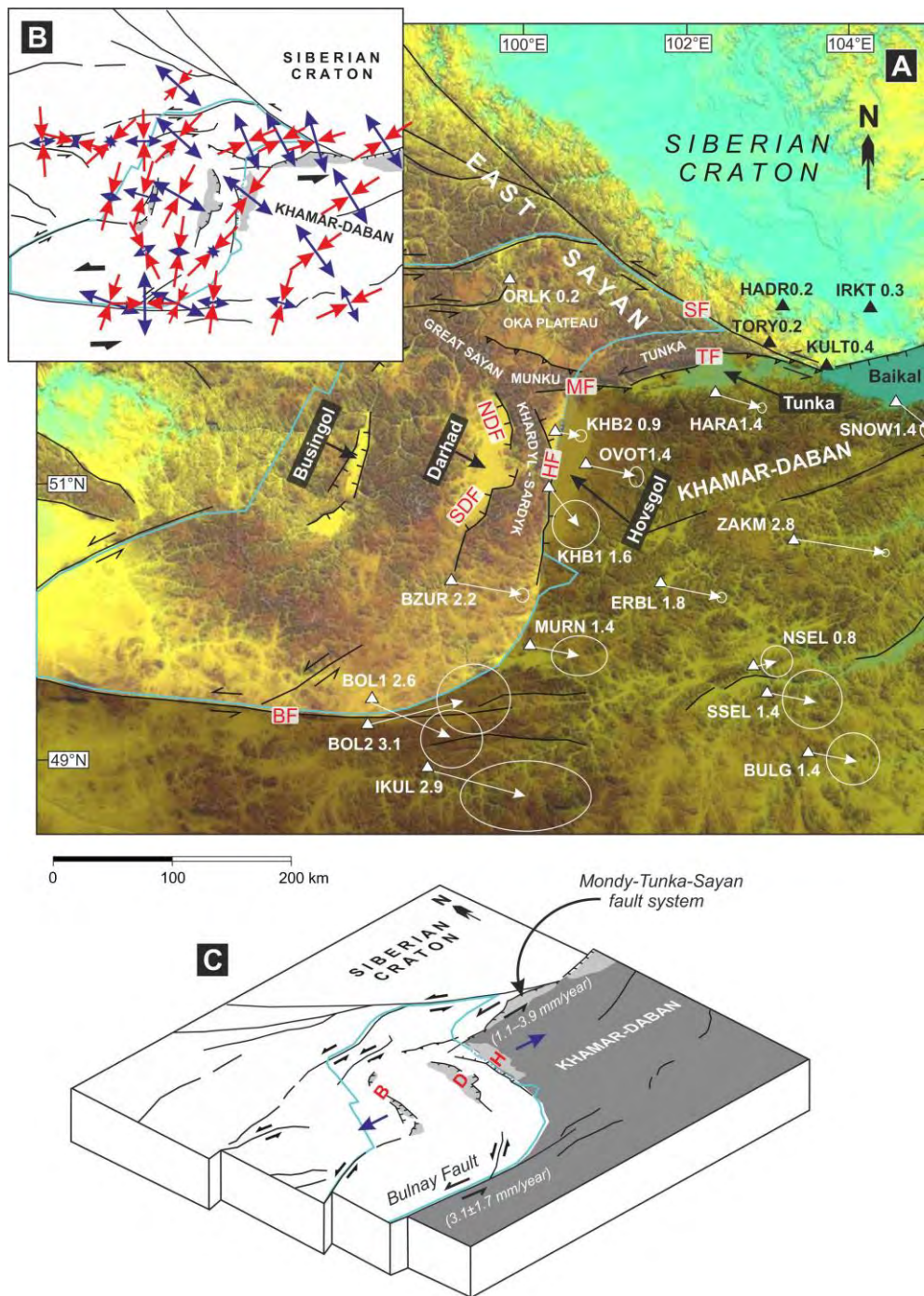


Рис. 13. Тектоническая модель формирования области растяжения между двумя крупнейшими сдвиговыми зонами – Болнайской на юге и Монды-Тунка-Саянской – на севере. Голубым цветом показаны границы Тувино-Монгольского микроконтинента, унаследованные активизированными на плиоцен-четвертичном этапе разломами. На рис. (A) показаны современные горизонтальные GPS-скорости относительно Евразии по (Calais et al., 2003; Lukhnev et al., 2021). (B) - результаты современной инверсии напряжений по механизмам очагов землетрясений, показывающие режим транспрессии для изучаемого региона (Radziminovich et al., 2016). Векторы показывают ориентацию максимального (красный) и минимального (синий) горизонтального напряжения сжатия. (C) Упрощенная тектоническая схема, показывающая геометрию формирования бассейнов растяжения – Хубсугульского (H), Дархадского (D) и Бусингольского (B), связанных с левосторонними сдвигами (скорости смещения для Болнайского разлома даны по (Rizza et al., 2015), а для



Монды-Тункинско-Саянской системы разломов по (Ritz et al., 2018; Chebotarev et al., 2022; Arzhannikova et al., 2023).

