# СВИДЕТЕЛЬСТВА АКТИВНОЙ ТЕКТОНИКИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

(Горный Алтай)

Д. Дельво, Е. М. Высоцкий\*, Ж. Клеркс, А. Кузьмин\*\*, К. Маттон, В. В. Селегей\*\*\*, К. Тениссен, М. Фернандес-Алонсо

Королевский музей Центральной Африки, В-3080, Тервюрен, Бельгия

\* Объедименный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН,
630090, Новосибирск, Университетский пр., 3, Россия

\*\*\* Институт водных и экологических проблем СО РАН, 656099, Барнаул, ул. Папанинцев, 105, Россия

\*\*\* Западно-Сибирский Центр мониторинга загрязнения окружающей среды,
630049, Новосибирск, ул. Линейная, 33, Россия

Исследования архитектуры бассейна, анализ космических снимков, морфо- и микротектоники свидетельствуют в пользу тектонического происхождения депрессии Телецкого озера. Проведенные исследования подтверждают, что меридиональная часть Телецкого озера представляет собой тектоническую депрессию растяжения, образовавшуюся между двумя перекрестными разломными зонами с противоположными направлениями четвертичных движений: левосторонним Саянским разломом СВ простирания и правосторонним Шапшальским разломом СЗ простирания. Предполагается, что раскрытие бассейна озера является результатом латерального отодвигания на восток северной части Западно-Саянского блока, которая ограничивает бассейна предполагает большую степень растяжения по сравнению с северной его частью, что может быть связано также с вращением Западно-Саянского блока против часовой стрелки.

Активная тектоника, бассейн, сдвиг, сброс.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Горно-Алтайский регион Южной Сибири относится к западной части Алтае-Саянской складчатой области, которая сформировалась во время палеозойского аккреционно-коллизионного тектонического этапа. Он представляет собой возвышенную зону сложного строения, в которой широко развиты как надвиги и взбросы, так и нормальные сбросы (рис. 1). Геометрия разломов и фокальные механизмы землетрясений говорят о преобладании на Алтае общего стрессового режима с большим количеством сдвигов [1—3], что согласуется с приводимыми на Мировой карте стресса [4] общими направлениями стресса Евразии.

Некоторые исследователи [5—7] считают, что Южная Сибирь сложена микроплитами, которые разделены активными до настоящего времени крупными разломными зонами. В. Г. Трифонов [8] и Н. В. Лукина [6] проводили детальные исследования неотектонических структур (поздний плейстоцен — голоцен) Южной Сибири и Монголии, которые свидетельствуют о наличии среди мозаики образующих эту область микроплит активных разломных зон сложного строения. Неотектоническая структура частично контролируется кайнозойской реактивацией главнейших разломных зон, которые зачастую относятся к палеозойским сутурным линиям и крупным разломам сдвигового типа [9]. Наличие приуроченных к ним фрагментов древних (верхнерифейских) офиолитов и линз осадочных пород среднего и позднего девона, позднего мела и юры свидетельствует о том, что реактивации происходили неоднократно.

Развитие кайнозойских депрессий и осадочных бассейнов во многом определялось активностью крупных разломных зон взбрососдвигового и надвигового характера. Курайская и Чуйская депрессии, ориентированные под большим углом к направлению горизонтального сжатия (ССЗ-ЮЮВ для этого района), в третичное время, вероятно, развивались как бассейны типа "pull-apart", а в четвертичное — как бассейны рампового типа [10]. Интенсификация тектонической активности в

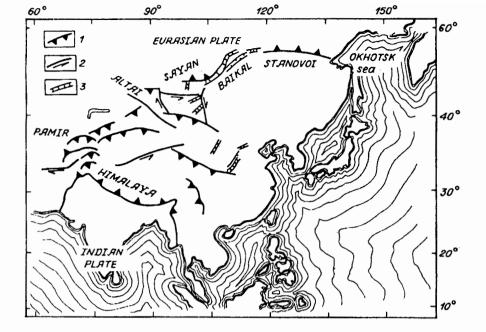


Рис. 1. Тектоническое положение Горного Алтая в структуре Центральной Азии.

1 — надвиги, 2 — сдвиги, 3 — рифты.

позднем плейстоцене, вероятно, была результатом изменения стрессового режима. Телецкое озеро формировалось только во время этой последней стадии, т. е. является очень молодой структурой, сформированной исключительно в результате неотектонической деятельности (определяемой как новейший и до сих пор активный геодинамический режим). Рассматриваемая меридиональная часть озера представляет собой длинную (50 км), узкую (4—5 км) и глубокую впадину, заполненную 250—320-метровой толщей воды. Принимая уплощенные участки рельефа как остатки докайнозойского пенеплена, учитывая разницу абсолютных высот вершинных поверхностей прилегающих хребтов (2500 м на юге озера и 1500 м на севере), высоту уреза воды (434 м), глубину озера (325 м) и мощность донных осадков (более 400 м), общая амплитуда вертикальных перемещений может быть оценена в 2800—1800 м.

