



## GEOMETRY OF RECENT RUPTURE ZONE AT CAPE RYTYI BASED ON GROUND PENETRATING RADAR (NORTHWESTERN COAST OF LAKE BAIKAL)

O.V. Lunina <sup>1</sup>✉, I.A. Denisenko <sup>1</sup>, A.A. Gladkov <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

<sup>2</sup> Supplementary Education Center for Children, Ministry of Education of Irkutsk Region, 5-6 Sergeev St, Irkutsk 664043, Russia

**ABSTRACT.** In here, we present the results of the GPR study of the modern rupture zone discovered earlier in the periphery of the Rita River delta flowing into Lake Baikal. The research was aimed at subsurface imaging of dislocation geometry using the Logis-Geotech OKO-2 radar equipped with the ABDL Triton antenna. As a result, the characterizations have been obtained for six 73 to 197 m long profiles across the rupture zone. All disturbances visible on the aerial photography materials are highlighted on the radargrams by the oblique reflection event due to a decrease in the signal amplitude. The rupture zone has two large segments – northeastern and submeridional, – which differ in zone width, number of discontinuities, dip angles, and displacement amounts. The deformation features can be attributed to different amounts of a plastic loamy aggregate of coarse deposits in different parts of the Rita River delta that is indirectly confirmed by weaker signal amplitudes on the northeastern segment. Based on present and previous studies, we proposed that the M=5.2 earthquake occurred on August 13, 1962, in Lake Baikal initiated the gravitational sinking in the Rita river delta edge by subsidence along gently sloped rupture surfaces on one segment and along steeply sloped ones on the other. It is necessary to identify and monitor such phenomena to prevent the development of emergencies associated with the collapse of the coasts of large water reservoirs.

**KEYWORDS:** zone; rupture; displacement; subsidence; delta; ground penetrating radar

**FUNDING:** The study was funded by Russian Science Foundation grant 22-27-00064 (<https://rscf.ru/project/22-27-00064/>).

### SHORT COMMUNICATION

Received: January 10, 2022

Revised: February 20, 2022

Accepted: March 21, 2022

**Correspondence:** Oksana V. Lunina, [lounina@crust.irk.ru](mailto:lounina@crust.irk.ru)

**FOR CITATION:** Lunina O.V., Denisenko I.A., Gladkov A.A., 2022. Geometry of Recent Rupture Zone at Cape Rytyi Based on Ground Penetrating Radar (Northwestern Coast of Lake Baikal). *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (3), 0633. doi:10.5800/GT-2022-13-3-0633

## ГЕОМЕТРИЯ ЗОНЫ СОВРЕМЕННЫХ РАЗРЫВОВ НА МЫСЕ РЫТОМ ПО ДАННЫМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ (СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗ. БАЙКАЛ)

О.В. Лунина<sup>1</sup>, И.А. Денисенко<sup>1</sup>, А.А. Гладков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

<sup>2</sup> ГАУ ДО ИО «Центр развития дополнительного образования детей», детский технопарк «Кванториум Байкал», 664043, г. Иркутск, ул. Сергеева, 5/6, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Представлены результаты георадиолокационного изучения современной зоны разрывов, обнаруженной авторами ранее в периферийной части дельты р. Рита, впадающей в оз. Байкал. Работы проведены с целью прослеживания геометрии дислокаций на глубину при помощи георадара ОКО-2 в комплекте с антенным блоком АБДЛ Тритон. В результате вкрест простирания зоны разрывов охарактеризовано шесть профилей протяженностью от 73 до 197 м. Все разрывы, видимые на материалах аэрофотосъемки, выделяются на радарограммах по наклонной оси синфазности, которая образуется за счет понижения амплитуды сигнала. По простиранию зона нарушений разделяется на два крупных сегмента: северо-восточный и субмеридиональный. Первый от второго отличается большей шириной зоны, числом разрывов, более пологими углами их падения и меньшими амплитудами подвижек. Особенности деформирования могут быть обусловлены разным количеством пластичного суглинистого заполнителя грубообломочных отложений в разных частях дельты, что косвенно подтверждается более слабыми амплитудами сигналов на радарограммах северо-восточного сегмента. По результатам этих и предыдущих исследований высказано предположение о том, что землетрясение 13.08.1962 г. с  $M=5.2$  в оз. Байкал могло запустить процесс гравитационного опускания на окраине дельты р. Рита, который на одном сегменте реализуется в основном путем оседания по пологим нарушениям, на другом – по крутым. Необходимо выявление и мониторинг подобных деформаций для предотвращения развития чрезвычайных ситуаций, связанных с обрушением побережий крупных водоемов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** зона; разрыв; смещение; оседание; дельта; георадиолокация

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00064 (<https://rscf.ru/project/22-27-00064/>).