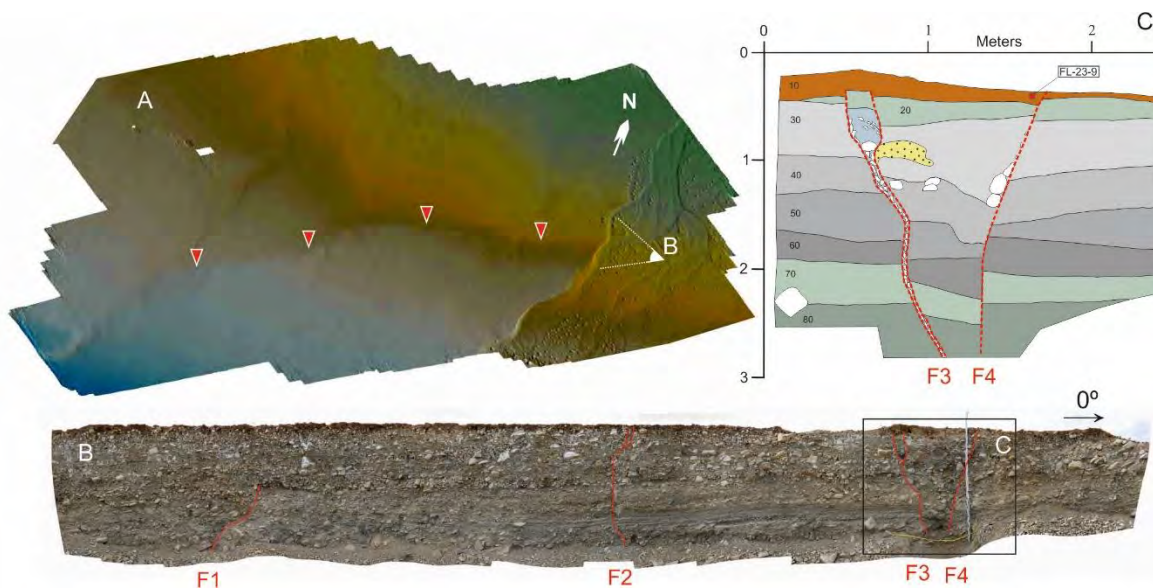


Рис. 13. Цифровая модель рельефа (А), фотография разреза аллювиальных отложений (В) и документация двух сейсмогенных разрывов (С) в обнажении первой террасы реки, пересекающей разлом.