Н. В. Лукина [6, 9] объясняет образование депрессии озера действием тектонических процессов, приведших к формированию огромной трещины растяжения, параллельной локальному направлению горизонтального сжатия. По ее мнению, Телецкое озеро расположено на западной границе Тувинской плиты (Западно-Саянский блок), которая ограничена Саянским разломом с севера, Шапшальским — с запада и Хантайским — с юга. По данным Н. В. Лукиной [6], Саянский разлом, имеющий СВ простирание, в настоящее время представляет собой левосторонний сдвиг со взбросовой компонентой. Шапшальский разлом ЗСЗ простирания представляет собой взброс с компонентой правостороннего сдвига. Депрессия Телецкого озера соединяет эти две разломные зоны и рассматривается как локальная структура растяжения, возникшая в результате отодвигания на восток Западно-Саянского блока вдоль двух зон сдвига с противоположными направлениями движения. Сама депрессия образовалась на месте Телецко-Башкаусской зоны смятия [11].

В настоящей работе приведены свидетельства активного тектонического режима растяжения в районе впадины Телецкого озера, полученные в результате интерпретации космических снимков, геоморфологического изучения района, полевых наблюдений, а также анализа морфологии самой чаши озера.

## СВИДЕТЕЛЬСТВА АКТИВНОЙ ТЕКТОНИКИ

Свидетельства тектонического происхождения депрессии Телецкого озера получены в результате ряда наблюдений архитектуры бассейна, анализа линеаментов на космических снимках, морфо-и микротектонических исследований.

Архитектура бассейна озера. В настоящей работе мы рассмотрим преимущественно меридиональную часть озера, которая представляет собой вытянутый, узкий и глубокий бассейн. Морфология дна озера изучалась посредством детальных батиметрических исследований. Узкий, вытянутый бассейн имееет изогнутую форму с северной частью меридионального простирания и несколько большей южной частью ССЗ простирания. Крутые береговые склоны прямолинейны в плане только вдоль западного борта южного сегмента. В северной части бассейна и вдоль восточного борта южной части берега состоят из изогнутых (серповидных, лопастных) сегментов различного размера, раскрывающихся в сторону озера.

Карта глубин четко показывает наличие небольшого суббассейна в северной части, в котором отмечены максимальные глубины (рис. 2). Он отделен от южного суббассейна поперечной зоной относительного поднятия высотой 30—40 м. В своей основной части южный суббассейн имеет абсолютно ровное дно при глубине 300 м. По направлению к южной оконечности озера глубина постепенно уменьшается. Южный суббассейн сужается в месте перегиба озера. По всей длине бассейн озера ограничен крутыми стенками с резким перегибом склона между плоским днищем и бортами. Хотя крутые борта характерны для всего бассейна, в строении различных сегментов существуют небольшие различия. Небольшой северный суббассейн характеризуется подковообразным профилем и имеет большие отметки глубин по сравнению с южным, который характеризуется типичным трапециевидным профилем. Что касается собственно облика бассейна, для северной части отмечается асимметрия поперечного профиля, которая выражается в том, что западный борт, как правило, имеет меньший угол наклона, чем восточный. Северная часть южного бассейна также имеет асимметричный поперечный профиль, хотя и не везде ярко выраженный, но с менее крутым восточным бортом. Южная часть озера имеет совершенно симметричный поперечный профиль.

В пределах чаши озера было установлено два типа морфологических признаков новейших разломов.

- 1. Подводная часть склона, как правило, однородна, но в некоторых местах разбита на ступени, образованные меридиональными сбросами, которые проявляются и на береговых склонах. Характерно, что эти разломы более распространены вдоль западного борта на всем протяжении бассейна.
- 2. Специфическая особенность строения дна обнаружена в южной части бассейна. Дно озера, обычно абсолютно ровное, в южной части бассейна имеет наклон на восток и уступ практически посередине озера. Предполагается, что такое строение дна отражает наличие в южной части озера активного разлома с простиранием приблизительно вдоль оси бассейна.

Линеаменты на космических снимках. Для определения генеральной структуры линеаментов фундамента, на котором развивалась впадина Телецкого озера, было проведено дешифрирование российских снимков МИР и снимков SPOT. На снимках МИР достаточно хорошо выражена сеть линеаментов основания в северной части озера (рис. 3), состоящая из линеаментов трех направлений: по азимутам 20°, 60° и 285°, простирающихся вдоль Саянской разломной зоны. Южная граница этой разломной зоны выражена не очень четко, и линеаменты с простиранием 20° и 285° спорадически проявляются к югу от Саянского разлома. В южной части озера практически единичный линеамент с простиранием 60° очерчивает южную оконечность Телецкого озера. Структура линеаментов в центральной части района на космических снимках МИР проявлена менее отчетливо.

Для проведения структурного анализа прибрежных участков меридиональной части озера был использован снимок SPOT (рис. 4). На этом снимке вблизи юго-западной границы озера очень устойчиво проявляется сеть прямолинейных структур ССЗ простирания, параллельных береговой линии. На противоположной юго-восточной стороне озера линейные структуры также ориентированы приблизительно на ССЗ, но отчетливо изогнуты. По обеим сторонам озера в северной его части линеаменты имеют гораздо более выраженный лопастной характер, их ориентировка более или менее соответствует очертаниям береговой линии. Вдоль всего восточного борта озера хорошо различаются небольшие линейные структуры, которые нарушены линейными структурами других ориентировок. Изогнутые сегменты береговой линии в нескольких местах имеют небольшие угловатые перегибы, соответствующие секущей серии линеаментов. В северной половине озера в структуре основания нет таких крупных линеаментных структур, которые так ярко выражены в южной его части. На юго-восточной стороне озера во время полевых работ была установлена отчетливая крутопадающая сдвиговая зона от С до ССЗ простирания.