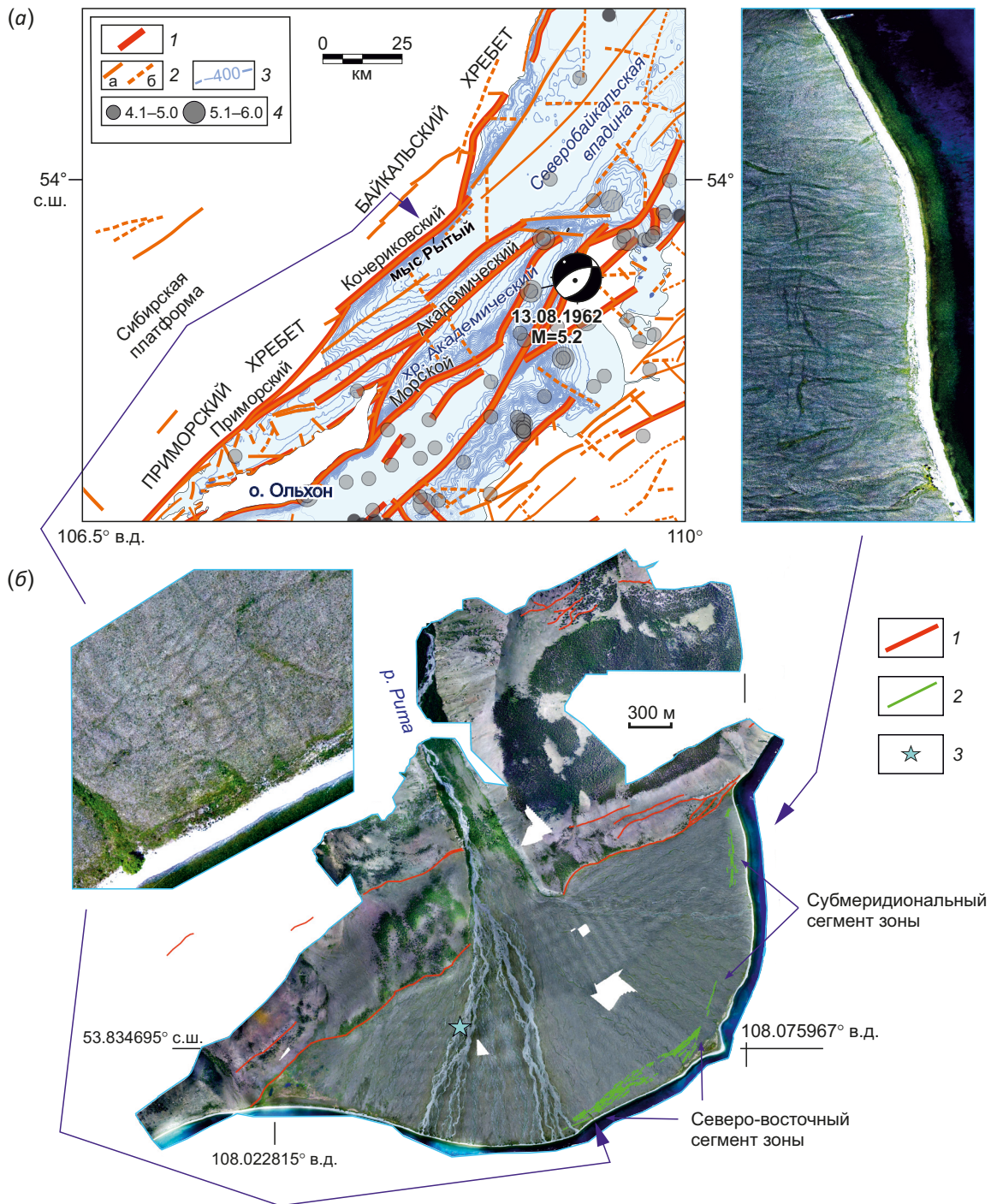
### 1. ВВЕДЕНИЕ

Большинство крупных дельт мира интенсивно заселены и при этом нередко испытывают опускания в своей фронтальной части [Schmidt, 2015]. Причины и механизмы реализации этого процесса могут быть разные, поэтому изучение деформаций в дельтовых отложениях даже малых по мировым меркам рек имеет важнейшее значение. Мыс Рытый на северо-западном побережье оз. Байкал является конусом выноса р. Рита и, по сути, также представляет собой небольшую необитаемую дельту (рис. 1). Устье реки имеет несколько рукавов, хотя одновременно они могут действовать только в многоводные для местности периоды. В летнее время вода в русле исчезает уже на середине мыса. В результате проведения беспилотной аэрофотосъемки на мысе Рытом впервые обнаружены поверхностные разрывы, группирующиеся в четко локализованную зону, которая состоит из двух крупных сегментов общей протяженностью 2.9 км [Lunina, Gladkov, 2022]. Нарушения расположены в 1.5 км от главного сместителя Кочериковского активного разлома, в 30–150 м от берега оз. Байкал, и представляют собой уступы высотой от 0.2 до 1.84 м согласно измерениям 2019 г. Поскольку поверхность мыса близгоризонтальна, высота уступа в первом приближении ассоциирована с вертикальным смещением.

В предыдущей работе [Lunina, Gladkov, 2022] последовательный анализ имеющихся материалов позволил предположить, что зона разрывов во фронтальной части дельты р. Рита предопределена тектоникой и образовалась как вторичный эффект от землетрясения 13.08.1962 г. с  $M=5.2$ , эпицентр которого находился напротив мыса Рытого, в зоне Морского разлома. Сейсмическое событие могло инициировать формирование нарушений, после чего произошло гравитационное оседание грубообломочных отложений конуса выноса в прибрежной зоне. Целью настоящей работы стало прослеживание и оценка геометрии откартированных разрывов на предельную глубину, которую при благоприятных условиях может обеспечить метод георадиолокации.

### 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Радарограммы, представленные в настоящей статье, получены с помощью георадара ОКО-2 и антенного блока АБДЛ Тритон с частотой 100 МГц, принадлежащих ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН. Эта антенна эффективна в сложных геологических условиях, когда необходимо достичь максимально возможной глубины зондирования при сохранении приемлемой разрешающей способности 0.5 м. В настоящей работе предельный диапазон глубин составил 16 м.



