

УДК 550:34

Абрахматов К.Е.

*Институт сейсмологии НАН КР,  
г. Бишкек, Кыргызстан*

## АКТИВНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ДНА ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ

**Аннотация.** Тектонические процессы на дне озера Иссык-Куль продолжают до настоящего времени, но, по всей видимости, не имеют быстрого, тем более «катастрофического» характера. Это подтверждается и отсутствием эпицентров даже умеренных землетрясений под акваторией озера Иссык-Куль.

**Ключевые слова:** Иссык-Куль, рельеф дна, зондирование, активная тектоника.

## ЫСЫК-КӨЛДҮН ТҮБҮНҮН АКТИВДҮҮ ДЕФОРМАЦИЯЛАНУУЛАРЫ

**Кыскача мазмуну.** Ысык-Көл көлүнүн түбүндөгү тектоникалык процесстер азыркы учурга чейин уланууда, бирок көрүнүп тургандай тез, андан дагы «катастрофиялуу» мүнөзгө ээ эмес. Бул Ысык-Көл көлүнүн акваториясынын алдындагы мээлүүн дагы жер титирөөлөрдүн жок болушу менен тастыкталат.

**Негизги сөздөр:** Ысык-Көл, түбүнүн рельефи, зонддоштуруу, активдүү тектоника.

## ACTIVE DEFORMATION OF THE ISSYK-KUL LAKE FLOOR

**Abstract.** Active tectonic processes on the Issyk-kul lake floor is continuing up to present time, but, probably have no fast, “catastrophic” character. This conclusion is supported with absence of even moderate epicenters of earthquakes under lake floor.

**Keywords:** Issyk-kul, relief of floor, sounding, active tectonics.

Как известно, озеро Иссык-Куль имеет глубокую центральную котловину с плоским дном (668 м глубины воды), которая занимает приблизительно 25% от площади озера (рис. 1). Две крупные неглубокие платформы, представляющие собой речные дельты, имеются в западной и восточной частях озера, причём дельты имеют ширину около 60 км в восточной и 40 км в западной части. Шельфы на севере и юге озера довольно узкие и отделены от центрального бассейна озера крутыми склонами. В районах дельт, шельф разделён на две части, одна неглубокая часть с глубинами воды до 110 м со средним наклоном  $0.5^\circ$ , а другая с глубиной воды от 110 до 340 м и средним наклоном  $1^\circ$  [1]. Врезанные каналы шириной до 2-3 км и глубиной 50 м видны как на восточной и западной дельтах (рис. 1), но ограничены мелководной частью шельфа. Они находятся на продолжении современных устьев рек, в восточной части озера, и вполне вероятно, связаны с бывшим устьем и истоком реки Чу в западной дельте [2]. Глубокие части шельфа характеризуются рядом террас, которые интерпретируются как древние дельты, что указывает на более низкие уровни воды [3,4].

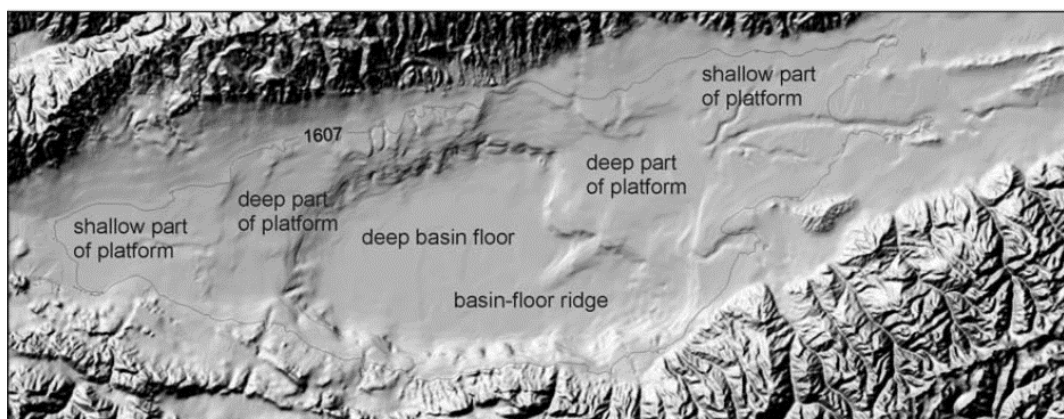


Рис.1. Цифровая карта рельефа дна озера Иссык-Куль [5].