Более детальный анализ линеаментов, основанный на проведении направленного фильтрования снимка, представлен М. Синтубином и др. [11]. Они, например, показывают достаточно четкую серию линеаментов СВ простирания в северной части Телецкого озера, параллельную Саянской разломной зоне, выделяют до пяти направлений разломов и делают вывод, что, за исключением юго-восточной части района, имеет место очень ограниченное совпадение рисунка линеаментов и

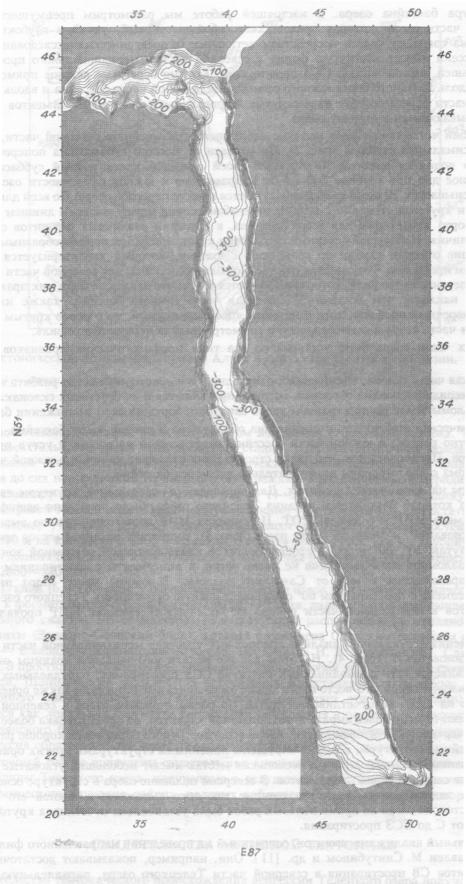
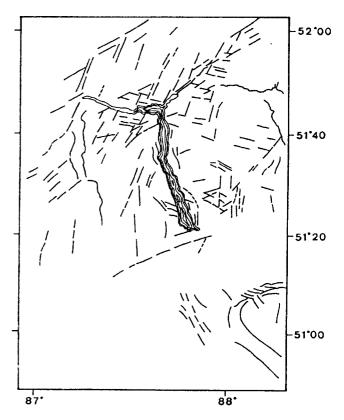


Рис. 2. Батиметрическая контурная карта Телецкого озера.

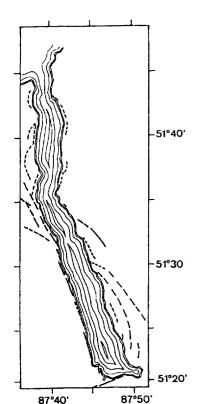
Рис. 3. Схема линеаментов, дешифрируемых на космическом снимке МИР.

структур основания. Следовательно, эти линеаменты возникли в результате преимущественно хрупких деформаций. Мы считаем, что они и в этом случае не обязательно отражают именно новейшую тектоническую деятельность, поскольку возможно, что хрупкие деформации также имели место в течение позднего палеозоя—мезозоя.

Морфологические свидетельства. морфологическом строении района Телецкого озера выделяются три яруса рельефа, расположенные в диапазонах абсолютных отметок 2500-2000, 1900-900 и менее 600 м [12]. Резкий перепад высот уплощенных остатков доорогенного рельефа является признаком интенсивных блоковых тектонических движений в новейшее время. Максимальные амплитуды вертикальных перемещений блоков установлены между нижним и средним ярусами рельефа, где они почти везде превышают 700 м. Вертикальные амплитуды относительных перемещений других блоков оцениваются в 100-500 м.



Верхний ярус рельефа имеет многочисленные следы позднеплейстоценового оледенения Горного Алтая. Судя по морфологии ледниковых долин, ледники не опускались ниже уровня 1200—1400 м, поскольку там все долины имеют типичный V-образный профиль. Только ледник долины р. Чулышман, имевший огромную область питания, мог доходить до уровня озера. Нельзя исключить возможность влияния ледниковых процессов на формирование долины озера на начальных этапах



ее развития, однако не было пока обнаружено прямых свидетельств ледникового происхождения озера. Лишь косвенные признаки, основанные на интерпретации сейсмических профилей осадочных пород Телецкого озера, позволяют выделять здесь ледниковые отложения [13].

Структуру рельефа района Телецкого озера определяют несколько главных систем новейших разломов. Весь район может быть разделен на шесть частей, в которых особенности геоморфологического строения связаны с различиями в неотектонической структуре (рис. 5).

- В северной части изучаемого района современное строение рельефа и особенности неотектонической структуры обусловлены взаимодействием Саянской и Кузнецко-Алтайской разломных зон. Наиболее ярко влияние разломной тектоники на рельеф проявляется по обоим бортам долины р. Камга, которая представляет собой ступенчатый грабен. Кроме того, в рельефе проявлена также система более молодых разломов СЗ простирания.
- Сложное строение рельефа по обеим сторонам озера в районе долин рек Куркуре, Мал. Чили, Кокши обусловлено, очевидно, взаимодействием разломных зон СВ простирания, широко проявленных к северу от этого участка, и разломов СЗ простирания, более

Рис. 4. Схема линеаментов, дешифрируемых на космическом снимке SPOT.