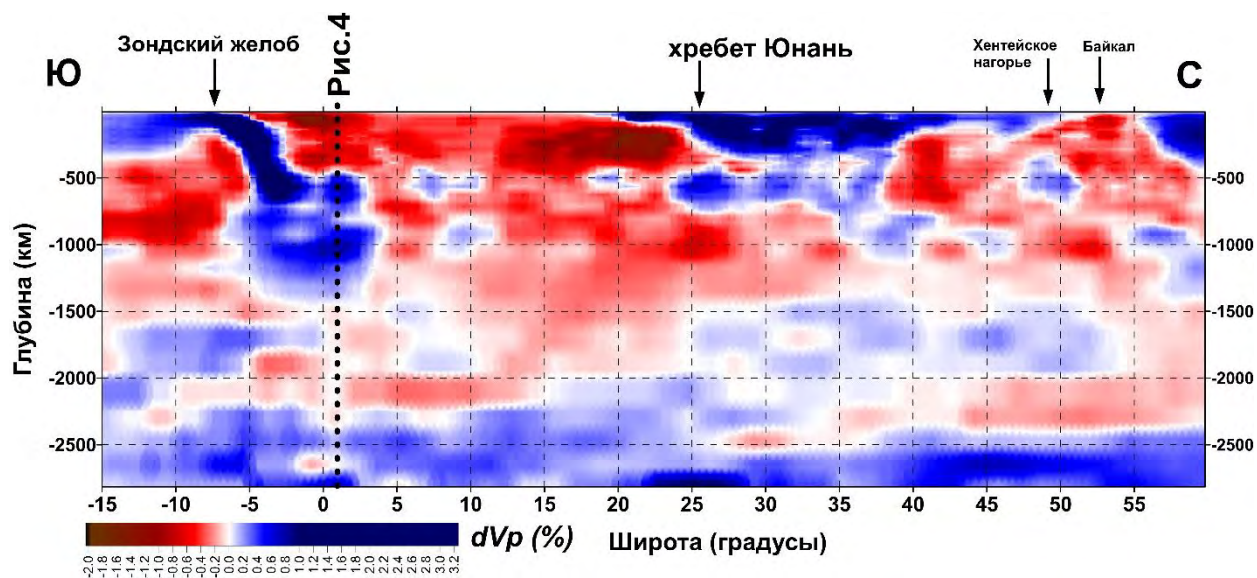


Рис. 14. Сейсмотомографический разрез вдоль субмеридионального профиля (положение показано на рис.1) по данным модели UU-P07 [Amaru, 2007; Hall., Spakman, 2015; Van der Meer et al., 2018].



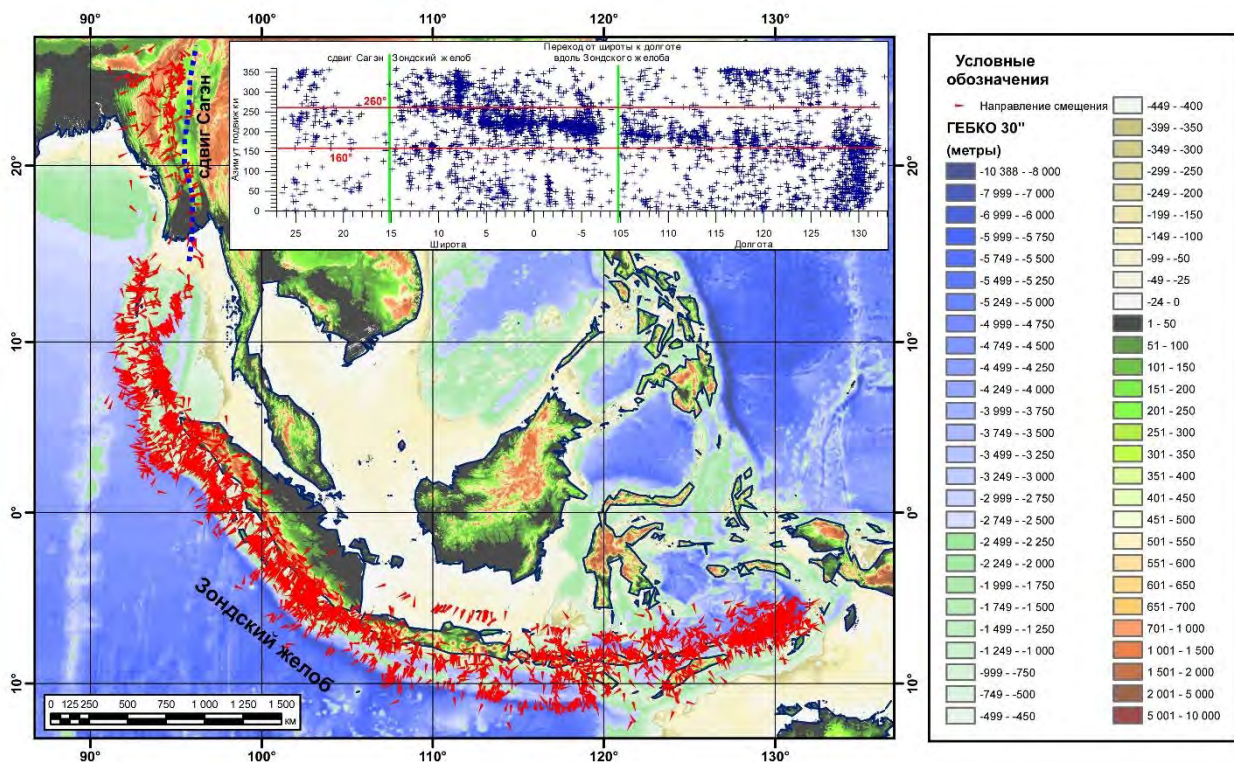


Рис. 15. Направления смещений (rake) вдоль плоскостей разрывов сильных землетрясений по данным каталога СМТ [Global..., 2018]. На врезке — облако значений азимутов подвижки вдоль Зондского желоба и правого сдвига Сагинг.

