

## SEISMOGEOLOGY OF VERKHNEKERULEN BASIN (KHENTEI, NORTHERN MONGOLIA)

O. P. Smekalin<sup>1</sup>, A. V. Chipizubov<sup>1</sup>, V. S. Imaev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of the Earth's crust, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup> Technical Institute (branch) of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Neryungri, Russia

**Abstract:** The paper presents results of seismogeological studies of active faults bordering the Upper Kerulen basin, one of the largest intermountain basins of the Khentei upland. Morphometric and trenching methods were applied to estimate the main parameters of seismogenic dislocations and associated Holocene palaeoearthquakes (540–2810, 3170–3720, and 7480–9220 years ago). The maximum palaeoearthquake magnitude (7.5) characterizes the seismic capacity of the potential focal area (PFA) confined to the Kerulen fault. The new data show the need to revise the potential seismicity concepts of the southern Khentei area and to make appropriate changes in the general seismic zoning maps. The relationship between the dislocations and the modern topography features, as well as deformation of the subsurface sediments in the studied mine openings give evidence of thrusting under the sub-lateral to north-western subhorizontal compression.

**Key words:** Khentei; Kerulen seismogenic structure; morphometry; trenching; absolute age of a paleoearthquake

Recommended by E.A. Rogozhin

**For citation:** Smekalin O.P., Chipizubov A.V., Imaev V.S. 2016. Seismogeology of Verkhnekerulen basin (Khentei, Northern Mongolia). *Geodynamics & Tectonophysics* 7 (1), 39–57. doi:10.5800/GT-2016-7-1-0196.

**Для цитирования:** Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Имаев В.С. Сейсмогеология Верхнекеруленской впадины (Хэнтей, Северная Монголия) // *Геодинамика и тектонофизика*. 2016. Т. 7. № 1. С. 39–57. doi:10.5800/GT-2016-7-1-0196.

## СЕЙСМОГЕОЛОГИЯ ВЕРХНЕКЕРУЛЕНСКОЙ ВПАДИНЫ (ХЭНТЕЙ, СЕВЕРНАЯ МОНГОЛИЯ)

О. П. Смекалин<sup>1</sup>, А. В. Чипизубов<sup>1</sup>, В. С. Имаев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального государственного университета им. М.К. Аммосова, Нерюнгри, Россия

**Аннотация:** Представлены результаты сейсмогеологических исследований активных разломов, ограничивающих Верхнекеруленскую впадину – одну из крупнейших межгорных впадин Хэнтейского нагорья. Морфометрией и тренчингом определены основные параметры сейсмогенных дислокаций и связанных с ними трех палеоземлетрясений, произошедших в течение голоцена (в интервалах 540–2810, 3170–3720 и 7480–9220 лет назад). Максимальная магнитуда палеоземлетрясений (7.5) характеризует сейсмический потенциал приуроченной к Керуленскому разлому зоны вероятных очагов землетрясений (зоны ВОЗ). Полученные но-

вые данные требуют пересмотра представлений о возможной сейсмической сотрясаемости на территории Южного Хэнтея и внесения соответствующих изменений в существующие карты общего сейсмического районирования. Взаимоотношение дислокаций с современными формами рельефа и характер деформирования приповерхностных отложений во вскрытых горных выработках свидетельствуют о их генезисе в результате надвигов в условиях субгоризонтального сжатия, ориентированного в секторе от субширотного до северо-западного направления.

**Ключевые слова:** Хэнтей; Керуленская сейсмогенная структура; морфометрия; тренчинг; абсолютный возраст палеоземлетрясения

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Долгие десятилетия Хэнтейское нагорье было обделено вниманием сейсмогеологов, хотя активные разломы были выделены здесь еще в конце 1950-х годов [Aprodov, 1960]. Вероятно, это отношение основывалось на отсутствии инструментально зарегистрированных сильных землетрясений к востоку от 108-го меридиана, что послужило причиной негласного разделения Монголии на две части: западную – сейсмичную и восточную – слабосейсмичную или даже асейсмичную. Считалось, что находящееся между двух частей Хэнтейское нагорье, значительно уступающее по степени неотектонической активизации и ряду других параметров расположенному к юго-западу от него Хангайскому поднятию, высокий сейсмический потенциал которого подтверждается современной, исторической и палеосейсмичностью, относительно менее активно и в отношении сейсмичности. Эпицентральное поле в целом характеризуется равномерно-хаотическим распределением землетрясений по территории Хэнтейского нагорья (рис. 1).

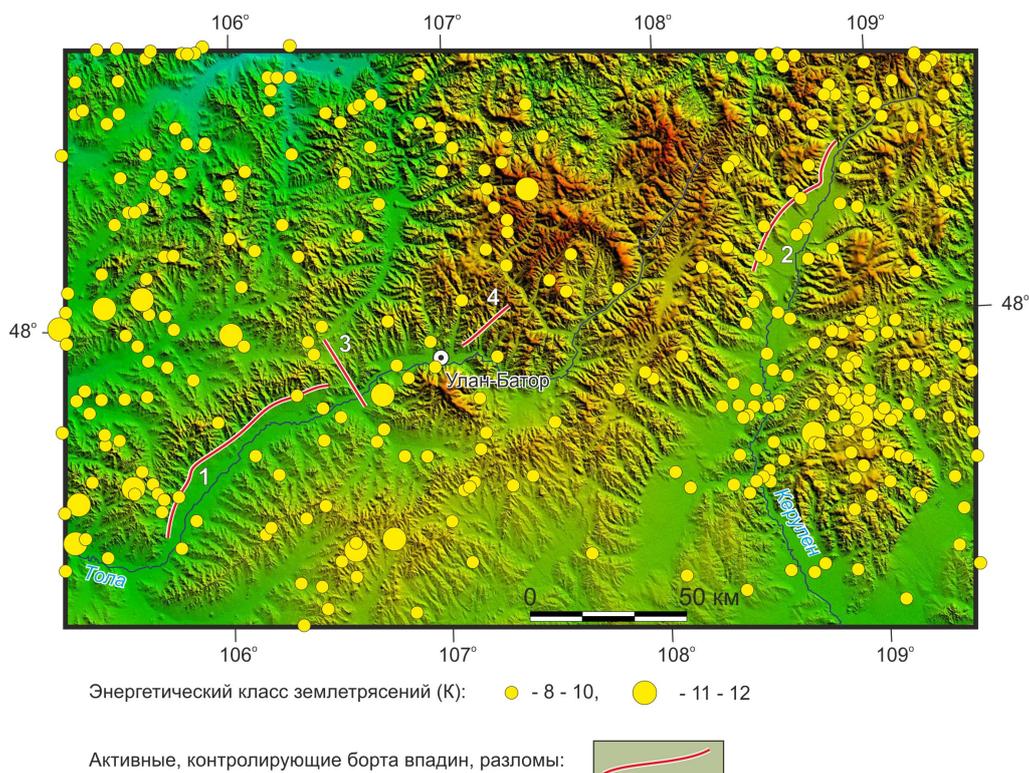
Необходимость проведения детальных сейсмогеологических исследований на территории Хэнтея была осознана после 2005 г., когда в южной части Хэнтея (в районах, прилегающих к Улан-Батору) в результате сейсмологических наблюдений (с регистрацией землетрясений, в том числе и в низшем энергетическом уровне с  $M < 2$ ) были выявлены неравномерности распределения эпицентров как в пространстве, так и во времени. В 2008–2009 гг. зарегистрирована серия землетрясений с магнитудой 4.0–4.2 на удалении не более 100 км от Улан-Батора. Возможно, слабые землетрясения связаны с процессами релаксации напряжений в остывающих гранитоидных интрузиях на фоне их изостатического «всплывания». Существует мнение [Komarov et al., 1980], что постоянное растрескивание гранитоидов, разуплотнение и заполнение образующихся трещин глубинными флюидами до сих пор являются одной из причин роста сводовых поднятий в Северной Монголии.

Слабые землетрясения с  $M < 3$ , регистрируемые густой сетью сейсмостанций с 2003 г. в окрестностях г. Улан-Батора, образуют локальные скопления изометричной и линейной формы. Наземные сейсмогеологические работы позволили связать одно из ярко выраженных линейных скоплений эпицентров слабых землетрясений с сейсмотектоническими деформациями в зоне разлома Эмелт [Ferry et al., 2010]. Относительное сгущение эпицентров наблюдается также в зонах Хустайского, Гунжинского и некоторых других разломов, для которых дистанционными методами выявлены признаки сейсмотектонической активизации. Дислокации Эмелтского, Хустайского и Гунжинского разломов детально изучены комплексом сейсмогеологических методов исследования с применением тренчинга и геофизики [Demberel et al., 2011; Ferry et al., 2010; Smekalin et al., 2013; и др.]. Полученные новые данные об активизации сейсмических процессов на протяжении голоценового времени вводят Хэнтейское нагорье в число структур с высоким сейсмическим потенциалом.

С 2013 г. палеосейсмические исследования проводятся в основаниях бортов Верхнекеруленской впадины – в некоторой степени аналога Тольской котловины по идентичности внешних структурно-морфологических особенностей, геолого-тектонического строения и геологической истории. По материалам дистанционных методов в зоне Керуленского разлома, обрамляющего Верхнекеруленскую впадину с запада и северо-запада, были выявлены фрагменты с признаками сейсмогенного подновления, аналогичные дислокациям, изученным ранее в Тольской котловине. Результаты наземных исследований деформаций в зоне Керуленского разлома приводятся в настоящей работе.

## 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ

Верхнекеруленская впадина располагается на восточном склоне Хэнтейского нагорья и относит-



**Рис. 1.** Сейсмичность южной части Хэнтэй-Даурского мегасвода с 1963 по 2004 г. по данным БОМСЭ ГС СО РАН и RCAG MAS.

1 – Тольская впадина и контролирующий ее с запада и северо-запада Хустайский разлом; 2 – Верхнекеруленская впадина и ограничивающий ее Керуленский разлом; 3 – разлом Эмелт; 4 – разлом Гунжин.

**Fig. 1.** Seismicity of the southern Khentey-Dauria megadome from 1963 to 2004, according to the Baikal Experimental and Methodological Seismological Expedition of the Geological Survey SB RAS and RCAG MAS.