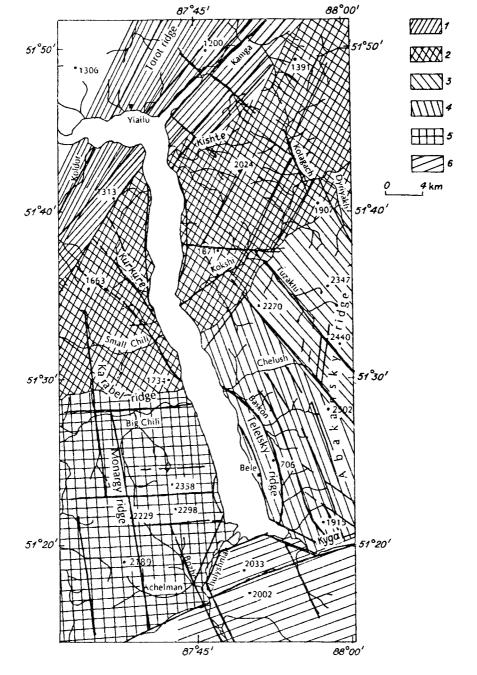


Рис. 5. Схема районирования флангов Телецкого озера по особенностям морфологии рельефа и неотектонической структуры (составлена Е. М. Высоцким, Е. В. Деевым, И. С. Новиковым).

Участки, в пределах которых в морфологии рельефа выражены различные системы разломов простирания I — CB и более молодые C3; 2 — CB и C3, сложноориентированные; 3 — C3; 4 — CC3; 5 — субмеридионального и субширотного; 6 — BCB.

развитых к югу. Вертикальные амплитуды смещений по разноориентированным разломам этой части района оцениваются в 100—500 м.

В южной части района морфология рельефа и неотектоническая структура имеют совершенно другой характер. Более того, различное строение имеют восточный и западный фланги озера.

- В возвышенных частях Абаканского хребта (район рек Челюш и Тузакту) система разломов СЗ простирания имеет признаки современной (не более 10 тыс. лет) тектонической активности, воздействуя на позднеплейстоценовые ледниковые формы рельефа.
- Ближе к озеру, на западном склоне Абаканского хребта, наиболее важной для морфологии рельефа является система разломов ССЗ простирания. На склоне хребта установлено наличие нескольких тектонических уступов высотой от 100 до 300 м. Вблизи береговой линии эта система представлена в виде лопастных разломов хребта Телецкий и террасы Беле. Таким образом, терраса Беле представляет собой тектонический уступ, на котором накапливались отложения позднего плейстоцена. Затем она была отделена от остальной части депрессии в результате миграции сбросообразования к центру впадины.
- К западу от озера, в районе между р. Ачелман на юге и хребтом Карабель на севере, структура рельефа и особенности неотектоники определяются двумя основными системами разломов. Одна из них субширотного простирания имеет амплитуды вертикальных смещений в новейшее время порядка 100—200 м; вторая система разломов имеет субмеридиональное простирание и амплитуды смещений по отдельным разломам 100—300 м. Разломы меридионального простирания проявлены в структуре рельефа далеко на запад и на юг от этого участка.
- Южная оконечность озера контролируется системой разломов ВСВ простирания. Один из разломов формирует собственно южный борт впадины и имеет ограниченную протяженность. Второй разлом, расположенный в 3—4 км к югу от первого, определяет положение части долины р. Кыга и, очевидно, является одним из основных элементов, контролирующих блоковую структуру данной части района. Между этим разломом и озером долина реки Кыга представляет собой грабен, ограниченный двумя разломами СЗ простирания.

Для южной части района характерно, что обе стороны имеют различную неотектоническую структуру, выраженную в морфологии рельефа (рис. 6). Более того, линеаменты разломов не могут быть прослежены с одной стороны озера на другую, что предполагает различное выражение неотектонических процессов вдоль обоих бортов Телецкого озера.

Следует отметить и структурно-вещественные различия: в северной части озера оба берега сложены сходными породами, в южной же части западный берег сложен нерассланцованными гранитоидами, а восточный — породами зоны смятия.

Данные полевых наблюдений. Свидетельства активной тектоники во время полевых работ наблюдались в нескольких участках вдоль Телецкого озера (рис. 7). Среди них — неотектонические уступы, морфологические линеаменты, а также небольшие разломы и трещины в позднеплейстоценовых породах озерных террас. Последние были использованы для проведения анализа палеостресса, для расчета четырех параметров приведенного тензора напряжений, определяемых по Дж. Эджелиеру [14] как: оси главного напряжения  $\sigma$ 1 (максимального сжатия),  $\sigma$ 2 (среднего сжатия) и  $\sigma$ 3 (минимального сжатия) и отношение разностей главного напряжения  $R = (\sigma 2 - \sigma 3)/(\sigma 1 - \sigma 3)$ . Двумя дополнительными параметрами полного тензора напряжений являются отношение величин крайних значений главных напряжений ( $\sigma$ 3/ $\sigma$ 1) и величина литостатического давления, которая не может быть определена только на основе данных о разломах. Первые четыре параметра определены путем последовательного использования усовершенствованной версии метода Райт Дигедрон [15] и метода ротационной оптимизации с использованием разработанной Д. Дельво [16] вычислительной программы TENSOR. Результаты представлены в таблице.