Озеро питается в общей сложности от 118 рек и ручьев, дренирующих площадь, равную 22,080 км<sup>2</sup>. Эти реки в основном несут талую воду снегов и ледников, дождя и грунтовых вод [1]. Самыми крупными реками являются реки Жергалан и Тюп, которые впадают в озеро Иссык-Куль в его восточной части. В настоящее время озеро Иссык-Куль не имеет стока, но на протяжении своей истории, оно имело сток через реку Чу на её западном конце [3]. Приблизительно 640 км<sup>2</sup> площади дренажа в настоящее время покрыто ледниками, которые расположены в высотах по крайней мере 3000 м над уровнем моря. Большинство из этих ледников встречаются на северных склонах хребта Терской Алатау [6].

Озеро Иссык-Куль занимает центральную часть обширной одноименной впадины. Регион тектонически очень активен, что подтверждается недавними и историческими землетрясениями большой магнитуды (например, Кеминское землетрясение 1911 с М более 8), которые часто приводят к значительным поверхностным оползням и вполне вероятно, также вызывают большие субкавальные движения масс. Поднятие хребта Терской Алатау и начало заполнения бассейна осадками началось в позднем олигоцене [7,8]. Большая часть современной тектонической активности сосредоточена по краям впадины.

В 1990 году А.К. Трофимов [9] опубликовал статью, в которой предположил, что самой существенной чертой четвертичной тектоники Иссык-Кульской впадины является процесс формирования грабена путём последовательного обрушения блоков от периферии к центру на западе и востоке при стабильном положении зоны сбросов на юге и севере. В среднем голоцене произошел «катастрофический» сброс в центральной части впадины, которая опустилась на 200 м (рис. 1). В результате этого образовалась глубоководная котловина озера, ограниченная кольцевым тектоническим уступом. Последняя имеет трапецевидную форму благодаря пересечению субширотных и секущих сбросов. К таким выводам А.К. Трофимов пришёл на основании интерпретации данных сейсмического зондирования дна озера. Отметим, что первые сейсмические данные об осадочном заполнении и строении озера Иссык-Куль были получены в 1982 году исследователями из Московского государственного университета, которые провели в общей сложности 31 профилей через озеро. К сожалению, были опубликованы только несколько профилей [10]. При этом, согласно интерпретации исследователей, проводивших указанное зондирование, роль разрывов в образовании кольцевого уступа ограничена.

В том же 1990 году в издательстве «Илим» вышла монография В.В. Романовского [11]. В одном из её разделов автор, на основании анализа тех же сейсмоакустических профилей [10] приходит к выводу, что «падение уровня озера в голоцене на 130 метров не было связано с климатом, а обуславливалось тектоническим проседанием озерной

ванны» [11, стр.11] . Центральный блок котловины, по мнению В.В. Романовского опустился на 300-350м., т.е. даже больше, чем у А.К.Трофимова.

Таким образом, используя материалы сейсмического зондирования невысокого качества и небольшой глубины проникновения, некоторые исследователи пришли к выводу о значительной роли разрывных нарушений в формировании рельефа дна озера Иссык-Куль.

Достаточно детальные сейсмические профили были получены в 1997 и 2001 годах учёными из Ренард центра морской геологии (RCMG, Гентский университет, Бельгия). В 1997 году было проведено 62 профилей (протяжённостью около 990 км) с использованием многоэлектродного спаркера CENTIPEDE в качестве источника звука. В 2001 году, 40 дополнительных профилей (~ 600 км) были пройдены с помощью того же источника, и еще 12 профилей с использованием SIG Sparker [5,12]. В проведении указанных исследований автор настоящей статьи принимал непосредственное участие.

Интерпретация полученных данных позволила прийти к весьма интересным выводам об истории развития озера Иссы-Куль, о строении дна озера и т.д. Некоторые из этих данных приводятся в настоящей статье.