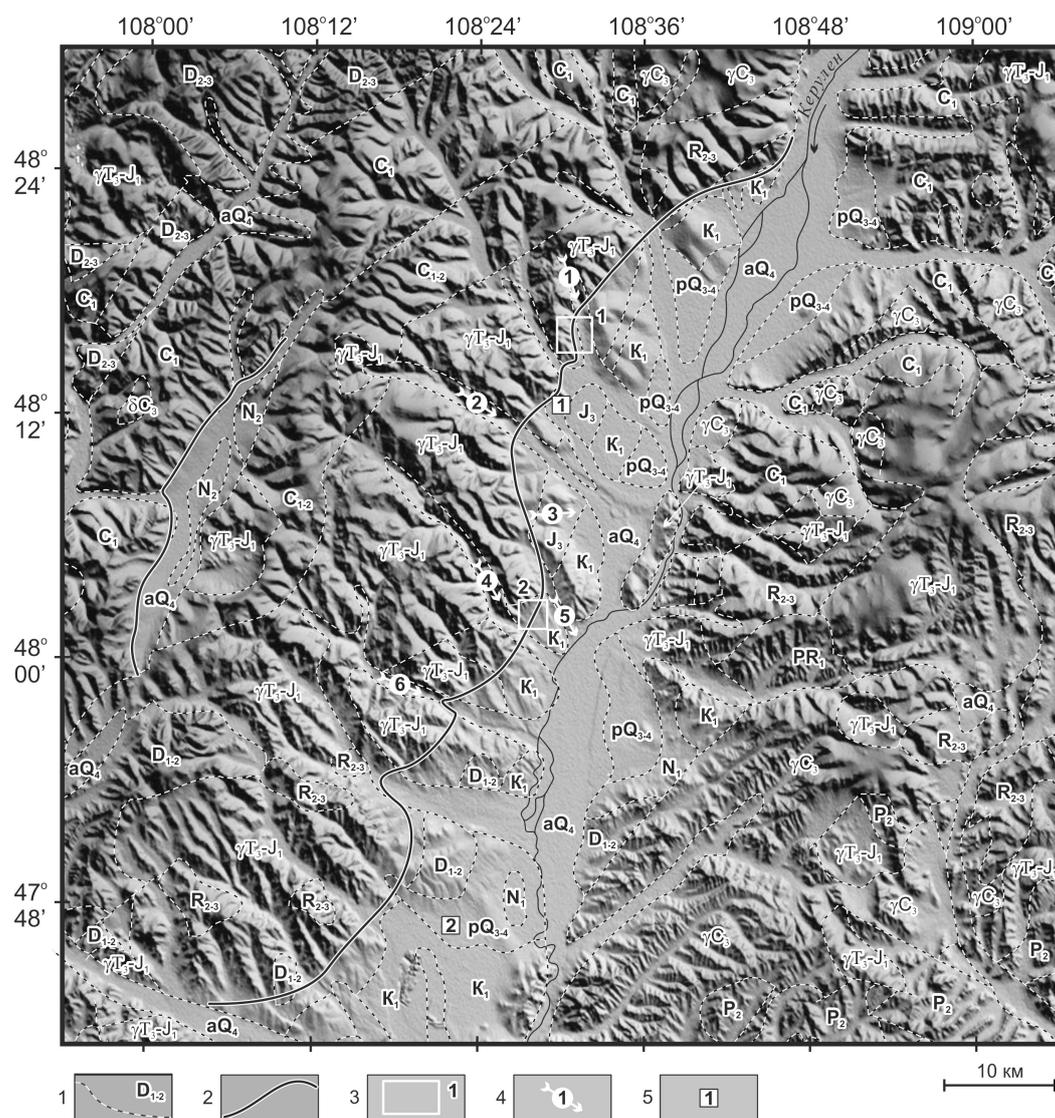
1 – Tolsky basin and Khustai fault; 2 – Upper Kerulen basin and Kerulen fault; 3 – Emelt fault; 4 – Gunzhin fault.

ся к типу межгорных котловин. Это крупнейшая (наряду с Тольской впадиной) отрицательная структура в современном рельефе нагорья. Впадина имеет север-северо-восточное простирание, что в целом совпадает с ориентацией продольной оси Хэнтэй-Даурского мегасвода. При длине впадины около 100 км ее максимальная ширина едва достигает 12–15 км. Мощность мезокайнозойских осадков достигает 1 км [Marinov *et al.*, 1977].

Впадина была заложена в позднеюрское время, после завершения активной фазы внедрения гранитоидных интрузий и становления высокогорного расчлененного рельефа. Развитие впадины напрямую связано с процессами деструкции на фоне продолжающегося сводообразования. В основании впадины, непосредственно на герцинском фундаменте, залегают крупногалечные и валунные конгломераты, конглобрекции, среди которых отмечаются прослойки песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. 3/4 мощности свиты приходится на конгломераты [Yanshin, 1974; Marinov *et al.*, 1977]. В последующее время прогибание происходило на

фоне снижения интенсивности тектонических движений. Нижнемеловые отложения мощностью около 900 м представлены аргиллитами и алевролитами. Нижняя часть этих отложений угленосна. Кайнозойские осадки маломощны (десятки метров).

В геолого-тектоническом отношении Верхнекеруленская впадина лежит у восточной границы Хангай-Хэнтэйского синклинория. Ее фундамент сложен докембрийскими образованиями, сильно дислоцированными позднепалеозойскими отложениями, прорванными карбоновыми и поздне триасово-раннеюрскими гранитоидами. Раннепалеозойские интрузии в основном слагают западный борт впадины на большем его протяжении. С востока впадину оконтуривают преимущественно породы докембрия, вмещающие позднепалеозойские и раннемезозойские интрузии. На южном фланге восточного борта неширокой полосой прослеживаются породы герцинского возраста. Северо-восточный борт сложен осадочными и интрузивными породами карбона (рис. 2).



**Рис. 2.** Рельеф и геологическое строение Верхнекеруленской впадины и ее горного обрамления.

1 – границы разновозрастных геологических образований и их индексы по [Geological map..., 1998]; 2 – разломы, активизированные в позднем кайнозое; 3 – контуры врезок рисунков (1 – рисунок 4, 2 – рисунок 6); 4 – долины, названия которых приведены в тексте (1 – Дэлэнзийн гол, 2 – Бурун бурхийн гол, 3 – Тосонгийн гол, 4 – Зуун байлалтын гол, 5 – Хушайн гол, 6 – Дунд байдлаг гол); 5 – населенные пункты (1 – сомонный центр Монгонморьт, 2 – город Баганур).

**Fig. 2.** The topography and geological setting of the Upper Kerulen basin and its mountain frame.

1 – boundaries of heterochronous geological structure and their indices according to [Geological map..., 1998]; 2 – faults active in the Late Cenozoic; 3 – contours of insets (1 – Fig. 4; 2 – Fig. 6); 4 – basins mentioned in the text (1 – Delenziyn Gol, 2 – Burun Burhiyn Gol, 3 – Tosongiy Gol, 4 – Zuun Baylaltyn Gol, 5 – Hushayn Gol, 6 – Doond Baydlag Gol); 5 – settlements (1 – Mongonmort somon centre, 2 – Baganur town).

В настоящее время области развития юрских, меловых и частично неогеновых отложений вдоль бортов впадины выведены из площади осадконакопления и приподняты над ее днищем. По склонам бортов впадины мезозойские осадки уходят в сторону хребта на расстояние до 10 км. На рисунке 2 показана линия сейсмогенного обновления, установленная дистанционными методами и по результатам наземных сейсмогеологических исследований. Эта линия огибает мезозойские отложе-

ния и отсекает привпадинные части отрогов хребта. Подобная ситуация, когда осадочное наполнение впадин оказывается относительно приподнятым на 40–50 м и более над уровнем местного базиса эрозии, имеет место по бортам Чикойской, Читино-Ингодинской, Гусиноозерской и других впадин забайкальского типа, расположенных в пределах подножия Хэнтей-Даурского мегасвода [Solonenko, 1977]. Вовлечение приразломных частей впадин в поднятие является отличительным призна-

ком режима сжатия и взбросо-надвиговых движений по морфоконтролирующим разломам.

Общий изгиб восточного крыла Хэнтэйского свода обуславливает наклон вершинной поверхности горного обрамления Верхнекеруленской впадины. Этот уклон приблизительно составляет 250 м на 100 км. Однако выделить тектоническую составляющую как результат вертикального смещения по разломам в перекосе бортов впадин практически невозможно из-за значительной расчлененности рельефа. К этому следует добавить, что на ранних этапах формирования впадины рельеф не был спланированным, так как к середине мезозоя формирование свода находилось в наиболее интенсивной стадии. Об этом же свидетельствует и наличие эпигенетических участков долины р. Керулен в пределах границы впадины. Наиболее вероятным представляется вовлечение в поднятие мезозойских отложений, преобладающих на западном борту впадины, в результате изгибовых деформаций вследствие локального сжатия, ограниченного линией современного надвига, сопряженного с выраженными в рельефе сейсмогенными дислокациями.

### 3. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМОДИСЛОКАЦИЙ

Морфометрия применительно к сейсмогенным уступам – это изучение таких параметров деформаций, как высота уступов, их протяженность, наклон поверхности уступа, описание морфологических особенностей (наличие ступенчатости, рвов у основания и пр.), а также временного, пространственного и генетического соотношения деформаций с деформируемыми поверхностями. Некоторые из этих параметров определяются на основе дешифрирования материалов, полученных дистанционными методами, другие – путем замеров непосредственно на местности.

В зоне Керуленского разлома, по результатам наших исследований, линия сейсмогенного уступа извилиста, часто параллельна выступам оснований водораздельных мысов и далеко заходит вверх по долинам водотоков, что является косвенным признаком надвиговой или взбросо-надвиговой кинематики дислокаций (рис. 2). Наиболее отчетливо взбросовые уступы наблюдаются на субмеридиональных отрезках разлома, где они имеют высоту от 1.7 до 4.5 м. В одних случаях уступы прослеживаются полностью в рыхлых отложениях, выполняющих долины водотоков, их склоны и конусы выноса. В других – в нижней части уступа выходят коренные породы, а в верхних частях обнажается перекрывающий их делювий. Амплитуды верти-

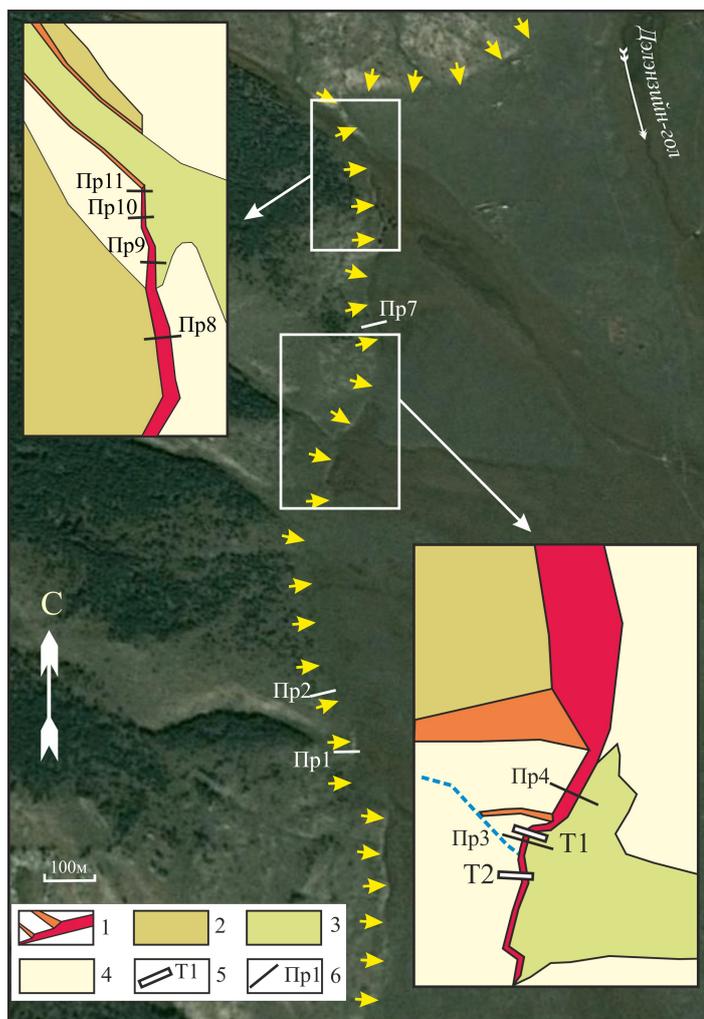
кальных смещений по этим уступам изменяются от 1.2–1.5 м (одноактные) до 2.3–3.5 м (двухактные). Значительно реже наблюдается картина, когда к крутому мощному уступу скальных пород примыкают отложения склонов долин.

В некоторых долинах, пересекающих линию дислокаций, имеются признаки сдвиговых смещений бортов с амплитудой 40 м и более. В долине р. Дэлэнзийн гол можно предполагать правостороннее смещение. Однако далее к северо-востоку от этой долины, в эрозионной ложбине (между первым и вторым временными водотоками), можно предполагать уже левосдвиговое смещение приблизительно на 40 м. Такая неоднозначность усиливает сомнения в наличии сдвиговых смещений вообще. Возраст этих деформаций в первом случае можно оценить как позднеплейстоценовый, а во втором случае – как четвертичный.