**Рис. 1.** Расположение мыса Рытого на фрагменте карты разломов (а) и его ортофотоплан по данным аэрофотосъемки 2019 г. (б). (а): 1 – сейсмоактивные разломы; 2 – достоверные (а) и предполагаемые плиоцен-четвертичные разломы (б) по авторской базе данных, размещенной на геопортале: <http://activetectonics.ru/>; 3 – изобаты; 4 – эпицентры инструментально зарегистрированных землетрясений с магнитудой  $M \geq 4.1$  в период 1950–2019 гг. по данным Байкальского филиала ФГБУН ФИЦ ЕГС РАН (<http://seis-bykl.ru/index.php>, приведены механизм очага, дата и магнитуда события, ассоциированная с формированием зоны современных разрывов по [Solonenko et al., 1993]).

(б): 1 – палеосейсмогенные разрывы, выраженные на поверхности уступами и линейными понижениями; 2 – современные разрывы в грубообломочных отложениях дельты р. Рита; 3 – место, где водоток уходил под землю 30.06.2019 г.

**Fig. 1.** Location of the Cape Rytuy on the fault map fragment (а) and its orthophotomaps from the 2019 aerial data (б). (а): 1 – seismoactive faults; 2 – known (а) and inferred Pliocene-Quaternary faults (б) from the copyright data posted on the geportal <http://activetectonics.ru/>; 3 – isobaths; 4 – epicenters of  $M \geq 4.1$  earthquakes instrumentally recorded in the period 1950–2019 from the data of the Baikal Branch of the FSBIS FRS GGS RAS (<http://seis-bykl.ru/index.php>, there are presented the focal mechanism, date and magnitude of event associated with the formation of the present-day rupture zone after [Solonenko et al., 1993]).

(б): 1 – paleoseismogenic ruptures with clearly defined steps and linear topographic lows; 2 – present-day ruptures in the coarse-grained delta of the Rita River; 3 – the place the water moved into the ground on July 30, 2019.

Описание метода георадиолокации можно найти в ряде фундаментальных публикаций [Davis, Annan, 1989; Daniels, 2004; и др.]. Стоит лишь упомянуть, что принцип действия используемого оборудования основан на излучении сверхширокополосных импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приеме сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различные электрофизические свойства [Vladov, Starovoytov, 2004].