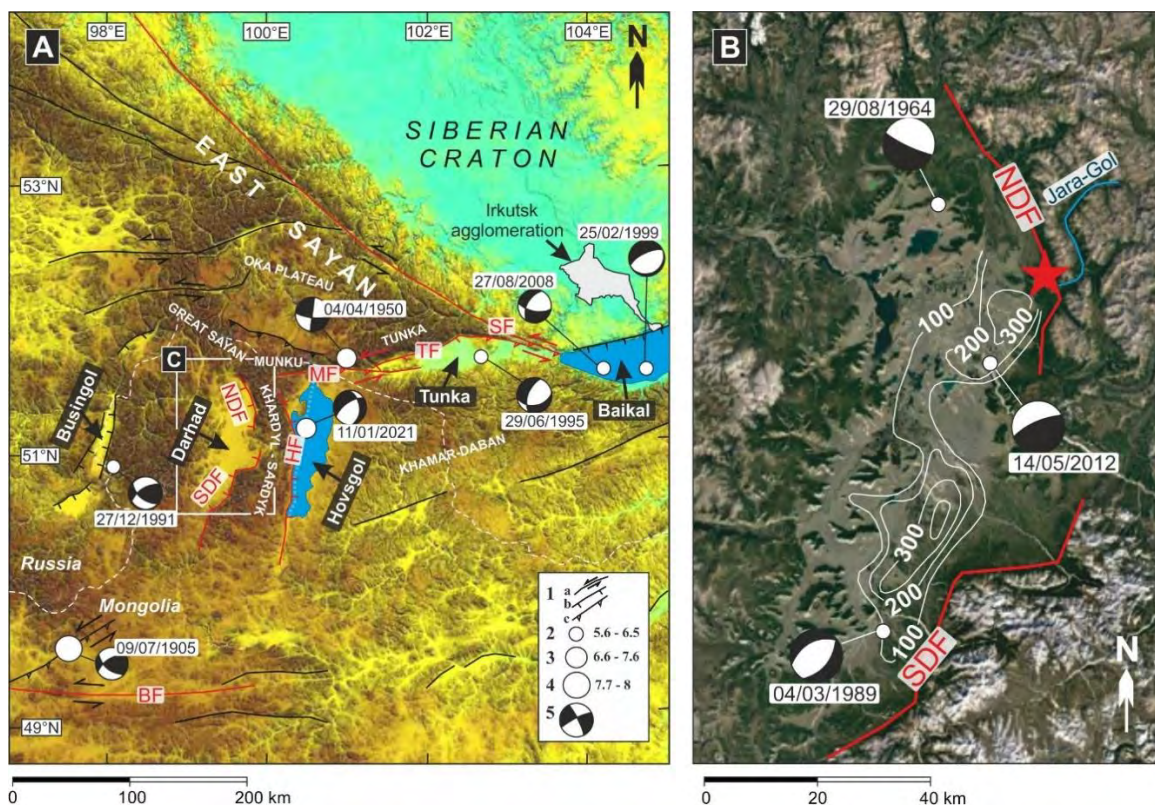


Рис. 16. Цифровая модель рельефа юго-западного фланга Байкальского рифта и прилегающей территории (А): NDF, HF, MF, TF, SF - Северо-Дархадский, Хубсугульский,

Мондинский, Тункинский и Главный Саянский разломы, соответственно. Дархатская впадина на космоснимке (В): звездочкой обозначена сейсмоструктура Джара-Гол.

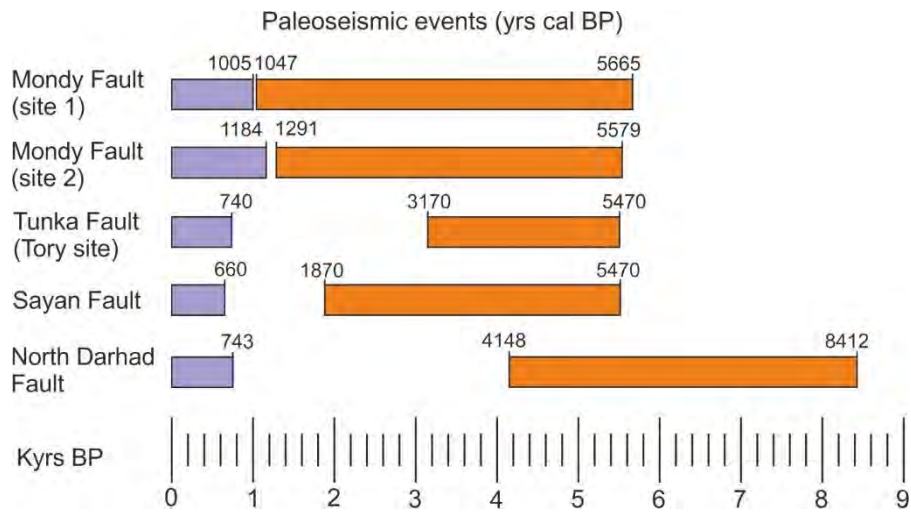


Рис. 17. Сравнение возрастных границ двух последних разрывообразующих землетрясений, зарегистрированных для Мондинского, Тункинского, Главного Саянского и Северо-Дархадского разломов.