На рисунке 3 представлена детализация наиболее яркого фрагмента меридионального отрезка разлома на его северном фланге. В пределах этого фрагмента проведено профилирование сейсмотектонических уступов с использованием электронного угломера и пройдены экскаватором две траншеи (К-1 и К-2). В месте проходки траншей (правая нижняя врезка на рис. 3) временным водотоком, по мере поэтапного поднятия террасированной поверхности во время сейсмотектонических подвижек, выработаны эрозионные врезки, по размерам которых однозначно устанавливаются амплитуды двух последних подвижек. Обе траншеи пройдены через уступ, сформировавшийся при самой последней из них. Высота этого уступа 2.2 м при вертикальном смещении 1.8 м (см. профиль 3 на рис. 4). Уступ, в формировании которого участвовали две последние подвижки, имеет высоту уже 3.5 м при вертикальном смещении порядка 3 м (профиль 4 на рис. 4). Исходя из этого, амплитуда вертикального смещения при предпоследней подвижке могла быть около 1.2 м.

В 600 м севернее рассмотренного участка, при пересечении разлома соседней долиной, высота сейсмогенного уступа в днище долины постепенно понижается от 4 м вблизи склона до 1.7 м вблизи заболоченной поймы (профили 9–11 на рис. 4). Заметных террасовых уступов, обусловленных врезками потоков ручья при поднятии надвинутого крыла, за исключением поймы, не наблюдается.

Хорошо выраженный отрезок сейсмогенного разрыва прослеживается южнее сомона Монгонморьт, между реками Бурун бурхийн гол и Тосонгийн гол (рис. 5 и 6). Здесь разрывы прекрасно сохранились даже в заболоченных поймах указанных рек и временном водотоке между ними. Ситуация при пересечении разрывами долин рек напоминает правосдвиговое смещение с амплитудой порядка

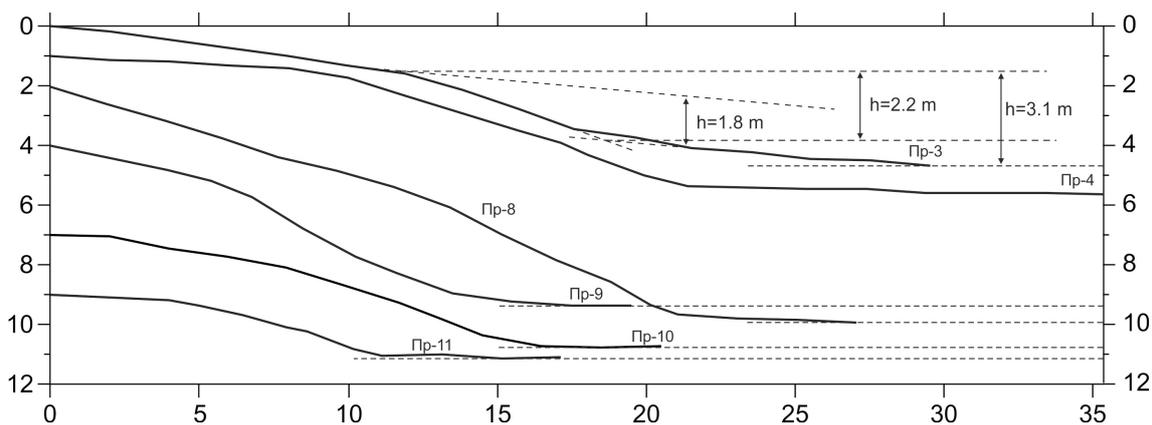


**Рис. 3.** Детализация ситуации в пределах врезки 1 на рис. 2.

1 – сейсмогенные (красные) и эрозионные (оранжевые) уступы; 2 – склоны долин; 3 – заболоченная пойма долины и мочажины; 4 – рыхлые отложения верхнего плейстоцена и голоцена; 5 – траншеи и их номера; 6 – гипсометрические профили и их номера. Желтые стрелки трассируют разрыв.

**Fig. 3.** Details of inset 1 in Fig. 2.

1 – seismogenic (red) and erosional (orange) benches; 2 – basin slopes; 3 – swampy floodplain; 4 – loose sediments of the Upper Pleistocene and Holocene; 5 – trenches and their numbers; 6 – hypsometric profiles and their numbers. Yellow arrows trace the fault.

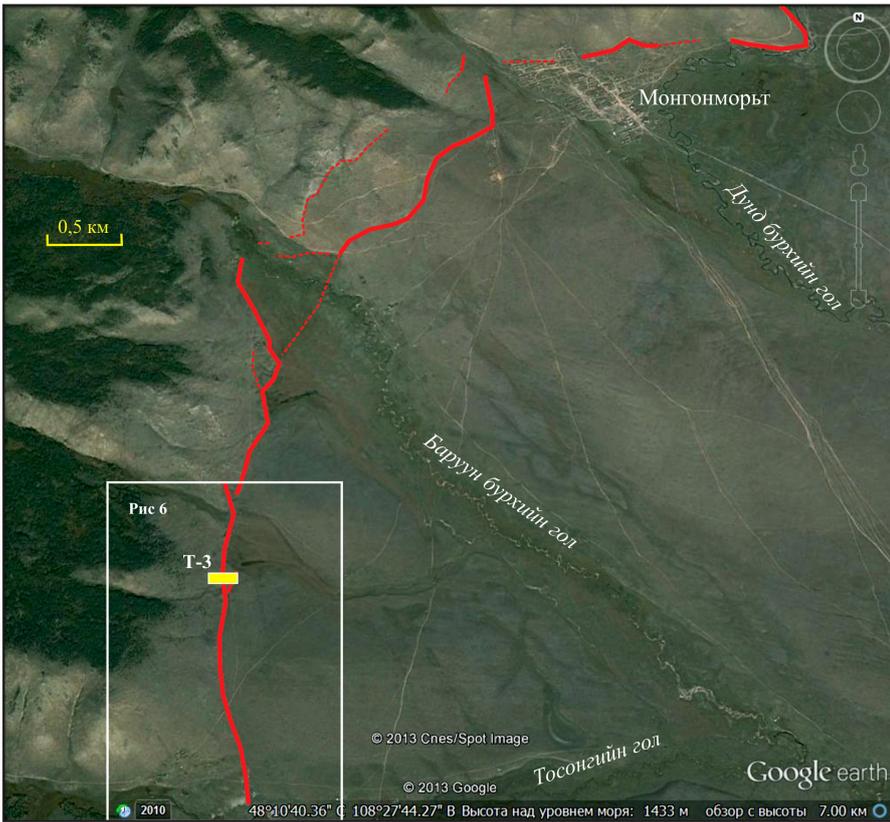


**Рис. 4.** Гипсометрические профили, пройденные вкрест простирания сейсмогенного уступа, с указанием их номеров.

Привязку профилей см. на рис. 3. Для профиля 3 значение 3.1 м соответствует высоте бровки уступа над местным базисом эрозии, 2.2 м – высота уступа, 1.8 м – амплитуда вертикальной компоненты смещения. Количественные параметры уступа определены согласно работе [Bucknam, Anderson, 1979].

**Fig. 4.** Hypsometric profiles across the strike of the seismicogenic bench and their numbers.

Coordinates of the profiles are given in Fig. 3. In profile 3, the height mark of 3.1 m shows the elevation of the bench's edge above the local erosion basis; 2.2 m – bench height, 1.8 m – vertical displacement amplitude. Quantitative parameters of the bench are estimated according to [Bucknam, Anderson, 1979].

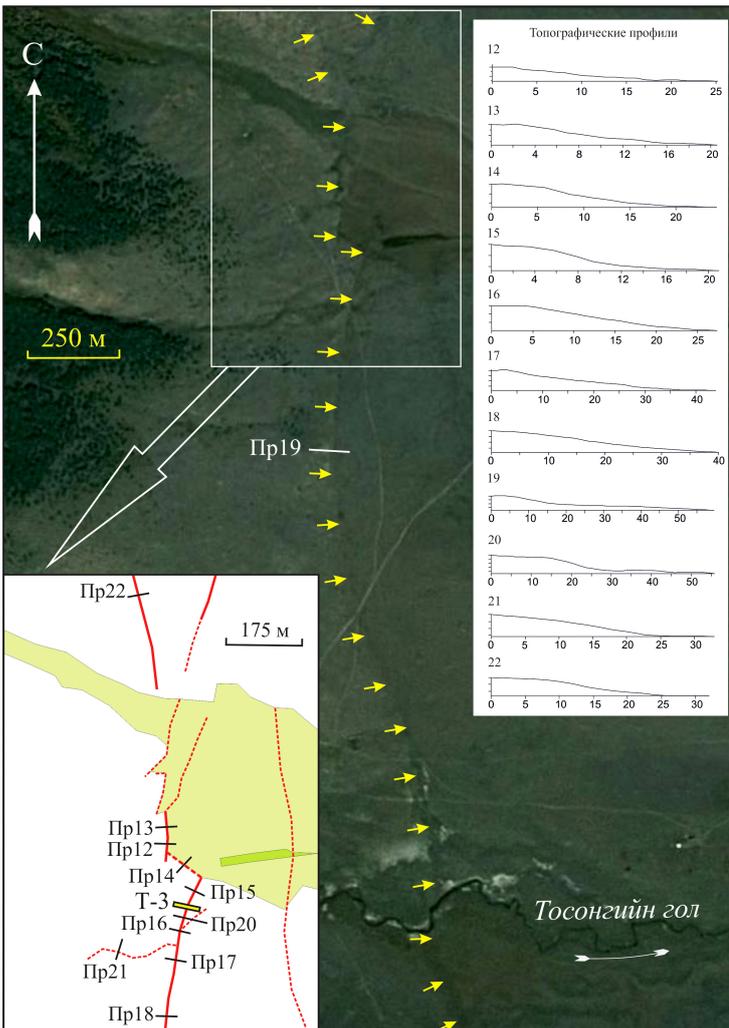


**Рис. 5.** Расположение сейсмогенных уступов к югу от сомонного центра Монгонморьт.

Красными линиями показаны уступы, отчетливо выраженные в рельефе (сплошные) и слабо выраженные (пунктирные). Желтым прямоугольником показано расположение канавы Т-3. Белая рамка соответствует границам территории, показанной на рис. 6.

**Fig. 5.** Locations of seismogenic benches south of Mongonmort.

Red solid and dashed lines show benches with clear and unclear topography, respectively. The yellow rectangle shows trench T-3 location. The white box outlines the territory shown in Fig. 6.



**Рис. 6.** Топографические профили через уступы в районе проходки канавы Т-3.

Широкая темная область в основании уступа – результат изгибовой деформации поверхности, приведшей к образованию отрицательной формы с последующим заболачиванием.

**Fig. 6.** Topographic profiles across benches near trench T-3.

The wide dark area at the bench's bottom marks the surface deformation resulting in subsidence followed by swamping.

200 м, но не столь очевидное, чтобы считать его достоверным. К общей тенденции, присущей областям сжатия с надвиговыми деформациями, относится наличие волнообразного прогиба поверхности, тяготеющего к основанию взбросового уступа. Подобное строение дислокаций ранее было установлено и для Хустайской сейсмогенной структуры. Такие отрицательные формы характеризуются незначительными обратными уклонами, обычно не превышающими 2–3°, имеют ширину от десятков до первых сотен метров и вместе со взбросовыми уступами осложняют наклонную поверхность предгорного шлейфа.

На рисунке 7 представлен характерный вид Верхнекеруленских дислокаций южного фланга структуры на крупномасштабных снимках, с ярко выраженными фрагментами разлома в районе пересечения его долинами рек Хушайн гол и Зуун байлалтын гол.