Меридиональная часть Телецкого озера ограничена крутыми склонами, имеющими типичную морфологию молодых тектонических уступов, которые характеризуются наличием треугольных фасет, тектонических ступеней и палеосейсмодислокаций. Очень типичен в этом отношении северо-восточный береговой склон меридионального сегмента озера, состоящий из треугольных фасет (рис. 8, А), в верхней части которых обнажаются коренные породы в виде тектонического уступа высотой 20—30 м (рис. 8, Б). На противоположном, западном борту озера резкий перегиб склона свидетельствует о наличии разлома, отделяющего мыс Ежон (рис. 8, В). Вдоль восточного берега озера, возле поселка Беле, обнажаются флювиоозерные отложения позднего плейстоцена, слагающие хорошо сохранившуюся террасу. Возраст осадков был определен как средневюрмский, и они отнесены к межледниковью позднего плейстоцена (30 050 ± 435 лет) [17] на основе радиоуглеродного датирования фрагментов сапропеля. В отложениях террасы на берегу озера наблюдалось смещение слоев осадков несколькими небольшими сбросами (рис. 8,  $\Gamma$ ). Также здесь наблюдалась и субвертикальная конседиментационная песчаная дайка, которая служит индикатором палеорежима растяжения (рис. 8, Д). Из-за слабого проявления микроструктур полученный тензор палеостресса выстраивается плохо. Тем не менее, наличие и сбросов, и песчаной дайки является достаточно достоверным индикатором режима растяжения.

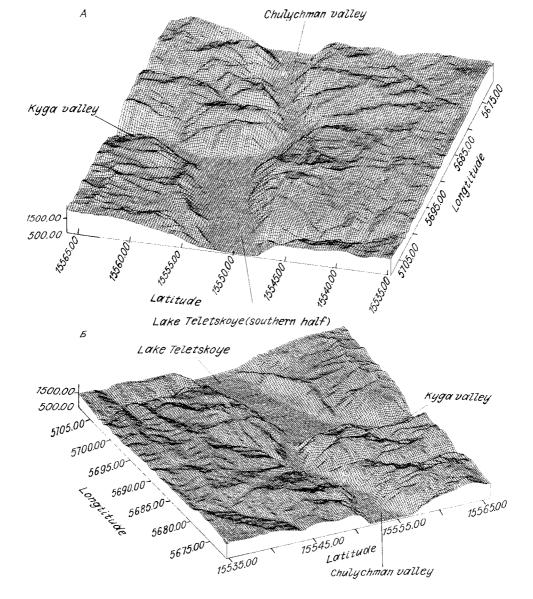


Рис. 6. Трехмерная ортографическая модель южной части района Телецкого озера.

Вертикальный масштаб 114 %. A — вид с севера на юг, B — вид с юго-запада на северо-восток. На восточном борту озера хребет Телецкий и терраса Беле отделены от общего массива серповидными разломами. Долины рек Кыга и Чулышман представляют собой, соответственно, юго-восточное и юго-западное продолжение депрессии озера.

В своей южной части депрессия Телецкого озера замыкается крутым уступом ВСВ простирания, разделяясь на два ответвления: вдоль р. Кыга на юго-восток и вдоль р. Чулышман на юго-запад. Через несколько километров от устья долина р. Кыга резко поворачивает, и далее ее простирание контролируется хорошо выраженным ВСВ линеаментом. Судя по интерпретации космоснимков и данным полевых наблюдений, все эти структуры контролируются деятельностью разломов различного простирания. Возле кордона Чири была изучена серия из трех тектонических ступеней субширотного простирания, обусловленных крутопадающими на юг разломами с выраженным сбросовым характером движения. Каждая ступень имеет высоту 5—10 м, но никаких индикаторов скольжения на них обнаружено не было.

Северо-восточное ответвление Телецкого озера развивается в узкой вытянутой депрессии р. Камга. Она приурочена к юго-западному окончанию крупного Саянского разлома. Типичная морфология прямолинейных фрагментов разломов с косыми трещинами разрыва, смещение конусов выноса в устьях небольших речек, впадающих в Камгинский залив, а также наличие разломной брекчии четвертичного возраста на мысе Айран (точка наблюдения AL05) являются индикаторами

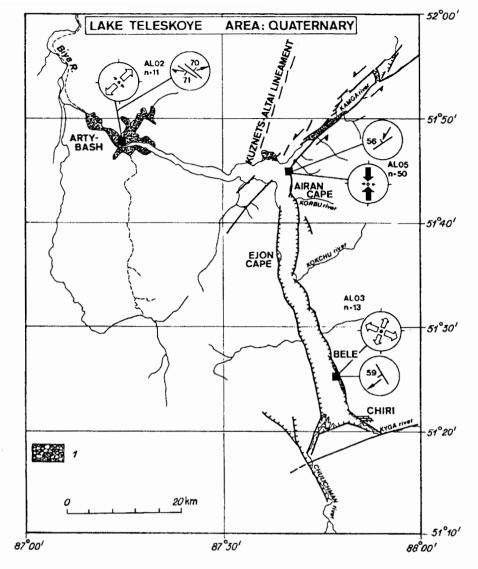


Рис. 7. Реконструкции кинематики и палеостресса по микротектоническим данным.

1 — отложения позднего плейстоцена.

активного левостороннего сдвигового режима Саянского разлома. На точке наблюдения AL05 в разломной брекчии было замерено 86 мелких разломов с линиями скольжения. Рассчитанные тензоры напряжения, как правило, показывают условия горизонтального меридионального сжатия. Основная плоскость смещения имеет СВ простирание, падение 56° на юг, смещение наклонное, взбросо-левостороннесдвиговое (см. таблицу).