В целом, новые данные сейсмического профилирования позволили получить очевидные свидетельства современных деформаций в пределах глубоководной центральной котловины [5]. Активная антиклиналь, сложенная деформированными озерными отложениями дна озера, подсечена профилями в восточной части котловины (рис.3). При этом на профиле ясно виден полого падающий активный разрыв, параллельный осевой плоскости антиклинали, секущий современные отложения. Тот факт, что антиклиналь хорошо видна в морфологии дна озера, свидетельствует о том, что она является относительно молодой. В противном случае, она должна быть перекрыта озерными отложениями. Кроме того, детальный анализ отложений показывает, что трансгрессивное прилегание отложений не достигает вершины антиклинали, как должно быть при постепенном перекрытии и погребении структуры. Это свидетельствует также о том, что антиклиналь активно растёт и на современном этапе. Пространственное положение описываемой структуры позволяет предположить, что она может быть связана с разрывами южного побережья озера Иссык-Куль. При этом, похожие антиклинальные структуры имеются и на побережье озера, в его восточной части (антиклинали Оргочер, Боруbash и др.), что свидетельствует о распространении тектонических движений в сторону дна озера.

Новые данные не позволяют нам поддержать идею о быстром «катастрофическом» опускании дна озера Иссык-Куль [9,11]. Хотя сейсмические профили, пройденные в пределах южного и северного склонов дна озера (рис.2), свидетельствуют о тектоническом контроле при их возникновении, тем не менее, не имеется данных о современной или даже, голоценовой активности указанных разломов. Большинство разломов, контролирующих склоны, перекрыты недеформированными донными осадками. Более того, такое значительное тектоническое событие как «обрушение» дна озера, несомненно, должно было отразиться в особенностях строения донных осадков, которые в свою очередь должны были зафиксированы в сейсмических записях и кернах, отобранных со дна озера, как-то: склоновые смещения, оползни, внутренние деформации, разрывообразование, развитие сейш и т.д. Наши данные [5] не содержат таких свидетельств.

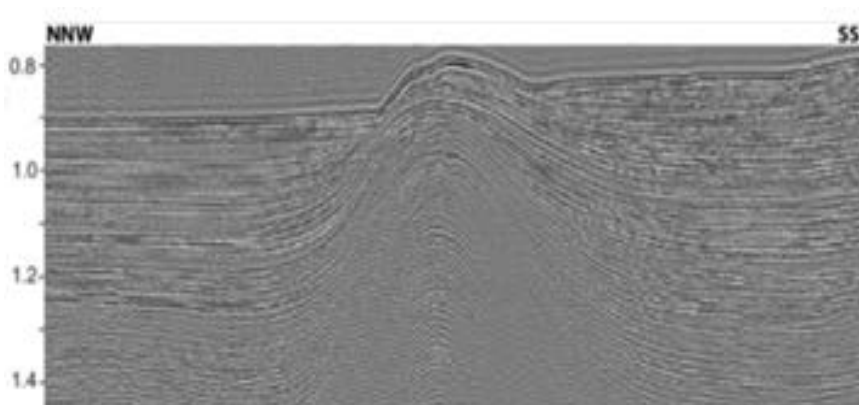
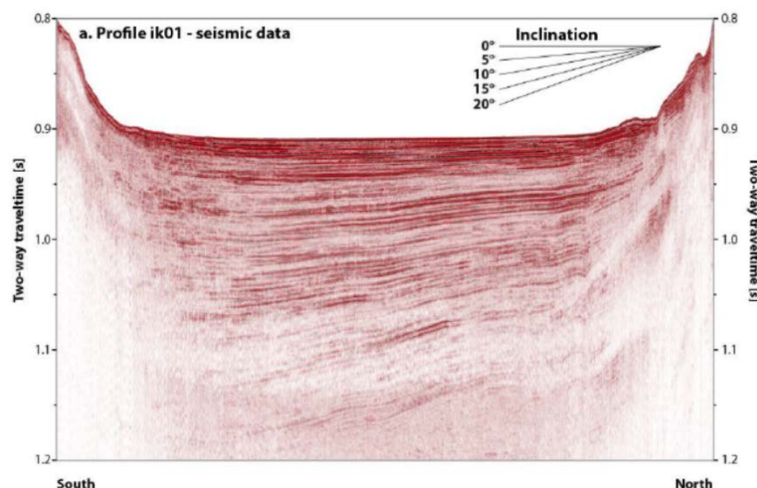


Рис.2. Активная антиклиналь, видимая на одном из сейсмоакустических профилей, пройденных в юго-восточной части дна озера [12]. Цифры слева - двусторонние времена пробега, преобразованные в глубину ниже уровня озера с использованием скорости звука 1500 м с-1.