Замыкание южного фланга структуры, на котором можно предполагать сеймотектоническое обновление разлома в верхнеплейстоцен-голоценовое время, находится несколько южнее долины реки Дунд байдлаг гол. На рисунке 8 видимые смещения временных водотоков, которые возможно принять в разных случаях как за левый, так и за правый сдвиг, по нашему мнению, представляют результат надвигового смещения по пересекающему долины разлому. Наблюдаемая ситуация характерна для расходящихся водотоков.

По левому борту долины Зуун байлалтын гола (рис. 8) проходит один из поперечных разломов. Он выражен в виде уступа высотой до 20 м, причем нижняя часть уступа пологая, а верхняя – крутая. Отсутствие хотя бы заметного уступа на противоположном борту долины и вышеуказанный характер 20-метрового уступа однозначно свидетельствуют о его тектонической, а скорее всего, даже о сеймотектонической природе. Меандрирующее русло Зуун байлалтын гола не подрезает даже нижнюю пологую часть рассматриваемого уступа.

Разлом, ограничивающий Верхнекеруленскую впадину с востока, наиболее ярко проявлен южнее реки Юдуугийн гол в виде линейного уступа высотой до 10 м (профили 30 и 31 на рис. 8). Этот уступ, не подверженный эрозионному воздействию Керулена на протяжении более 10 км, имеет тектоническую природу.

#### 4. ТРЕНЧИНГ

С целью уточнения генетического типа и кинематических характеристик дислокаций, определения возраста сейсмической активизации и повторяемости разрывообразующих событий на двух

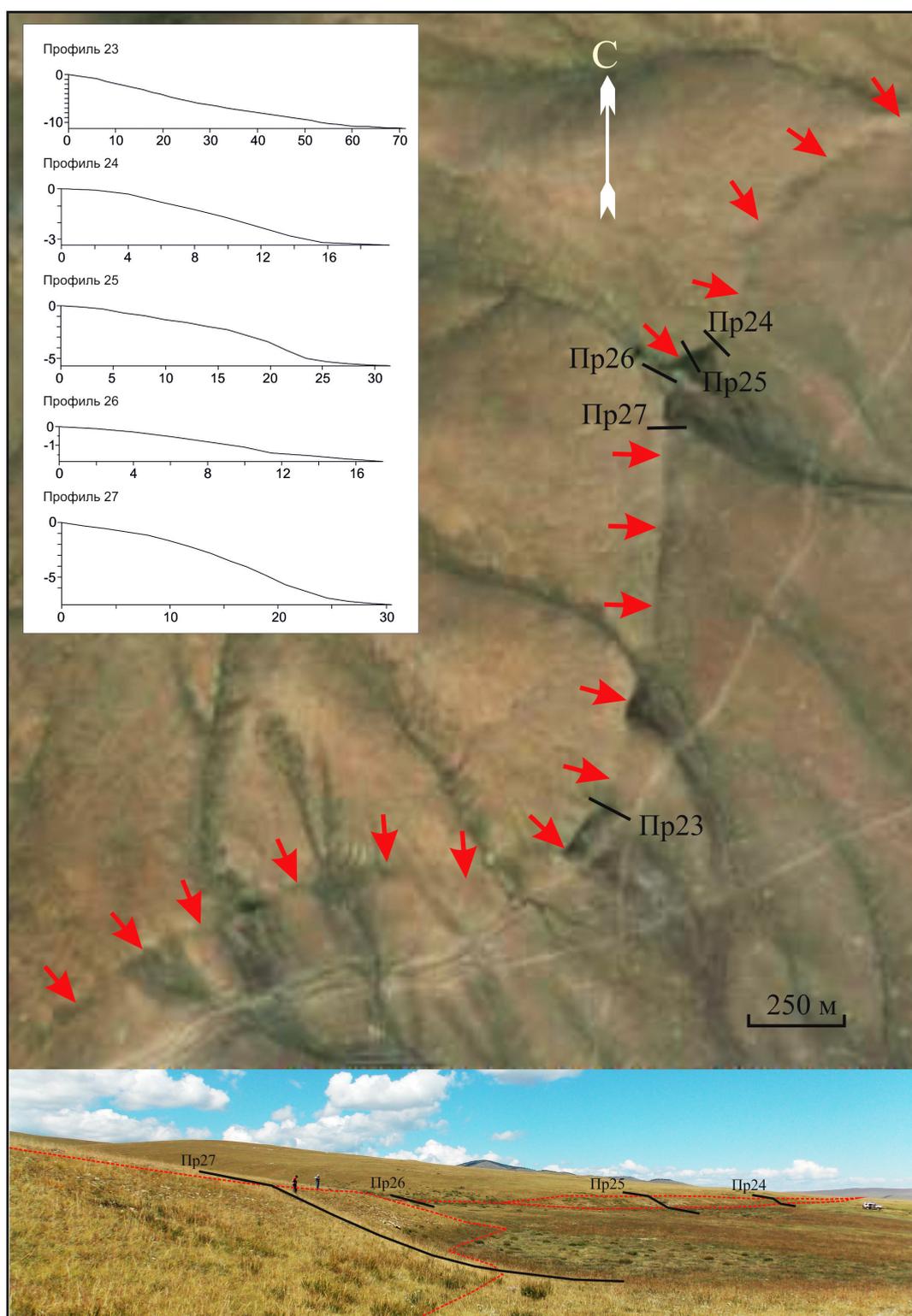
участках Керуленского разлома экскаватором было пройдено три канавы: две (канавы Т-1 и Т-2) в левом и правом борту конуса выноса эрозионной долины одного из временных водотоков (см. нижнюю врезку на рис. 4), расположенной к северу от сомонного центра Монгонморьт; третьей канавой Т-3 вскрыт уступ к югу от Монгонморьт (см. рис. 5 и 6).

Первая канава (Т-1) вскрывает уступ, деформирующий террасовидную площадку, приподнятая часть которой в плане имеет форму треугольника. Одна сторона этого треугольника представлена сейсмогенным уступом. Сторона, обращенная к долине временного водотока, является верхней бровкой террасового уступа. Третья сторона примыкает к эрозионному уступу в основании горного склона.

Вторая канава (Т-2) вскрывает уступ со стороны правого борта долины и расположена вне зоны эрозионного воздействия временного водотока. Здесь отсутствуют террасированные поверхности, а верхняя бровка (в правой части разреза канавы) соединяет сейсмогенный уступ с пологонаклонным основанием горного склона. Тем обстоятельством, что канавы располагаются в местах, различающихся по типу осадконакопления, предопределена несхожесть строения отложений в разрезах двух канав, расположенных на незначительном расстоянии друг от друга. В первой канаве преобладали условия пролювиально-аллювиального накопления, со свойственными им стратификацией и слоистостью осадков. Во второй канаве доминируют отложения делювиального и коллювиального сноса, поэтому сейсмогенные деформации наиболее ярко проявлены в канаве Т-1. Кроме различий есть и общие черты в разрезах канав. Это, прежде всего, их двухъярусное строение и преобладание в вещественном составе щебнистой массы с песчано-дресвяным заполнением. Нижняя часть разреза обеих канав представлена деформированным элювием с признаками планации (выравнивания) кровли. В целом, по составу рыхлого наполнения верхней части разреза также значительных различий нет. Но так как деформации в канаве Т-1 представлены наиболее ярко, ниже подробно приводится описание разреза именно этой канавы.

*Описание разреза канавы Т-1.* На схеме (рис. 9) представлены разрезы южных стенок канав Т-1 и Т-2. Канавой Т-1 вскрыты слоистые аллювиально-пролювиальные отложения, перекрывающие элювий, которые совместно разбиты на блоки разломами, полого падающими (около 30°) под уступ.

В основании разреза чередуются образования двух видов (слои  $A_1$  и  $A_2$ ), состоящие из плотной песчано-дресвяно-мелкощебнистой массы, представляющие собой элювий, разбитый на отдельные блоки плоскостями разрыва со смещением. В них отсутствуют признаки слоистости и переотложе-

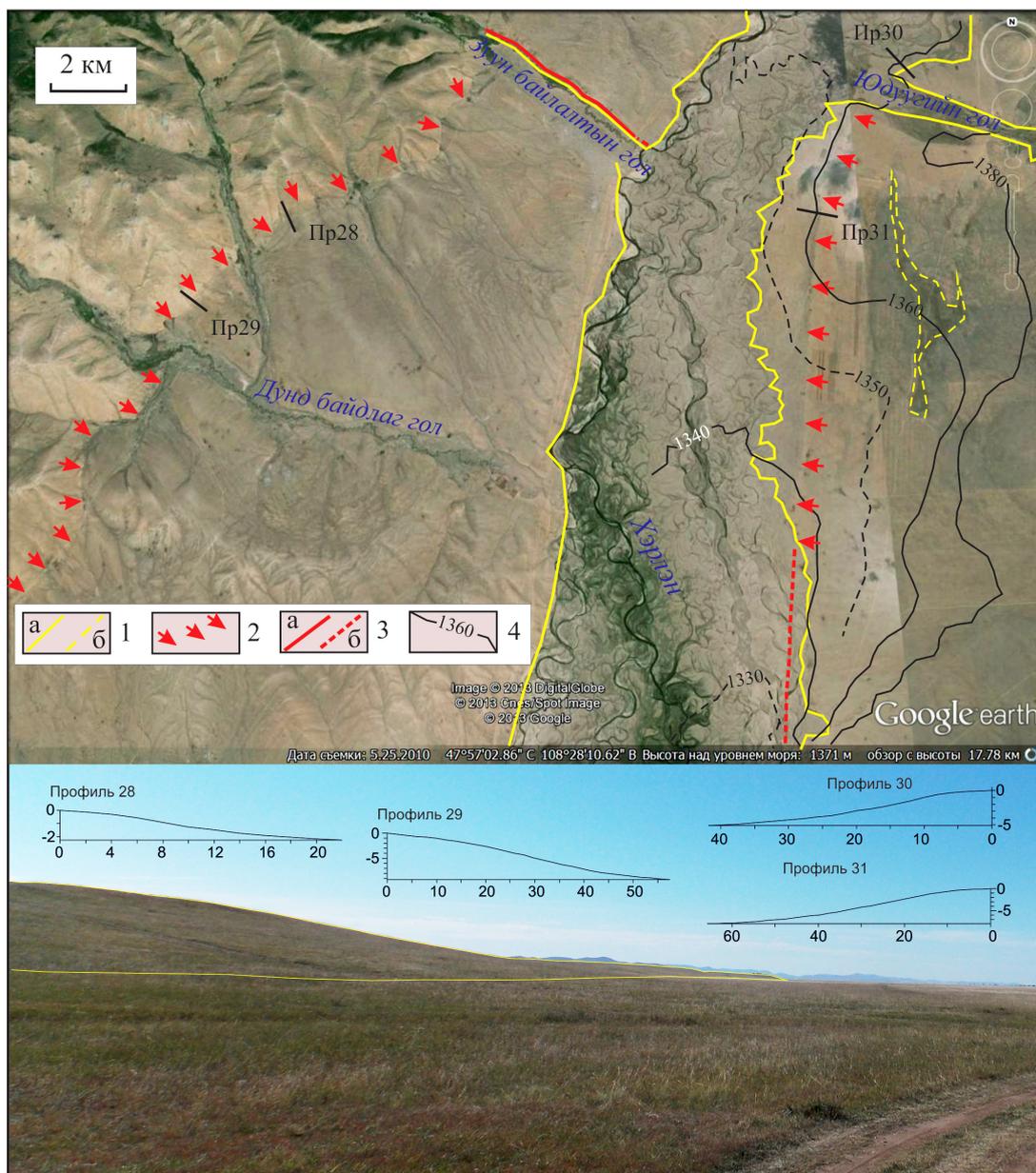


**Рис. 7.** Сейсмогенный уступ, отчетливо прослеживаемый на южном фланге структуры как на дистанционных материалах, так и при наземном обследовании.