Для субширотной части озера тектоническая обусловленность структур выражена менее четко. Тем не менее, в районе пос. Артыбаш (точка наблюдения ALO2) в стенке песчаного карьера была изучена система хорошо выраженных сопряженных мелких разломов и трещин, разбивающая отложения позднего плейстоцена. Линии скольжения не наблюдаются, однако были обнаружены признаки четкого сбросового смещения (рис. 8, Е и Ж). В отсутствие индикаторов скольжения для реконструкции линий скольжения могут быть взяты пары сопряженных разломов, если принять, что они относятся к простому типу сопряжения (разломы формируются параллельно средней оси напряжения, под углом 30° к оси главного сжатия). Рассчитанные средняя плоскость движения и линии скольжения свидетельствуют в пользу условий наклонного растяжения с правосторонней сдвиговой компонентой вдоль 3СЗ-ВЮВ-ориентированных блоков.

#### Тензоры палеостресса района Телецкого озера

Параметры тензоров										
Точка наблю- дений	Район, обнажение	n(nT)	%/nT	σl	σ2	σ3	R	а	Тип/качество тен	зора
AL02	Артыбаш, песчаный карьер	18(20)	95	83/198	03/317	06/048	0,73	9,4	Сдвиговое растяжение	A
ALO3	Мыс Нижн. Камелик, терраса	13(13)	100	87/087	03/202	06/292	0,10	0,8	Полурадиальное растяжение	С
AL05	Мыс Айран, тект. брекчия	50(86)	58 35	09/357	29/092	59/250 62/343	0,58	11,1 12.7	Только сжатие	AA B

Плоскости	скольжения
-----------	------------

Точка набл.	Характеристика	п (качество)	Princ. mov. plane	Aux. mov. plane
ALO2	Терраса, нижн. плейстоцен	18(A)	11 × 70/042 67/071ND	6 × 71/214 47/282 ND
AL03	Терраса, верхн. плейстоцен	13(C)	6 × 59/238 57/228 ND	6 × 79/300 (трещины растяжения)
ALO5	Тект. брекчия, четвертичная	50(AA)	21 × 58/146 36/209 IS	20 × 60/028 44/332 ID
AL05	Тект. брекчия, четвертичная	20(B)	10 × 70/209 68/236 IS	6 × 88/330 66/245 NS

Примечание. Параметры реконструированных тензоров напряжения: n — количество использованных данных; nT — общее количество недифференцированных данных в базе данных; %/nT — процент данных, использованных при расчете;  $\sigma 1 - 3$  — направления принципиального напряжения в виде падение/простирание; R — отношение осей эллипсоида напряжений  $(\sigma 2 - \sigma 3)/(\sigma 1 - \sigma 3)$ ;  $\alpha$  — средний угол отклонения между наблюдаемым и рассчитанным направлениями скольжения; качество тензора: АА — очень хорошее, А — хорошее, В — среднее, С — удовлетворительное, тип тензора — функция отклонения осей напряжения и отношения R.

Princ. mov. plane — главная плоскость скольжения с линией смещения и значением смещения, aux. mov. plane — добавочная глоскость скольжения с линией смещения и значением смещения (количество разломов, азимут/направление падения плоскости, падение/простирание линии смещения).

## **ДИСКУССИЯ**

Озеро Телецкое было описано Н. В. Лукиной [5] как молодой грабен, сформировавшийся в результате латерального отодвигания Западно-Саянского блока от Горно-Алтайского благодаря сопряженным сдвиговым движениям по западным сегментам Саянского разлома, имеющего СВ простирание, и Шапшальского разлома СЗ простирания в условиях меридионального, до ССВ, сжатия. Согласно этой модели, раскрытие грабена Телецкого озера является результатом жесткого взаимодействия блоков между двумя крупными сдвиговыми зонами с различными направлениями движения (рис. 9). Результаты предшествующих измерений теплового потока озера, выполненные А. Д. Дучковым и его коллегами [18], являются неоднозначными и не могут служить подтверждением гипотезы рифтогенного происхождения депрессии Телецкого озера.

Результаты наших исследований в целом согласуются с гипотезой Н. В. Лукиной, и даже могут способствовать ее уточнению. Как в пределах озера, так и вдоль обоих его берегов установлены многочисленные структурные элементы, свидетельствующие о широком развитии сбросового разломообразования. Среди них выделяются:

- крутые склоны чаши озера, разбитые на ступени, которые указывают на наличие разломов сбросового характера в пределах подводного склона;
- разломы меридионального простирания, ограничивающие чашу озера, которые особенно ярко выражены вдоль прямолинейного юго-западного берега;
- лопастные структуры, наиболее четко выраженные на юго-восточном берегу озера и менее в северной части бассейна; тем не менее, наличие изогнутых сегментов границы озера на севере и юго-востоке позволяет предположить листрические разломы, обусловливающие подобную структуру бассейна;
  - морфологические свидетельства блоковой структуры по обеим сторонам озера;