На мысе Рытом вкрест простирания зоны современных разрывов выполнено шесть георадарных и гипсометрических профилей протяженностью от 73 до 197 м. Высота рельефа местности измерялась электронным тахеометром Leica с шагом 1.0–1.5 м для его учета на радарограммах. Диэлектрическая проницаемость определена исходя из типа преимущественно грубообломочных отложений, слагающих изучаемый участок, и наличия гиперболических на радарограммах, обрабатываемых в программе «GeoScan 32» с помощью стандартных приемов.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

#### 3.1. Северо-восточный сегмент зоны

Георадарный профиль Baik-20 расположен в центральной части мыса Рытого на левобережье р. Рита. Длина профиля составляет 155 м, азимут простирания  $160^\circ$ . В месте исследования на земной поверхности в центральной части профиля наблюдаются малозаметные рвы северо-восточного простирания. В результате интерпретации георадиолокационных данных в интервале 50–120 м была выделена зона разрывов, коррелируемая по пространственному положению с нарушениями на цифровой модели местности (ЦММ) (рис. 2). Разрывы, как и на других радарограммах, выделяются по наклонным осям синфазности, которые образуются за счет понижения амплитуды сигнала в месте разрыва. Наклонные оси слабоконтрастны, что связано, очевидно, с насыщенностью дельтовых обломочных отложений глинистыми осадками. Зону можно условно разделить на два участка. Первый участок расположен в интервале 50–80 м и представлен серией субпараллельных дизъюнктивов юго-восточного падения с углами наклона  $44\text{--}52^\circ$ . Второй участок находится в интервале 90–120 м вблизи уступа, ассоциируемого с террасой озера. Углы разрывных нарушений изменяются от  $57$  до  $85^\circ$ .

Георадарный профиль Baik-21 длиной 196 м, простиранием  $160^\circ$  расположен северо-восточнее предыдущего (рис. 2). Визуально в данном месте разрывы проявляются слабо, но видны на материалах аэрофотосъемки. На радарограмме в интервале 30–150 м выделяется зона, представленная серией субпараллельных разрывов с падением на юго-восток под углами  $36\text{--}71^\circ$ . Картируемые разрывы не просматриваются на георадарном изображении в верхней части разреза, но глубже выражены достаточно хорошо при полном эродировании некоторых из них на дневной поверхности в интервале 100–150 м.