Профиль 26, расположенный в пойме временного водотока, отражает вертикальную амплитуду деформации во время последней активизации разлома. На других профилях высота уступа представляет суммарную амплитуду смещений за последние 2–3 события, охватывающие голоценовый период времени. На нижнем фото: заболоченные кочковатые участки перед подножием уступов – следствие развития отрицательных форм при надвиговых подвижках.

**Fig. 7.** The seismogenic bench clearly traced at the southern flank of the structure by both remote and field surveys.

Profile 26 in the floodplain of the temporary water stream reflects the vertical deformation amplitude during the last activation of the fault. Other profiles show the bench's height as the total amplitude of displacements resulting from the last two or three events in the Holocene. Bottom photo: hummocky swamps located at the base of the benches are a result of subsidence due to thrusting.



**Рис. 8.** Сейсмодислокации в обрамлении западного и восточного борта в южном замыкании Верхнекеруленской впадины.

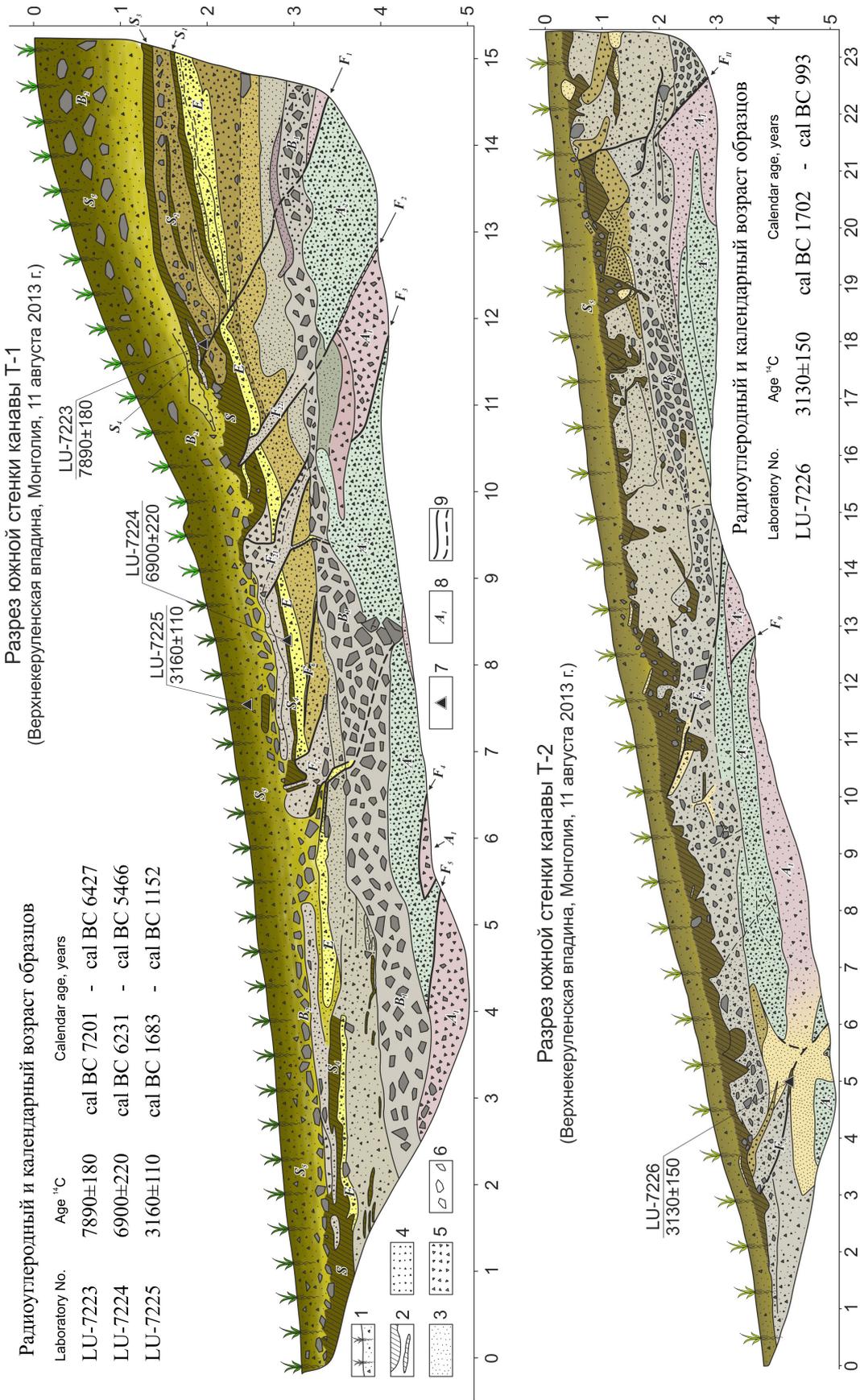
1 – границы пойм в долинах рек Керулен, Зуун байлалтын гол, Юдуугийн гол, пунктиром показан сохранившийся фрагмент палеопоймы; 2 – стрелки, указывающие положение уступа (со стороны верхней кромки); 3 – линия поперечного уступа; 4 – гипсометрия восточного борта впадины. На нижнем фото – вид на сейсмотектонический уступ в районе 31-го профиля в южном направлении.

**Fig. 8.** Seismic dislocations at the western and eastern sides of the southern termination of the Upper Kerulen basin.

1 – boundaries of floodplains in the Kerulen, Zuun Baylaltyn Gol and Yuduugiyn Gol river basins (the dashed line shows the existing paleofloodplain fragment); 2 – arrow showing the bench position (from the upper edge); 3 – transverse bench; 4 – hypsometry of the eastern side of the basin. Bottom photo: the seismotectonic bench near profile 31 (southwards).

ния. Элювий  $A_1$  отличается (от  $A_2$ ) включениями среднего, реже крупного щебня, а также красноватым оттенком. Для отложений  $A_2$  характерен зеленоватый оттенок. Границы между этими образованиями четкие, линейные, представляют собой плоскости смещения сейсмогенных подвижек, для

которых характерно общее западное направление падения. Некоторые трещины не выходят за пределы элювия ( $F_3$ ,  $F_4$  и  $F_5$ ). Очевидно, подвижки по ним произошли до формирования современного уступа. Другие же ( $F_1$  и  $F_2$ ) прослеживаются и в вышележащих аллювиально-делювиальных слоях.



**Рис. 9.** Схемы документации разрезов южных стенок канав Т-1 и Т-2.

1 – современный почвенно-растительный слой; 2 – погребенные почвенные горизонты, содержащие гумус; 3 – песок, древеся, гравий; 4 – древеся, мелкий щебень; 5 – щебень; 6 – щебень, небольшие глыбы; 7 – места отбора радиоуглеродных проб. Радиоуглеродный возраст определялся в лаборатории научно-исследовательской части Института наук о Земле СПбГУ (заведующий проф. Х.А. Арсланов). Калибровка датировок выполнена с помощью программы Calib Rev 7.0.0 [Stuiver, Reamer, 1993]; 8 – индексы слоев и плоскостей смещений, упоминающиеся в тексте; 9 – разрывные нарушения – явные и предполагаемые (пунктир).

**Fig. 9.** Sections of the southern walls of trenches T-1 and T-2.

1 – modern top soil; 2 – buried soil layers containing humus; 3 – sand, gravel; 4 – gravel, small boulders; 5 – gravel; 6 – gravel, small boulders; 7 – radiocarbon sampling sites. Radiocarbon ages were determined by the laboratory headed by Prof. H.A. Arslanov at the Institute of Earth Sciences in St. Petersburg State University. Dating calibration was done by Calib Rev 7.0.0 software [Stuiver, Reamer, 1993]; 8 – indices of layers and shearing planes mentioned in the text; 9 – detected and inferred faults (solid and dashed lines, respectively).

В пределах верхней части разреза трещины разрывают слоистые отложения, их полости заполнены песком и мелкой дресвой ( $F_2, F_{22}, F_{21}, F_6, F_7$ ).

Кровля элювия представляет собой денудационную поверхность, перекрытую щебнистым пролювием (слой  $B_1$ ). Форма изгиба контакта в некоторой степени передается вышележащим слоям (отражено в волнистой поверхности кровли слоя  $B_1$ , а также в прослоях и слоистости внутри вышележащей толщи), что свидетельствует о молодом возрасте складкоподобных форм и о горизонтальном сжатии как об основном источнике механизма деформаций, вскрытых канавой.

Перекрывающая элювий толща представляет собой чередование пролювиальных и аллювиальных отложений. В основании этой толщи залегает средне-крупнощебнистый пролювий (слой  $B_1$ ), в левой части канавы достигающий мощности один метр. В пределах щебенки разрывные нарушения практически не прослеживаются, что объясняется отсутствием плотного наполнения межщебнистого пространства. Выше щебенки залегает серия слоев, сложенных песком, дресвой и щебнем в различных сочетаниях. В кровле этой серии на всем протяжении уступа прослеживаются выклинивающиеся слои и прослои (а также карманы–скопления) погребенных почвенных горизонтов разного возраста ( $S, S_1 - S_4$ ), представленные гумусированной супесью черного цвета. Почвенные слои  $S_1$  и  $S_4$  деформированы совместно с нижележащими осадками и перекрыты слоем щебенки ( $B_2$ ) среднего и крупного размера мощностью до 0.5–1.0 м. Этот слой щебенки подстилает песчано-щебнистую толщу с формирующейся от ее поверхности современной почвой ( $S_5$ ). Вблизи верхней бровки уступа в этой толще (слои  $S_5$  и  $B_2$ ) особенно значительно содержание крупного щебня и небольших глыб.

Основные маркирующие горизонты – два слоя щебенки ( $B_1$  и  $B_2$ ) и «желтый» дресвяно-песчано-щебнистый слой ( $E$ ) – прослеживаются вдоль всего разреза канавы. Наличие непротяженных слоев и прослоев обусловлено особенностью осадконакопления и сноса. В разрезе отсутствуют коллювиальные клинья, формирование которых невозможно без возникновения свободной поверхности при росте уступа. Отсутствие свободной поверхности было вызвано тем, что главным проявлением сейсмогенной деформации стал видимый изгиб слоев, в некоторой степени повторяющий форму поверхности уступа. Изгибовые деформации сопровождались образованием пологонаклонных трещин в осадочной толще, заключенной между нижним и верхним слоями щебня. Раскрытие этих трещин, проявившееся для наиболее плотных слоев (рис. 10), может свидетельствовать о косом сжатии по отношению к простираанию трещин и наличии



**Рис. 10.** Вид на южную стенку канавы Т-1.

Характерные наклонные трещины как разновидность сколов, возникающих в плотных осадках при деформациях, вызванных горизонтальным сжатием. Крайняя правая трещина на фотографии соответствует трещине  $F_{22}$  на рис. 9.