Всего учтено: 4 тензора

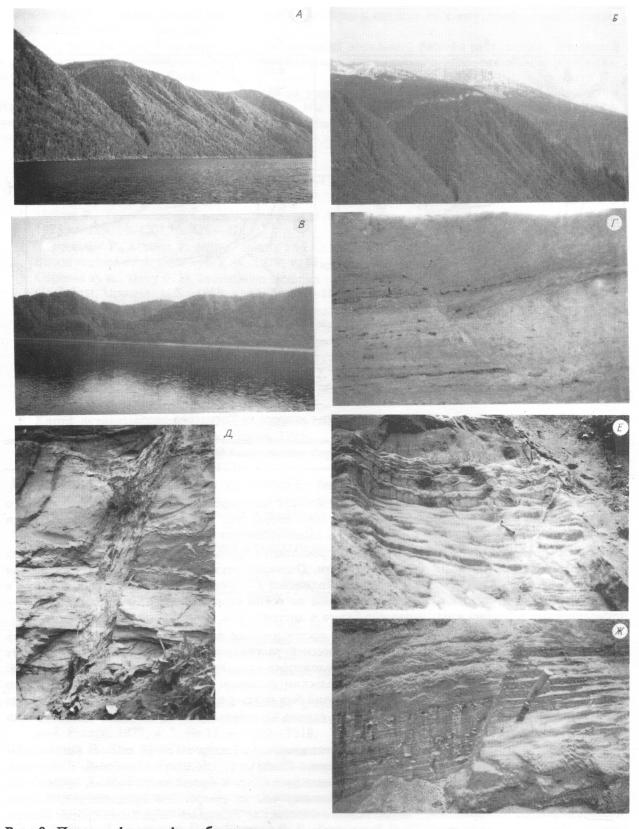


Рис. 8. Полевые фотографии объектов.

A — треугольные фасеты вдоль восточного берегового уступа в северной части озера; B — неотектоническая ступень в верхней части уступа, показанного на фото A; B — перегиб склона у подножия тектонического уступа западного борта озера на мысе Ежон;  $\Gamma$  — мелкие разломы, смещающие отложения позднего плейстоцена на террасе Беле;  $\mathcal{L}$  — конседиментационная песчаная дайка на террасе Беле; E — небольшие сопряженные разломы в позднеплейстоценовой террасе возле пос. Артыбаш;  $\mathcal{K}$  — небольшой разлом с видимым сбросовым смещением позднеплейстоценовых отложений террасы возле пос. Артыбаш.

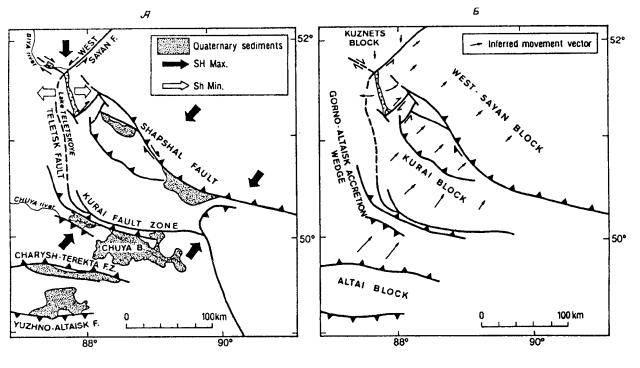


Рис. 9. Обзорная динамическая схема раскрытия депрессии Телецкого озера.

A — кинематика движений по разломам и региональных направлений горизонтального принципиального напряжения, по данным этой работы и [10]; B — выстроенная модель относительных движений блоков.

— строение дна в южной части бассейна, которое интерпретируется как наличие активного разлома меридионального простирания посередине озера, что подтверждается геофизическими данными [13], а также блоковая конфигурация, характерная для южной оконечности озера.

Подобные структуры растяжения, хотя и проявляются вдоль всего меридионального сегмента озера, более ярко выражены в южной его части. Очевиден также различный характер строения северной и южной частей бассейна, который выражается в строении самой чаши озера, а также в наличии в северной части листрических разломов по обеим сторонам озера, а в южной части — прямолинейных разломов вдоль западного берега и листрических структур вдоль восточного.

Вышеописанные структуры подтверждают предположение о том, что меридиональная часть Телецкого озера является тектонической депрессией растяжения, образовавшейся между двумя перекрестными разломными зонами с противоположными направлениями четвертичных движений: Саянским разломом СВ простирания и Шапшальским разломом СЗ простирания. Для Саянского разлома левостороннесдвиговый характер движений был подтвержден полевыми наблюдениями, для Шапшальского разлома вывод о правом сдвиге сделан на основе анализа блоковой конфигурации района южной оконечности озера.

Таким образом предполагается, что раскрытие депрессии Телецкого озера явилось результатом латерального отодвигания на восток блока Западного Саяна от Горно-Алтайского блока. Более того, поскольку новейшие структуры растяжения сильнее проявлены в южной части района, предполагается, что степень растяжения на юге озера больше, чем на севере. Это предполагает, помимо отодвигания на восток, вращение расположенного к востоку от Телецкого озера блока против часовой стрелки. Идея о вращении этого блока была впервые сформулирована в Отчете о полевых работах 1994 г. Н. Л. Добрецовым [19].

Анализ мелких разломов в песчаном карьере после пос. Артыбаш показывает, что субширотный сегмент озера также частично контролируется кулисообразной серией сбросов, относящихся к зоне напряжений СЗ простирания. Таким образом, расположенный к северу от озера Кузнецкий блок представляет собой обращенный к югу клин между Саянским разломом и зоной напряжений СЗ

простирания. В условиях общего сжатия этот клин должен сдвигаться к югу, чтобы удовлетворять модели раскрытия депрессии озера.