Данные о скорости седиментации колеблются от 0.47-0.56 мм /год [13] до 0.49-0.59 мм/год [14] и 0.23-0.39 мм/год [15,16]. На основе данных абсолютного датирования, используя среднее значение скорости седиментации 0.45 мм/год, получим минимальный возраст около 830 тыс. лет для нижних слоёв осадочных пород, видимых в профилях. Вполне вероятно, что озеро значительно старше, так как акустический фундамент не был обнаружен ни в одном из профилей. Таким образом, можно говорить о том, что опускание центральной части озерной бассейна должно быть древнее, чем 0.8 млн. лет. При этом, это опускание не было быстрым, тем более – катастрофически быстрым.



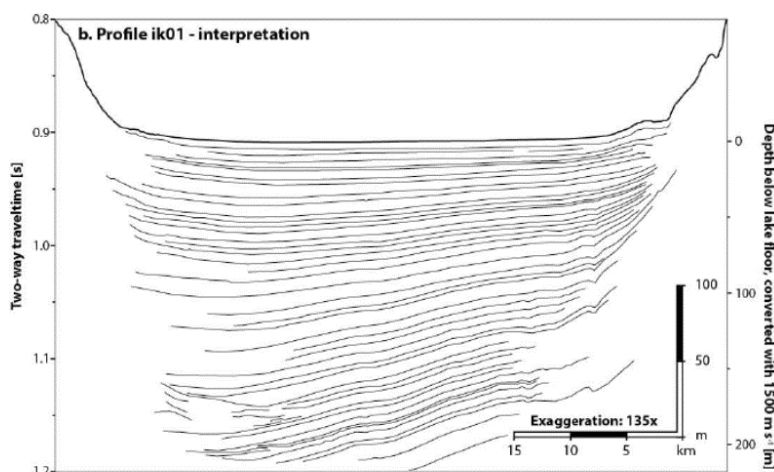


Рис. 3. Интерпретация сейсмического профиля, пройденного с севера на юг [1] (Gebhardt et.,al., 2017). Видна тектоническая природа склонов и неравномерное оседание между северной и южной частью озера, которое было относительно постоянным во времени.

Тектоническая природа дна озера хорошо видна на одном из профилей (рис.3), пересекающих всю акваторию с юга на север [12] профиль ik01): осадки падают на юг, указывая на более высокую скорость осадконакопления в этой области. Это видно, по крайней мере, на 200 м ниже дна озера. В профилях разломы, ответственные за асимметрию бассейна не видны, но исследования вдоль южного побережья озера показали наличие ряда разломов, протягивающихся примерно параллельно длинной оси озера [7, 8, 9, 17]. Наиболее важным разломом, ограничивающим впадину с юга, является северовергентный Предтерсейский разлом, с более чем 8 км структурным рельефом по отношению к озеру. Фишен-трек анализ апатитов показывает, что эта структура стала активной в позднем олигоцене-раннем миоцене [9]. На сейсмическом профиле ik01 (рис.3.), очевидно, что общая картина осадконакопления не претерпела существенных изменений в течение временного интервала, который мы можем наблюдать. Пласты почти горизонтальны в направлении запад-восток, но немного наклонены к югу, при этом углы падения увеличивается с глубиной. Это указывает на неравномерное оседание только между северной и южной частью озера, которое было относительно постоянным во времени и деформации, вероятно, все еще активны. Это указывает на продолжающийся процесс. Это также является косвенным доказательством того, что тектонические процессы не могли быть причиной колебаний уровня озера Иссык-Куль, в том числе и регрессий, достигающих 100 м и более.

Сейсмические профили, пройденные в пределах речных дельт на востоке и западе озерной котловины [12] не выявили сколько-нибудь значительных тектонических разрывов, которые нарушали бы поверхность дельт разного возраста.

Таким образом, на основании приведённых выше данных можно констатировать, что тектонические процессы на дне озера Иссык-Куль продолжаются до настоящего времени, но, по всей видимости, не имеют быстрого, тем более «катастрофического» характера. Это подтверждается и отсутствием эпицентров даже умеренных землетрясений под акваторией озера Иссык-Куль.