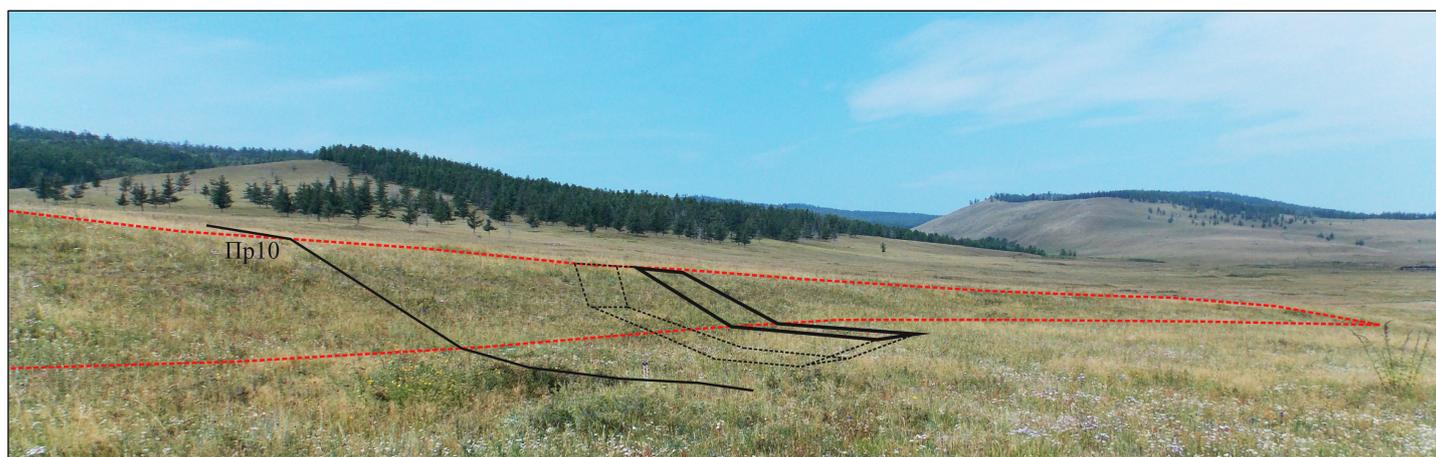
**Fig. 10.** View of the southern wall of trench T-1.

Oblique cracks are a variety of shear fractures that occur in dense sediments due to horizontal compression. The far right fracture in the photo corresponds to fracture  $F_{22}$  in Fig. 9.

сдвиговой компоненты. На наличие сдвиговой компоненты указывают и псевдосбросовые смещения по трещинам. Некоторые трещины развиты лишь в пределах осадочных слоев, другие прослеживаются и в элювии, имея унаследованную природу.

*Палеосейсмическая интерпретация разреза канавы Т-1.* Из представленного разреза можно сделать вывод о двух этапах сейсмотектонической активизации, разделенных временем, в течение которого шла деградация существовавших ранее форм рельефа с образованием относительно ровной поверхности. О тектонических подвижках раннего этапа свидетельствуют деформации в элювиальной толще, представленные трещинами с наклоном сместителя от первых градусов до 30–40° и общим для всех азимутом падения около 310°. Видимая амплитуда смещения по отдельным разрывам превышает 1.5 м. Деформации выполнены в виде пластинчатых (чешуйчатых) надвигов. Унаследованный характер трещин говорит о том, что на раннем этапе активизации процессы, вызвавшие развитие трещин, были аналогичны тем, которые были активизированы и значительно позже.

Сейсмотектоническая активизация последнего этапа отражена в деформациях осадочной толщи, перекрывающей элювиальные образования. Эти деформации представлены в виде трещин, в том



**Рис. 11.** Место проходки канавы Т-3 через сейсмогенный уступ (показана ломаным параллелепипедом в черных сплошных и пунктирных линиях). Красными пунктирными линиями показаны верхняя и нижняя бровка уступа.

**Fig. 11.** Trench T-3 location across the seismogenic bench (shown by solid and dashed lines). Red dashed lines show the upper and lower edges of the bench.

числе и трещин растяжения, а также в виде волнообразной формы поверхности на границе раздела слоев. Складчатым деформациям последнего этапа также подвержены элювиальные отложения. Трещины деформируют всю толщу осадков, за исключением современного почвенно-растительного слоя.

*Описание разреза канавы Т-2.* Канавы (см. рис. 9) пройдена со стороны правого борта временного водотока, однако в отличие от канавы Т-1 вскрывает уступ, деформирующий не террасированную поверхность, а склон предгорной равнины, поэтому верхняя часть разреза, перекрывающая элювий, по своему составу отличается от разреза канавы Т-1. Прежде всего это выражается в отсутствии выдержанной по простиранию стратифицированной последовательности слоев и преобладании небольших линз и прослоев несортированных щебня, дресвы, грубозернистого песка длиной до 1–2 м. Кровля этого делювиально-коллювиального шлейфа разбита множеством трещин, образующих карманы, заполненные гумусированной супесью с включениями дресвы и мелкого щебня. Нижняя часть разреза, как и в канаве Т-1, представлена мелко-среднещебнистым элювием, разбитым трещинами. Некоторые из них ( $F_8$ ,  $F_{10}$  и  $F_{11}$ ) имеют продолжение в перекрывающей делювиально-коллювиальной толще. Трещины со смещением полого падают в сторону хребта. На восточном фланге канавы трещина  $F_8$  продолжает зияющий заполненный песком разрыв Х-образной формы. В трещине захоронены небольшие фрагменты почвенного слоя, из которых отобрана единственная в этой канаве проба на радиоуглеродный анализ. Возраст этой

пробы определяет нижнюю границу времени образования трещины.

*Описание разреза канавы Т-3.* Канавы Т-3 пройдена в 5 км юго-западнее сомона Монгонморьт, на участке между выходами из предгорий долин Баруун бурхийн гол и Тосонгийн гол (см. рис. 5 и 6). Канавой вскрыт уступ в основании предгорной наклонной равнины шириной около 400 м. Уступ имеет крутизну около  $15^\circ$  и высоту 2.0–2.5 м (рис. 11). Подножие уступа представлено пологой поверхностью (первые градусы), примыкающей к заболоченной долине правого притока Баруун бурхийн гол.

Канавы пройдена с помощью экскаватора и имеет длину 18 м и глубину до 3.2 м. На рисунке 12 представлена документация обеих стенок канавы, наглядно показывающая степень изменчивости разреза по простиранию уступа. Значительное различие в строении разрезов противоположных стенок вызвано отсутствием в приповерхностной толще стратифицированных отложений. Строение представленных разрезов свидетельствует, что исследуемый уступ не является результатом эрозийных процессов. В стенках канавы преобладают щебнисто-дресвяные отложения, перекрытые современным почвенно-растительным слоем. Непротяженные, до 1–2 м, и толщиной в первые сантиметры прослойки песка и дресвы во вмещающей щебнистой массе в пределах лежащего крыла (восточный фланг разрезов) могут быть результатом местной сортировки, например при ливнях, в руслах временных водотоков и т.п.

Уступ формировался под воздействием тектонических движений, в результате которых вися-

Канавы Т-3 Керуленская ПСС 23 августа 2014 г.

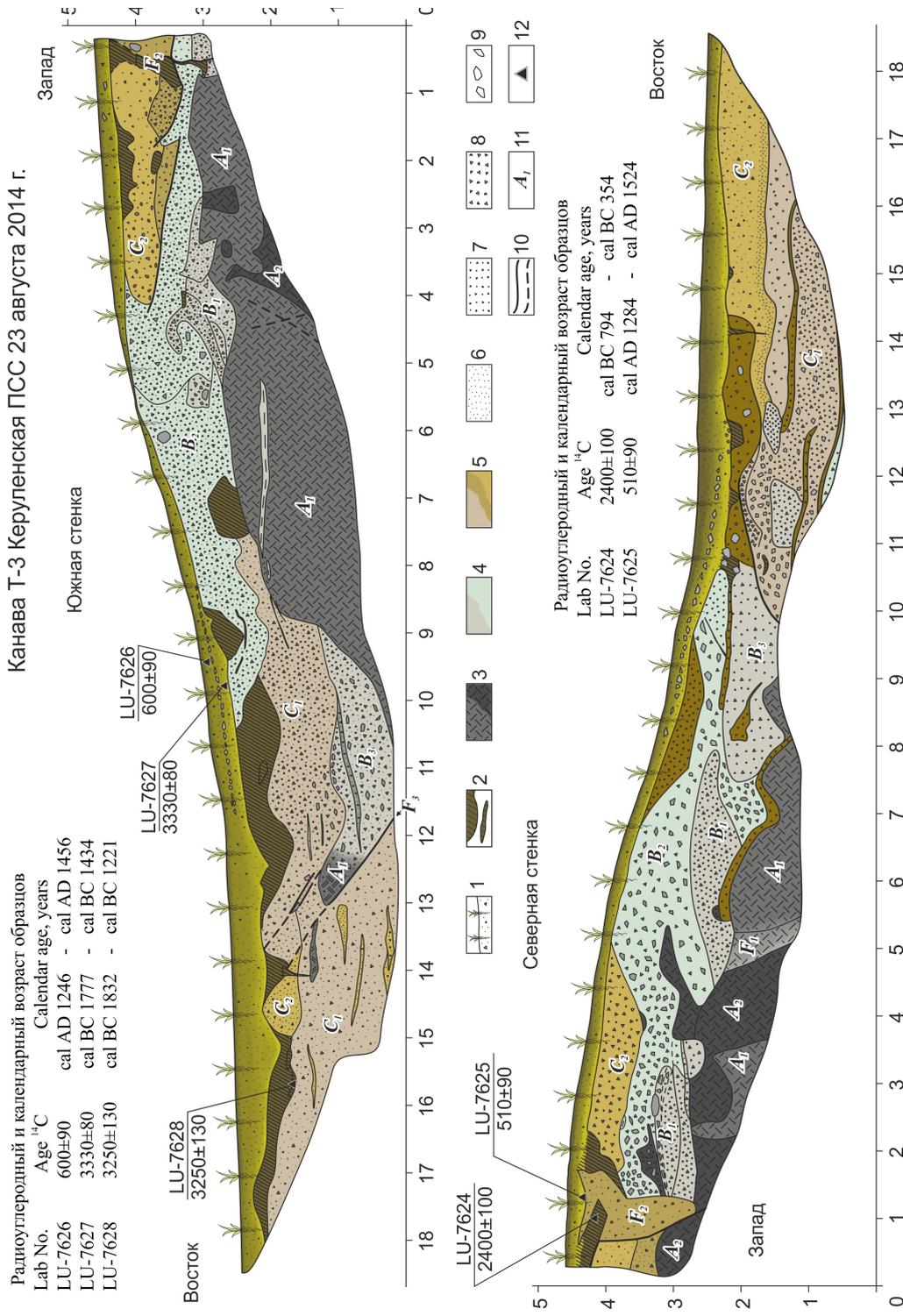


Рис. 12. Схематические разрезы стенок канавы Т-3 с информацией о калиброванном возрасте радиоуглеродных датировок.

1 – современный почвенно-растительный слой; 2 – погробенные почвенные горизонты, содержащие гумус; 3 – коренные дезинтегрированные породы, гранитоиды; 4 – элювий (деформированный, частично смещенный); 5 – стратифицированные осадки; 6 – песок, гравий; 7 – древесина, мелкий щебень; 8 – щебень; 9 – щебень, небольшие глыбы; 10 – разрывные нарушения – явные и предполагаемые (пунктир); 11 – индексы слоев и плоскостей смещений, упоминающиеся в тексте; 12 – места отбора радиоуглеродных проб. Радиоуглеродный возраст определен в лаборатории научно-исследовательской части Института наук о Земле СПбГУ (заведующий проф. Х.А. Арсланов). Калибровка датировок выполнена с помощью программы Calib Rev 7.0.0 [Stuiver, Reamer, 1993].

Fig. 12. Schematic sections of trench T-3 walls, and calibrated radiocarbon datings.

1 – modern top soil; 2 – buried soil horizons containing humus; 3 – disintegrated indigenous rocks, granitoids; 4 – eluvium (deformed, partially offset); 5 – stratified sediments; 6 – sand, gruss, gravel; 7 – gruss, fine gravel; 8 – gravel; 9 – gravel, small boulders; 10 – detected and inferred faults (solid and dashed lines, respectively); 11 – indices of layers and shearing planes mentioned in the text; 12 – radiocarbon sampling site. Radiocarbon ages were determined by the laboratory headed by Prof. H.A. Arslanov at the Institute of Earth Sciences in St. Petersburg State University. Dating calibration was done by Calib Rev 7.0.0 software [Stuiver, Reamer, 1993].