Итак, бассейн Телецкого озера представляет собой локальный бассейн растяжения, возникший в результате дифференцированных движений тектонических блоков в условиях общего регионального сжатия Центральной Азии.

Работа выполнена в рамках соглашения на уровне руководства Сибирского отделения РАН и Научно-исследовательских институтов Бельгии. Мы особо благодарим Н. Л. Добрецова и В. Д. Ермикова за координацию работ по проекту и организацию полевых работ. Рецензирование статьи было выполнено М. Синтубином и М. М. Бусловым.

## **ЛИТЕРАТУРА**

- 1. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a Continental Collision // Science, 1975, v. 189, № 4201, p. 419—426.
- 2. Tapponnier P., Molnar P. Active faulting and Cenozoic tectonics on the Tien Shan, Mongolia and Baikal regions // J. Geophys. Res., 1979, v. 84, № B7, p. 3425—3459.
- 3. Cobbold P. R., Davy P. H. Indentation tectonics in nature and experiment. 2. Central Asia // Bull. Geol. Inst. Uppsala, N.S., 1988, v. 14, p. 143—162.
- 4. Zoback M. L. First- and Second-Order Patterns of Stress in the Lithosphere: The World Stress Map Project // J. Geophys. Res., 1992, v. 97, № B8, p. 11703—11728.
- 5. Лукина Н. В. Молодой грабен Телецкого озера // Природа, 1991, № 2, с. 56—64.
- 6. Лукина Н. В. Современные процессы на границах микроплит Южной Сибири и Северной Монголии // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1992, № 3, с. 127—134.
- 7. Zonenshain L. P., Savostin L. A. Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia // Tectonophysics, 1981, v. 76, № 1—2, p. 1—45.
- 8. Карта активных разломов СССР и прилегающих областей. М-б 1:8 000 000 / Ред. Трифонов В. Г. Москва—Иркутск, Наука, 1986.
- 9. Дергунов А. Б. Структуры зоны сочленения Горного Алтая и Западного Саяна. Москва, Наука, 1967, 213 с. (Тр. ГИН, вып. 172)
- 10. Дельво Д., Тениссен К., Ван-дер-Мейер Р., Берзин Н. А. Динамика формирования и палеостресс при образовании Чуйско-Курайской депресии Горного Алтая: тектонический и климатический контроль // Геология и геофизика, 1995, т. 36, № 10, с. 31—51.
- 11. Синтубин М., Буслов М. М., Траппенирс Г., Дасмаскено де Оливейра Д. Структурная характеристика пород фундамента Телецкого озера (Горный Алтай) // Геология и геофизика, 1995, т. 36, № 10, с. 99—108.
- 12. Деев Е. В., Высоцкий Е. М., Новиков И. С., Мистрюков А. А. Структурно-геоморфологический анализ района Телецкого озера // Геология и геофизика, 1995, т. 36, № 10, с. 133—142.
- 13. Селезнев В. С., Николаев В. Г., Буслов М. М. и др. Структура осадочных отложений Телецкого озера по данным непрерывного одноканального сейсмопрофилирования // Геология и геофизика, 1995, т. 36, № 10, с. 123—132.
- 14. Angelier J. From orientation to magnitudes in paleostress determinations using fault slip data // J. Struct. Geology, 1989, v. 11, p. 37—50.
- 15. Angelier J., Mechler P. Sur une methode graphique de recherche des contraintes principales egalement utilisable en tectonique et en seismologie: la methode des diedres droits // Bull. soc. geol. France, 1977, v. 7, № 19, p. 1309—1318.
- 16. Delvaux D. The TENSOR program for reconstruction: examples from the east African and the Baikal rift zones // Terra Abstracts. Abstract supplement № 1 to Terra Nova, 1993, № 5, p. 216.
- 17. Орлова Л. А., Бутвиловский В. В. О возрасте отложений регионального стратотипа Беле и применении термолюминисцентного датирования на Алтае // Новые данные по геологическому строению и условиях образования минеральных ресурсов Алтая. Тезисы. Барнаул, 1991.
- 18. Дучков А. Д., Казанцев С. А, Селегей В. В., Велинский В. В. Исследования теплового потока Телецкого озера // Геология и геофизика, 1980, № 4, с. 11—118.
- 19. Preliminary results of the field season 1994 in Siberia. Belgium. Royal Museum of Central Africa, Belgium, Tervuren, 1994.

D. Delvaux, E. M. Vysotskii, J. Klerkx, A. Kuzmin, C. Matton, V. V. Selegei, K. Theunissen, and M. Fernandez-Alonso

# EVIDENCE FOR ACTIVE TECTONICS IN LAKE TELETSKOE (Gorny Altai)

Evidence for a tectonic origin of the Teletskoe depression is provided by several observations on basin architecture, satellite lineament analysis, morphotectonics and microtectonics. This confirms that the N-S segment of Lake Teletskoe is an extensional tectonic depression, which is located between two transgressive fault zones with the opposite sense of Quaternary movements: the NE-striking sinistral West-Sayan fault and the NW-trending dextral Shapshal fault. Extension in the Teletskoe basin is assumed to result from the eastward lateral escape of the West-Sayan block which borders the basin at its eastern side, with respect to the western block. Extensional structures better expressed in the southern part of the basin suggest a higher estension rate as compared with the northern one. This implies a counterclockwise rotation of West-Sayan block of Lake Teletskoe, in addition to its eastward movement.

Active tectonics, basin, strike slip fault, normal fault