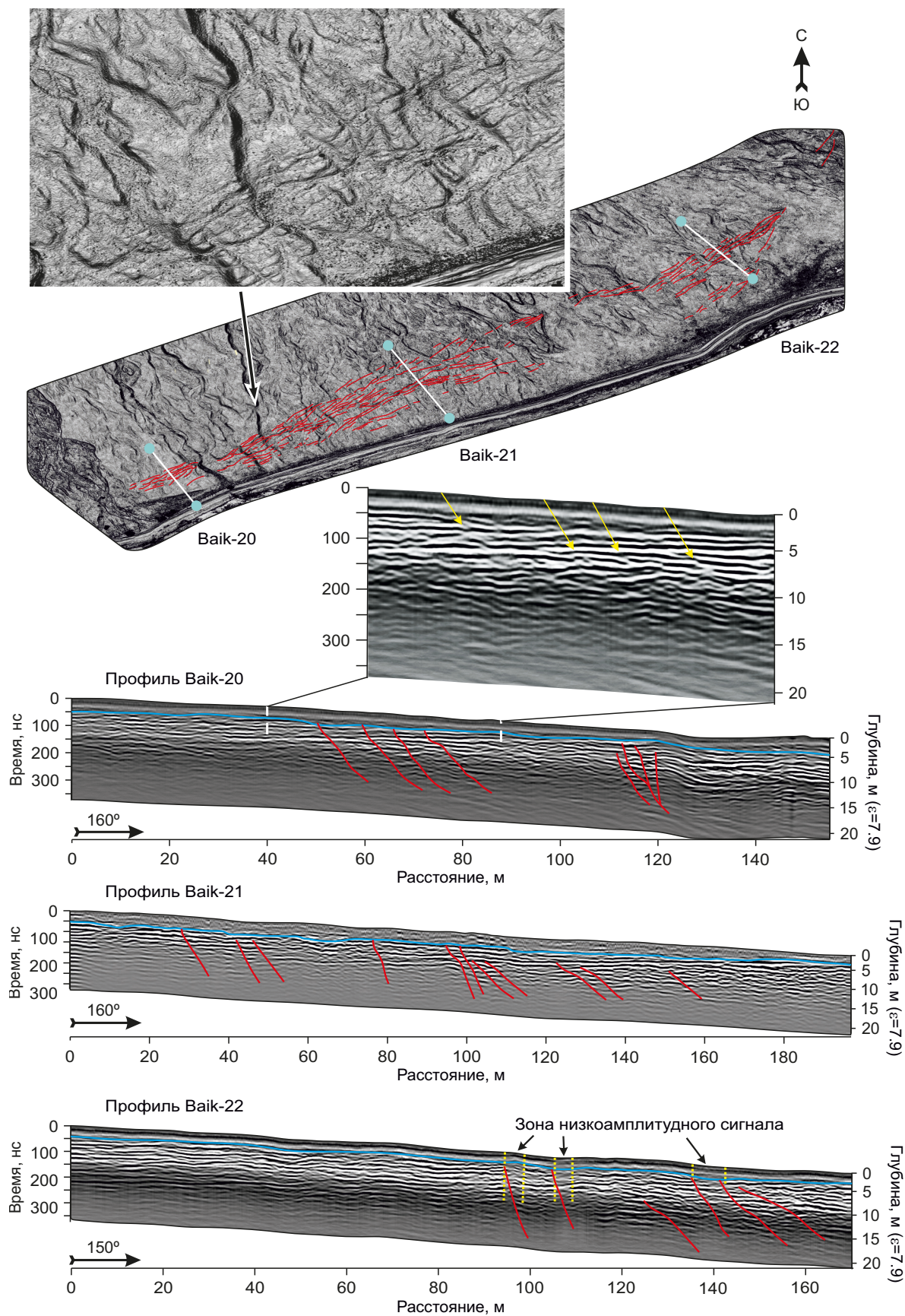
Георадарный профиль Baik-22 имеет протяженность 170 м, азимут простирания –  $150^\circ$ . В результате интерпретации в интервале 90–150 м здесь выделена зона субпараллельных нарушений с углами падения  $31\text{--}71^\circ$  на юго-восток (рис. 2). Наиболее крутые углы падения характерны для разрывов, находящихся в месте нахождения рвов и уступов, видимых на ортофотоплане и ЦММ. На радарограмме в месте выхода разрывов отмечаются низкоамплитудные аномалии, связанные с изменением физических и механических свойств грунтов.

#### 3.2. Субмеридиональный сегмент зоны

Следующая группа георадарных профилей расположена в пределах субмеридионального сегмента зоны современных разрывов (рис. 3). Первый из них, Baik-23 длиной 78 м, имеет азимут простирания  $120^\circ$  и пересекает хорошо выраженный на земной поверхности уступ, под которым в интервале 38–65 м выделяется зона нарушений с углами падения  $47\text{--}68^\circ$ . На отметке 50 м картируется главный сброс с вертикальной амплитудой, определенной по смещению маркирующего слоя, равной 2.3 м. Смещение исходных дневных поверхностей в этом месте равно 1.75 м, что свидетельствует о довольно интенсивном разрушении и захоронении уступа, за счет чего уменьшается его высота. Тем не менее ассоциированный разрыв имеет более крутой угол падения, чем те, которые не выходят на дневную поверхность или же плохо проявлены.