чем западном крыле коренные породы (на схеме толщ с индексами  $A_1$  и  $A_2$ ) практически выведены к поверхности и перекрыты лишь незначительными по мощности (1.0–1.5 м) элювиально-делювиальными отложениями (толщ  $B_1$ ,  $B_2$ ). Максимальная видимая мощность коренных пород более 1.5 м. Они представлены сильно трещиноватыми гранитоидами, разрушенными по наиболее значительным границам отдельностей до состояния дресвы. Некоторые участки зоны коренных пород раздроблены до состояния плотноупакованного щебня. В общей серой массе коренных пород выделяются участки черного цвета с крутопадающими границами. В северной стенке, в пределах коренного ложа, в виде крутопадающей полосы шириной до 0.5 м определяется трещина ( $F_1$ ). Трещина отличается от вмещающих коренных пород более светлым оттенком и повышенной рыхлостью гранитного субстрата.

Коренные породы перекрыты элювием (толщ  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$ ), по составу идентичным коренному основанию. Граница между коренным ложем и элювием достаточно четкая. Элювий представлен значительно более рыхлой массой щебня и дресвы серого цвета, часто имеющей коричневатый оттенок. Внутренние неоднородности элювия по составу и цвету наследуются от свойств первоначального субстрата, а также не в последнюю очередь связаны с его деформациями в процессе роста уступа, под гравитационным или сейсмическим воздействием (наличие четких внутренних контактов, горизонтальное расслоение и пр.).

В морфологии кровли элювия отражены неоднократные воздействия приповерхностного перемещения грунта с последующей стабилизацией профиля поверхности. Таких циклов было не менее двух. Об этом свидетельствуют фрагменты погребенных почв, затянутые в трещины у кровли элювия, а в отдельных случаях полностью перекрытые элювием.

Некоторое подобие стратификации отложений установлено на восточном фланге канавы в пределах лежащего крыла разлома. Эти отложения ( $C_1$ ,  $C_2$ ) представлены преимущественно теми же дресвой и щебнем, что и элювий. В основании верхних слоев появляются отмытые песок и гравий. Слоистость, близкая к горизонтальной, слабоволнистая. По всей мощности толща осложнена тонкими, в первые сантиметры, и непротяженными по латерали, до 1–2 м, прослоями грубозернистого песка и дресвы. По некоторым границам отмечаются вторичные изменения в виде ожелезнений с характерным ржавым цветом.

Завершает разрез формирующаяся от поверхности современная и непосредственно снизу к ней примыкающая погребенная почва. Почвенные го-

ризонты хорошо развиты, с большим содержанием гумуса, имеют насыщенный черный или темно-бурый цвет. В минеральном составе почвы преобладает песок различных фракций, с большим содержанием мелкого гравия с включениями щебня. На участке склона уступа почва средним и мелким щебнем разделена на два разновозрастных слоя.

*Палеосейсмическая интерпретация разреза канавы Т-3.* Наиболее явные деформации, вызванные сейсмическими подвижками, расположены вблизи верхней бровки уступа и в восточной части канавы.

Первая группа деформаций выходит к поверхности у верхней бровки уступа и состоит из полого наклонных в сторону хребта плоскостей раздела между коренными породами и элювием. Эти плоскости прерывисты и не образуют единой линии разлома, что можно объяснить последующими смещениями грунта. Таким образом, плоскости разрыва, выходящие к верхней бровке уступа, сформировались в результате двух сейсмособытий: наиболее древнего для данной канавы (Событие 2-Т3) и следующего за ним События 1-Т3.

Событие 1-Т3 ознаменовалось не только осложнением возникших ранее деформаций, но и образованием внушительной клинообразной трещины ( $F_2$ ), уходящей своим острием в коренные породы. Трещина вертикальная, глубиной более двух метров и шириной у основания почвы более одного метра. Трещина заполнена рыхлым обломочным материалом, а также обрывками погребенных почв. Для определения возраста события 1-Т3 были отобраны пробы на радиоуглеродный анализ из гумусированного материала, захороненного в трещине (LU-7624), и из основания почвы, перекрывающей данную трещину (LU-7625). Трещина прослеживается в обеих стенках канавы. Она возникла на месте перегиба верхней кромки уступа в результате нарушения сплошности поверхности при изгибе и сползании грунта, слагающего склон уступа.

Вторая группа деформаций расположена в восточной части канавы. Здесь, как уже отмечалось выше, по серии наклонных плоскостей контактируют породы элювия и стратифицированные слоистые отложения. Плоскости раздела ( $F_3$ ) падают под уступ с наклоном 35–37°. При подходе к поверхности они формируют стенки трещин, заполненных, в том числе, и гумусированными осадками. Образование подпочвенных карманов связано с палеособытием 2-Т3.

## 5. ВОЗРАСТ И МАГНИТУДЫ ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

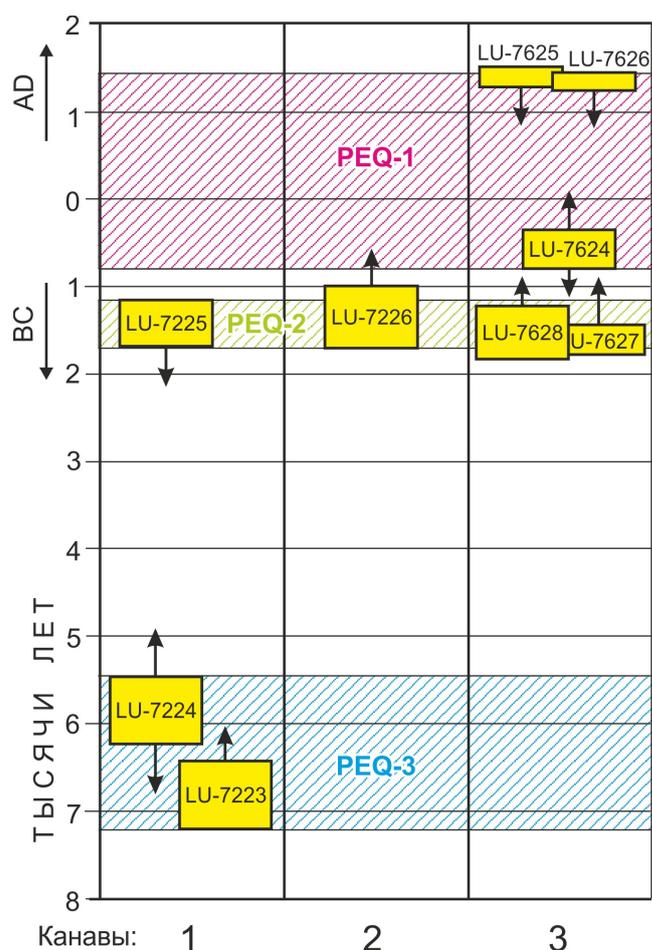
Ранее по результатам тренчинговых исследований 2010–2012 г. нами были определены абсолютный возраст палеоземлетрясений в зонах сейсмо-

генерирующих Гунжинского и Хустайского разломов [Imaev et al., 2012; Smekalin et al., 2013]. И, хотя в разрезах канав нами устанавливались следы как минимум двух разрывообразующих событий, получить абсолютный возраст радиоуглеродным методом нам удавалось лишь для самых последних событий. В случае с дислокациями Керуленской структуры, по результатам датирования девяти проб (3 в канаве Т-1, 1 в канаве Т-2 и 5 в канаве Т-3) радиоуглеродным методом определен абсолютный возраст трех последних событий.

Для удобства рассмотрения в тексте и на схеме корреляции (рис. 13) приняты следующие краткие обозначения для палеоземлетрясений: PEQ-1, PEQ-2 и PEQ-3. В их названии используется аббревиатура от английского словосочетания *Prehistoric Earthquake*. При этом для ранее рассмотренных событий в канаве Т-3 устанавливается следующее соответствие. Палеособытию 1-Т3 соответствует палеоземлетрясение PEQ-1, для 2-Т3 – PEQ-2. Двойная индексация вводится для разделения палеособытий, вскрытых в каждой из канав, и палеособытий для Керуленской палеосейсмогенной структуры в целом.

Для Керуленской палеосейсмогенной структуры абсолютный возраст наиболее молодого палеособытия (PEQ-1) установлен по датировкам проб, отобранных из канавы Т-3. Верхняя граница временного интервала отбивается пробами LU-7625 и LU-7626, взятыми с подошвенной части слоя современной почвы. Нижнюю границу временного интервала PEQ-1 дает проба гумусосодержащей супеси (фрагмент захороненной почвы) LU-7624, отобранная из заполнения вертикальной трещины над верхней бровкой сейсмогенного уступа. Эта трещина образовалась во время последнего события (PEQ-1). Вскрывшийся ниже по склону фрагмент элювия (слой  $B_2$ ) стал источником щебня, подобно коллювиальному клину, частично перекрывшему нижнюю часть склона уступа. В канавах 1 и 2, расположенных севернее сомона Монгонморьт, событие PEQ-1 не привело к столь же значимым перемещениям крыльев разлома, что подтверждается разрезами (см. рис. 9). Можно предполагать, что PEQ-1 характеризуется меньшей магнитудой в сравнении с предшествовавшим ему PEQ-2, связанные с последним деформации вскрыты во всех трех канавах. Календарный возраст PEQ-1 определяется крайними значениями калиброванных дат, рассчитанных для проб LU-7626 (верхняя граница) и LU-7624 (нижняя граница), и равен интервалу  $cal BC 794 - cal AD 1456$ .

Интервальный возраст PEQ-2 обеспечен шестью радиоуглеродными датировками из трех канав. В канавах Т-1 и Т-2 для оценки нижних границ временных интервалов сейсмособытий датированы



**Рис. 13.** Схема корреляции значений календарного возраста Керуленской структуры.

Прямоугольные области с диагональной штриховкой – интервальный возраст палеоземлетрясений. В двух правых колонках серые прямоугольники со стрелками отражают положение калиброванных радиоуглеродных датировок на временной шкале. Высота прямоугольников определяет вероятный интервал формирования почвенного слоя. Стрелка вверх означает, что данная проба отобрана из слоя, деформированного при землетрясении, стрелка вниз – проба отобрана из слоя, перекрывающего сейсмогенные осадки.

**Fig. 13.** The calendar age correlation for the Kerulen structure.

Rectangular areas (diagonal hatching) – interval ages of palaeo-earthquakes. In the two right columns, gray rectangles with arrows show positions of the calibrated radiocarbon datings in the scale of time. Rectangle heights correspond to probable time intervals of soil formation. Arrows: up – sampling from the layer deformed by the earthquake, down – sampling from the layer overlying seismogenic sediments.

гумусированные прослои в деформированных отложениях, причем есть среди разрывов такие, которые, возникнув при более раннем событии, не обновлялись при последнем палеоземлетрясении (например,  $F_1$  и  $F_6$ ). Из погребенных почв, которые вместе с вмещающими слоями были деформирова-

ны или перемещены во время последнего палеособытия (PEQ-2), датированы образцы LU-7224 и LU-7226. В канаве Т-1 пробой LU-7224 датирован фрагмент почвенного горизонта  $S_4$ . В правой части разреза канавы другой фрагмент этого слоя перекрывает разрыв  $F_1$ , связанный с предпоследним событием (вблизи места отбора пробы LU-7223). Во второй канаве фрагмент почвы при последнем палеоземлетрясении был отчленен от дернового слоя и перемещен на дно раскрывшейся трещины. Впоследствии этот фрагмент почвы был перекрыт коллювием  $B_3$ , а сама трещина заполнилась крупнозернистым песком слоя  $A_1$ . Верхняя граница PEQ-2 определяется возрастом пробы LU-7225, отобранной из подошвы современного почвенно-растительного горизонта  $S_5$ . Деформации PEQ-2 отражены в разломах  $F_7, F_{21}, F_8, F_{10}$  и  $F_{11}$ , а также в скоплениях мощных гумусированных почв и гравийно-щебнистых масс в карманах, приуроченных к трещинам растяжения (например,  $F_7, F_8, F_{21}$ ) или к участкам разрыва приповерхностного дернового слоя (в настоящее время находящихся под современной почвой).