## Литература

1. Коротаев В.Н., Никифоров Л.Г. Некоторые вопросы четвертичной геологии побережья озера Иссык-Куль. // Географические исследования в Киргизии. Фрунзе, 1970.
2. Букин В.М. Морфология и рельеф дна Иссык-Куля. Дисс. на соискание уч. степени канд. геогр. наук, Фрунзе, 1973, 25 с.
3. Бондарев Л.Г. Подводные долины на дне Иссык-Куля, Природа, № 6, 1962.
4. Букин В.М. Древняя береговая линия на дне Иссык-Куля, Изв. АН Кирг.ССР, №4, 1974.
5. De Batist, M., Imbo Y., Vermeesch P.M., Klerkx J., Giralt S., Delvaux D., Lignier V., Beck C., Kalugin I., Abdrakhmatov K.Y., 2002. Bathymetry and sedimentary environments of Lake Issyk-Kul, Kyrgyz Republic (Central Asia): a large, high-altitude, tectonic lake, in: Klerkx J., Imanackunov B. (Eds.), Lake Issyk-Kul: Its Natural Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 101-123.
6. Забиров Р.Д. Древнее и современное оледенение хребта Терской Алатау и колебания уровня озера Иссык-Куль. Изв. АН Кирг. ССР, вып.2, Фрунзе, 1956.
7. Чедия О. К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня: Фрунзе, Илим, 1986.
8. Macaulay E.A., Sobel E.R., Mikolaichuk A., Kohn B., Stuart F.M., 2014. Cenozoic deformation and exhumation history of the Central Kyrgyz Tien Shan. Tectonics 33, 135-165.
9. А.К. Трофимов, Четвертичные отложения Иссык-Кульской впадины в связи с тектоникой. // Изв. АН Кирг.ССР, 1990, №1, с.87-95.
10. Ставинский С.А., А.В. Месхетели, Д.В. Кузнецов. 1984. Результаты сейсмического профилирования дна озера Иссык-Куль. Отчет. Фонды Управления Геологии Кирг. ССР, Фрунзе, 130 с.
11. Романовский В.В. Озеро Иссык-Куль как природный комплекс. – Фрунзе «Илим» 1990 г.
12. A. C. Gebhardt, L. Naudts, L. De Mol, J., Klerkx, K. Abdrakhmatov, E. R. Sobel, M. De Batist. High-amplitude lake-level changes in tectonically active Lake Issyk-Kul (Kyrgyzstan) revealed by high-resolution seismic reflection data. Climate of the Past, 13, 73–92, 2017, doi:10.5194/cp-13-73-2017
13. Ricketts R.D., Johnson T.C., Brown E.T., Rasmussen K.A., Romanovsky V.V., 2001. The Holocene paleolimnology of Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan: trace element and stable isotope composition of ostracodes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 176, 207-227.
14. Giralt S., Riera S., Leroy S., Buchaca T., Klerkx J., De Batist M., Beck C., Bobrov V., Catalan J., Gavshin V., Julia R., Kalugin I., Kipfer R., Lignier V., Lombardi S., Matychenkov V., Peters F., Podsetchine V., Romanovsky V.V., Shukonikov F., Voltattorni N., 2004. 1,000-years of environmental history of Lake Issyk- Kul, in: Nihoul J.C.J., Zavialov P.O., Micklin P.P. (Eds.). Dying and Dead Seas: Climatic Versus Anthropic Causes. Kluwer Academic Publishers, pp. 253-285.
15. Larrasoña J.C., Gómez-Paccard M., Giralt S., Roberts A.P., 2011. Rapid locking of tectonic magnetic fabrics in weakly deformed mudrocks. Tectonophysics 507, 16-25.
16. Gómez-Paccard M., Larrasoña J.C., Giralt S., Roberts A.P., 2012. First paleomagnetic results of mid- to late Holocene sediments from Lake Issyk-Kul (Kyrgyzstan): Implications for paleosecular variation in central Asia. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 13, n/a-n/a.
17. Burgette R.J., 2008. Uplift in response to tectonic convergence: The Kyrgyz Tien Shan and Cascadia subduction zone, Department of Geological Sciences. University of Oregon, USA, Oregon, USA, p. 262.

*Рецензент: к. г.-м. н. Омуралиев М.О.*