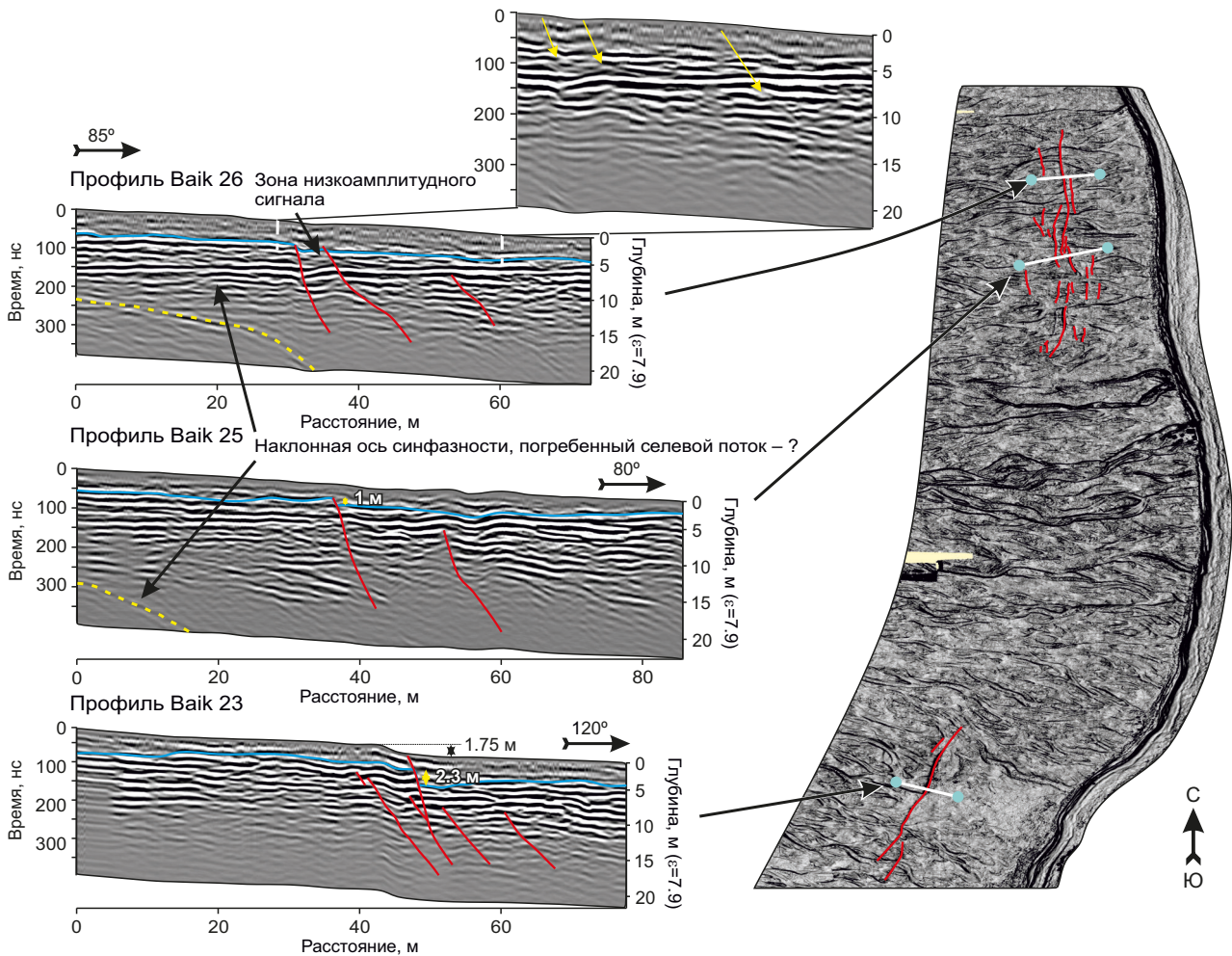
Георадарный профиль Baik-25 имеет длину 87 м и азимут простирания  $80^\circ$ . На расстоянии 40 и 57 м от начала профиля на местности наблюдаются субмеридиональные рвы. На радарограмме им соответствуют интерпретируемые по низкоамплитудным сигналам и смещению кровли георадарного комплекса два разрывных нарушения с углами падения  $70$  и  $60^\circ$ . По одному из них, на отметке 40 м, по смещению маркирующей границы установлен сброс с вертикальной амплитудой 1 м. Второй разрыв на радарограмме в верхней части не виден, хотя хорошо картируется на ЦММ. Очевидно, сказывается недостаточное разрешение получаемого изображения в верхней части разреза. В нижней части радарограммы просматриваются наклонные оси синфазности, отражающие несогласное залегание слоев осадочных пород.

Георадарный профиль Baik-26, протяженностью 73 м и простиранием  $85^\circ$ , на расстоянии 35 м от начала пересекает уступ субмеридионального простирания, хорошо заметный на дневной поверхности. В результате интерпретации радарограммы было выделено три субпараллельных разрывных нарушения с углами, изменяющимися от  $47$  до  $68^\circ$ . Разрыв с наиболее крутым углом падения соответствует пересекаемому уступу. Между ним и следующим нарушением выделяется аномальная зона низкоамплитудного сигнала, обусловленная дезинтеграцией отложений. Разрыв, картируемый в правой части радарограммы, не выходит на дневную поверхность, но читается по наклонной оси синфазности глубже. На поверхности ему соответствует



**Рис. 2.** Георадарные профили на северо-восточном сегменте современной зоны разрывов. Красными линиями и желтыми стрелками показаны интерпретируемые разрывы, голубыми – нижняя граница верхнего георадарного комплекса.