В канаве Т-3 основные деформации, вызванные PEQ-2, выражены смещениями по пологим плоскостям. Эти смещения старше новообразований в виде вертикальных трещин растяжения и моложе фрагментов почв, образующих карманы в относительно рыхлых квазистратифицированных образованиях. Реже такие карманы отмечаются на поверхности элювия. В канаве Т-3 интервальный возраст PEQ-2 ограничен сверху пробой LU-7624, снизу – пробами LU-7627 и LU-7628.

Таким образом, с учетом шести датировок из трех канав возраст PEQ-2 находится между крайними значениями календарных (калиброванных) дат проб LU-7225 (верхняя граница) и LU-7226 (нижняя граница), образующих пару с наиболее узким временным интервалом – *cal BC 1702 – cal BC 1152*.

Деформации события PEQ-3 отчетливо фиксируются в первой канаве (Т-1) по разрывам  $F_1, F_6, F_2$  и  $F_{22}$ . Нижняя возрастная граница датируется пробой LU-7223, отобранной из разорванного почвенного слоя  $S_3$ . Разрыв, секущий слой  $S_3$ , упирается в песочную линзу, которая, в свою очередь, перекрыта почвенным прослоем  $S_4$ . Эти надразломные слои сформировались после подвижек по разрыву  $F_1$ , и время их формирования определяет верхнюю границу абсолютного возраста палеособытия. В первой канаве, в склоновой и в подошвенной части уступа, погребенный почвенный слой  $S_4$  лежит сразу же под современной почвой  $S_5$  и наносом среднего и крупного щебня (слой  $B_2$ ). Для определения возраста слоя  $S_4$  из его фрагмента в средней части канавы была отобрана проба LU-7224. После ка-

либровки радиоуглеродного возраста временной интервал абсолютного возраста PEQ-3 установлен в пределах *cal BC 5466 – cal BC 7201*.

В определении максимального сейсмического потенциала Керуленской структуры использованы параметры длины дислокации и амплитуды разового смещения. В целом протяженность ( $L$ ) неоднократно вскрывавшегося разлома за вышеуказанный период составляет 47 км. Последнюю подвижку с амплитудой вертикального смещения ( $D$ ) до 1.3 м можно распространять (на основании идентичности морфометрических характеристик уступов) на северный фланг разлома протяженностью 20 км с незначительными перерывами. Наиболее реальную оценку величины палеоземлетрясения можно получить по соотношениям типа  $ML=f(L)$  и  $MD=f(D)$  для взбросо-сдвигов активизированных платформ, в том числе и по Монголии [Chipizubov, 1998]. По соотношению  $ML=1.07 \cdot \lg L + 5.65$  магнитуда палеособытия составит  $7.04 \pm 0.23$ , а по соотношению  $MD=1.1 \cdot \lg D + 7.0$   $M=7.12 \pm 0.42$ .

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мезокайнозойские впадины Южного Забайкалья являются наиболее удобными пространствами для размещения на этой обширной территории промышленных и инфраструктурных объектов. Исторически сложилось, что именно во впадинах, геоморфологически и по геологическому строению схожих с рассмотренной в статье Верхнекеруленской впадиной, расположены наиболее крупные города региона и значимые промышленные объекты (города Улан-Удэ, Улан-Батор, Гусиноозерская ГРЭС и пр.). Проведенные сейсмогеологические исследования показывают, что активные разломы в бортах забайкальских впадин наследуют разрывные структуры, оформившиеся на завершающем этапе каледонской складчатости, т.е. до заложения впадин. Именно благодаря этому наследованию современные активные разломы имеют взбросовую кинематику, а их расположение не совпадает с границами впадин мезозойского возраста. Причиной же активизации данных разломов является продолжающийся рост сводового поднятия, хотя и не столь интенсивный, как в позднем палеозое или мезозое. При этом наиболее интенсивные вертикальные движения отнесены к периферийным областям мегасвода (т.н. подножию), где на месте широко развитых мезозойских депрессий в кайнозое сформировался холмистый и среднегорный рельеф. Основным энергетическим источником вертикальных движений, вероятно, все еще остаются глубинные процессы, вызывающие разуплотнение магматических тел при их остывании и растрески-

вании. Таким образом, представленные данные о строении и сейсмотектонике Верхнекеруленской впадины имеют значение для понимания процессов, определяющих развитие мезокайнозойских структур на современном этапе.

Проведенные сейсмогеологические исследования, в результате которых определены магнитуды и абсолютный возраст для трех палеоземлетрясений, подтверждают высокий сейсмический потенциал Верхнекеруленской впадины. Это требует корректировки представлений о сейсмической безопасности столицы Монголии и ее окрестностей. Высокий сейсмический потенциал мезокай-

нозойских впадин (М до 7.0–7.5) подтверждается и ранее проведенными исследованиями Тольской, Гусиноозерской, Кличкинской впадин [Lastochkin, 1982; Demberel et al., 2011; Smekalin et al., 2010, 2013; Chipizubov et al., 2015].

## 7. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00224, а также Минобрнауки РФ (Гос. задание в сфере научной деятельности № 5.1771.2014/К).

## 8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Aprodiv V.A., 1960. About neotectonics and seismicity of the territory of the Mongolian People's Republic. In: Seismology Board Bulletin, Issue 10. Problems of Seismotectonics of the Pribaikalie and Adjacent Territories. Publishing House of the USSR Acad. Sci., Moscow, p. 121–133 (in Russian) [Апродов В.А. О неотектонике и сейсмичности территории Монгольской Народной Республики // Бюллетень Совета по сейсмологии. № 10. Вопросы сейсмотектоники Прибайкалья и смежных территорий. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 121–133].
- Bucknam R.C., Anderson R.E., 1979. Estimation of fault scarp ages from a scarp-height-slope-angle relationship. *Geology* 7 (1), 11–14. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(1979\)7<11:EOFAFA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(1979)7<11:EOFAFA>2.0.CO;2).
- Chipizubov A.V., 1998. Revealing of one-act and coeval paleoseismodislocations and determination of paleoearthquake magnitudes by their scales. *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* 39 (3), 386–398.
- Chipizubov A.V., Smekalin O.P., Imaev V.S., 2015. Paleoseismic dislocations in the Klichka thrust zone, southeastern Transbaikalia. *Seismic Instruments* 51 (2), 146–156. <http://dx.doi.org/10.3103/S0747923915020024>.
- Demberel S., Batarsuren G., Imaev V.S., Strom A.L., Smekalin O.P., Chipizubov A.V., Grib N.N., Syasko A.A., Kachaev A.V., 2011. Paleoseismogenous deformations around Ulan Bator according to geological and geophysical data. *Seismic Instruments* 47 (4), 314–320. <http://dx.doi.org/10.3103/S0747923911040025>.
- Ferry M., Schlupp A., Ulzibat M., Munsch M., Fleury S., Baatarsuren G., Erdenezula D., Munkhsaikhan A., Ankhtsetseg D., 2010. Tectonic morphology of the Hustai fault (Northern Mongolia): A source of seismic hazard for the city of Ulaanbaatar. *Geophysical Research Abstracts* 12, EGU2010-11122. Available from: <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-11122.pdf>.
- Geological map of Mongolia*. Scale 1:1000000, 1998. Mineral resources authority of Mongolia, Mongolian academy of sciences, Institute of geology and mineral resources, Ulaanbaator.
- Imaev V.S., Smekalin O.P., Strom A.L., Chipizubov A.V., Syas'ko A.A., 2012. Seismic-hazard assessment for Ulaanbaatar (Mongolia) on the basis of seismogeological studies. *Russian Geology and Geophysics* 53 (9), 906–915. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2012.07.006>.
- Komarov Yu.V., Logatchev N.A., Zhamsran M., 1980. Orogenic tectonics of Mongolia. *Geologiya i Geofizika (Russian Geology and Geophysics)* (9), 32–44 (in Russian) [Комаров Ю.В., Логачёв Н.А., Жамсран М. Орогенная тектоника Монголии // Геология и геофизика. 1980. № 9. С. 32–44].
- Lastochkin S.V., 1982. On seismogeology of the Western and Central Transbaikalia. In: Late Pleistocene and Holocene of the Southern regions of East Siberia. To the XI-th INQUA Congress in the USSR. Moscow, Novosibirsk, p. 136–145 (in Russian) [Ласточкин С.В. К сейсмогеологии Западного и Центрального Забайкалья // Поздний плейстоцен и голоцен юга Восточной Сибири. К XI Конгрессу INQUA в СССР. Москва–Новосибирск, 1982. С. 136–145].
- Marinov N.A., Khasin R.A., Khurts Ch. (Eds.), 1977. *Geology of the Mongolian People's Republic. V. III. Mineral Deposits. Nedra, Moscow, 703 p.* (in Russian) [Геология Монгольской Народной Республики. Т. III. Полезные ископаемые / Ред. Н.А. Маринов, Р.А. Хасин, Ч. Хурц. М.: Недра, 1977. 703 с.].
- Smekalin O.P., Chipizubov A.V., Imaev V.S., 2010. Paleoearthquakes in the Baikal region: Methods and results of timing. *Geotectonics* 44 (2), 158–175. <http://dx.doi.org/10.1134/S0016852110020056>.
- Smekalin O.P., Imaev V.S., Chipizubov A.V., 2013. Paleoseismic studies of the Hustai Fault zone (Northern Mongolia). *Russian Geology and Geophysics* 54 (7), 724–733. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rgg.2013.06.007>.
- Solonenko V.P. (Ed.), 1977. *Seismic Zoning of Eastern Siberia and Its Geological and Geophysical Base. Nauka, Novosibirsk, 301 p.* (in Russian) [Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы / Ред. В.П. Солоненко. Новосибирск: Наука, 1977. 301 с.]

Stuiver M., Reimer P.J., 1993. Extended  $^{14}\text{C}$  data base and revised CALIB 3.0  $^{14}\text{C}$  age calibration program. *Radiocarbon* 35 (1), 215–230.

Yanshin A.L. (Ed.), 1974. Tectonics of the Mongolian People's Republic. Nauka, Moscow, 284 p. (in Russian) [Тектоника Монгольской Народной Республики / Ред. А.Л. Яншин. М.: Наука, 1974. 284 с.].



**Смекалин Олег Петрович**, канд. геол.-мин. наук, с.н.с.

Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия  
✉ e-mail: [smekalin@crust.irk.ru](mailto:smekalin@crust.irk.ru)

**Smekalin, Oleg P.**, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS  
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia  
✉ e-mail: [smekalin@crust.irk.ru](mailto:smekalin@crust.irk.ru)



**Чипизубов Анатолий Васильевич**, докт. геол.-мин. наук, с.н.с.

Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия  
e-mail: [chipizub@crust.irk.ru](mailto:chipizub@crust.irk.ru)

**Chipizubov, Anatoly V.**, Doctor of Geology and Mineralogy, Senior Researcher

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS  
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia  
e-mail: [chipizub@crust.irk.ru](mailto:chipizub@crust.irk.ru)



**Имаев Валерий Сулейманович**, докт. геол.-мин. наук, г.н.с.

Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия  
e-mail: [imaev@crust.irk.ru](mailto:imaev@crust.irk.ru)

**Imaev, Valery S.**, Doctor of Geology and Mineralogy, Chief Researcher

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS  
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia  
e-mail: [imaev@crust.irk.ru](mailto:imaev@crust.irk.ru)