**Fig. 2.** Georadar profiles on the northeastern segment of the present-day rupture zone. Red lines and yellow arrows show the interpreted ruptures, the blue ones – the lower boundary of the upper georadar complex.



**Рис. 3.** Георадарные профили на субмеридиональном сегменте современной зоны разрывов. Красными линиями и желтыми стрелками показаны интерпретируемые разрывы, голубыми – нижняя граница верхнего георадарного комплекса.  
**Fig. 3.** Georadar profiles on the submeridional segment of the present-day rupture zone. Red lines and yellow arrows show the interpreted ruptures, the blue ones – the lower boundary of the upper georadar complex.

северное окончание крайнего разрыва в висячем крыле зоны. В нижней части радарограммы интерпретируются наклонные оси синфазности, подобные осям на профиле Baik-25.

**4. ОБСУЖДЕНИЕ**

Полученные радарограммы показывают, что зона разрывов локализована в отложениях, разделяющихся по характеру волновой картины и положению осей синфазности на три георадарных комплекса в интервалах от 0 до 4 м, от 4 до 10–12 м и от 10–12 до 20 м. Нарушения, выраженные на дневной поверхности линейными уступами и рвами, лучше всего проявляются на радарограммах по характерным наклонным осям синфазности, секущим горизонтальные слои, и участкам с низкоамплитудными сигналами. Структура разрезов за пределами нарушений спокойная без существенных неоднородностей. Пологая, не связанная с разрывами наклонная ось синфазности на профилях Baik-25 и Baik-26 (рис. 3) может быть объяснена наличием в этом месте погребенного селевого потока, перекрытого

дельтовым, преимущественно грубообломочным, аллювием р. Рита.

По простиранию вся зона современных разрывов разделяется на два крупных сегмента: субмеридиональный и северо-восточный. На северо-восточном сегменте зоны углы падения большинства разрывов более пологие – от 31° по сравнению с углами на субмеридиональном сегменте от 47°, где ширина зоны заметно меньше, а разрывы проявлены более отчетливо. Именно на субмеридиональном сегменте по отдельным разрывам методом георадиолокации установлены амплитуды вертикального смещения, равные 1 м (профиль Baik-25) и 2.3 м (профиль Baik-23). При этом смещения исходных дневных поверхностей в этих точках измерений меньше, что, очевидно, связано с интенсивным разрушением и захоронением уступов.

Из литературных источников о механике рыхлых грунтов и твердых тел следует, что при пластическом разрушении образуется большее количество трещин в твердом теле до момента полной потери им предела прочности – момента разрушения тела [Zhukovets,

1986; Barats, 2008]. Из этого можно сделать вывод, что при большем вкладе пластической компоненты в общее смещение в деформируемом теле будет образовываться большее количество дислокаций, что приведет к образованию более широкой разломной зоны. Данное заключение подтверждается нашими структурно-геологическими и георадиолокационными исследованиями в зоне Дельтового разлома, активизированного при Цаганском землетрясении 1862 г. на оз. Байкал [Lunina, Denisenko, 2020]. Если сравнивать два сегмента зоны разрывов по максимальной ширине и количеству разрывов, то следует заключить, что вклад пластической компоненты в движение рыхлых пород выше на северо-восточном сегменте, что подтверждается также более пологими углами падения большинства нарушений, хотя среди них есть и крутопадающие. Возможно, несколько различный характер деформирования связан с разным количеством пластичного суглинистого заполнителя грубообломочных отложений в разных частях дельты р. Рита. Это предположение косвенно подтверждают более слабые амплитуды сигналов на радарограммах северо-восточного сегмента (см. рис. 2) по сравнению с таковыми на субмеридиональном (рис. 3).

Стоит также отметить, что разрывы круче в местах их выхода на дневную поверхность. Пологие углы падения во многих случаях отмечаются там, где дизъюнктив на местности не фиксируется или проявлен значительно хуже. Это наблюдение подчеркивает необходимость привлечения метода георадиолокации для выявления скрытых деформаций в геологической среде при прикладных инженерно-геологических и сейсмогеологических исследованиях.

### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что обнаруженные современные разрывы в периферийной части дельты р. Рита проникают на глубину не менее 16 м. Геометрия и строение их зоны несколько различаются на северо-восточном и субмеридиональном сегментах. В развитии первого из них в условиях растяжения заметную роль играет пластическая составляющая деформации, что приводит к расконцентрации разрывов в более широкой зоне с меньшими углами падения и амплитудами подвижек по отдельным нарушениям. Землетрясение, которое могло послужить триггером для формирования дислокаций [Lunina, Gladkov, 2022] в 1.5 км от главного сместителя Кочериковского разлома, запустило процесс гравитационного опускания, который на одном сегменте реализуется преимущественно путем оседания по пологим разрывам, на другом – по типу сбросовых перемещений по крутым. Все разрывные нарушения имеют падение в сторону оз. Байкал.

Процессы, аналогичные описанным, происходят в подводной части дельты р. Селенги, где по батиметрическим данным и материалам многоканального сейсмического профилирования в осадочных толщах

фиксируются тектонические уступы, смещения и гравитационное оседание блоков, ассоциируемое с сейсмотектонической активизацией [Khlystov et al., 2016]. Необходимо обнаружение, изучение и мониторинг подобных явлений на суше для оценки возможного времени внезапного обрушения или медленного погружения периферийной части конусов выноса под воду на побережьях крупных водоемов.

### 6. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность ФГБУ «Заповедное Прибайкалье» за возможность проведения научных исследований на территории Байкало-Ленского заповедника, а также Е.В. Серебрякову за помощь во время полевых работ.

### 7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

### 8. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

### 9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Barats N.I., 2008. Soil Mechanics. Textbook. SibADI Press, Omsk, 106 p. (in Russian) [Барац Н.И. Механика грунтов: Учебное пособие. Омск: Изд-во СибАДИ, 2008. 106 с.].

Daniels D.J. (Ed.), 2004. Ground Penetrating Radar. 2<sup>nd</sup> Edition. The Institution of Electrical Engineers, London, UK, 734 p.

Davis J.L., Annan A.P., 1989. Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Stratigraphy. *Geophysical Prospecting* 37 (5), 531–551. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1989.tb02221.x>.

Khlystov O.M., Kononov E.E., Khabuev A.V., Belousov O.V., Gubin N.A., Solovyeva M.A., Naudts L., 2016. Geological and Geomorphological Characteristics of the Posolsky Bank and the Kukuy Griva, Lake Baikal. *Russian Geology and Geophysics* 57 (12), 1759–1767. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.11.001>.

Lunina O.V., Denisenko I.A., 2020. Single-Event Throws along the Delta Fault (Baikal Rift) Reconstructed from Ground Penetrating Radar; Geological and Geomorphological Data. *Journal of Structural Geology* 141, 104209. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104209>.

Lunina O.V., Gladkov A.A., 2022 (in press). Rupturing in the Deltaic Deposits of Cape Rytty on the Northwestern Shore of Lake Baikal (Based on Aerial Photography Data). *Russian Geology and Geophysics* 63 (2) (in Russian) [Лунина О.В., Гладков А.А. Феномен разрывообразования

в дельтовых отложениях мыса Рытый на северо-западном побережье озера Байкал (по данным аэрофото-съемки) // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 2 (в печати)]. <https://doi.org/10.15372/GiG2020204>.

Schmidt C.W., 2015. Delta Subsidence: An Imminent Threat to Coastal Population. *Environmental Health Perspectives* 123 (8), A204–A209. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.123-A204>.

Solonenko A.V., Solonenko N.V., Melnikova V.I., Kozmin B.M., Kuchai O.A., Sukhanova S.S., 1993. Stresses and Displacements in the Sources of Earthquakes in Siberia and Mongolia. In: *Seismicity and Seismic Zoning of North Eurasia*. Iss. 1. IPE RAS Publishing House, Moscow, p. 113–122 (in Russian)

[Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Кучай О.А., Суханова С.С. Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии // *Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии*. М.: ИФЗ РАН, 1993. Вып. 1. С. 113–122].

Vladov M.L., Starovoitov A.V., 2004. *Introduction to Ground-Penetrating Radar*. MSU Publishing House, Moscow, 153 p. (in Russian) [Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.].

Zhukovets I.I., 1986. *Mechanic Attempts of Metals*. Textbook. Vysshaja Shkola, Moscow, 199 p. (in Russian) [Жуковец И.И. Механические испытания металлов: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1986. 199 с.].