

УДК 624. 131

## **МЕХАНИЗМ ОПОЛЗНЕВОГО ЗАВАЛА НА ОЗЕРЕ КАРА-СУУ**

**Торгоев И.А.**

Научно-инженерный центр «Геоприбор» Института машиноведения,  
автоматики и геомеханики НАН КР

В верхнем течении р. Кара-Суу (Восточная) находятся грандиозная плотина оз. Кара-Суу, расположенная непосредственно на линии основного шва (сместителя) Таласо-Ферганского разлома (ТФР). Приуроченность завальной плотины к ТФР является неблагоприятным фактором, снижающим её долговременную устойчивость и целостность. Потенциальный прорыв плотины озера Кара-Суу, имеющего объём 250 млн. м<sup>3</sup>, например, при скачкообразной подвижке по ТФР и/или при сильном землетрясении в зоне разлома, представляет большую опасность т.к. он может сопровождаться катастрофическим селевым потоком, либо паводком, сметающим все на своем пути вниз по долине. В статье рассмотрен механизм образования завальной плотины озера Кар-Суу.

**Ключевые слова:** тектонические разломы, оползни, обвалы, завальные плотины, прорывоопасные озёра.

## **КАРА-СУУ КӨЛҮНДӨГҮ ЖЕР КҮЧКҮ ДАМБАСЫНЫН МЕХАНИЗМИ**

**Торгоев И.А.**

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Машина куруу, автоматика жана геомеханика институтунун «Геоприбор» илимий-инженердик борбору

Кара-Суу (Чыгыш) дарыясынын жогорку агымында түздөн-түз Талас-Фергана жаракасынын (ТФЖ) негизги тигишинин (жарык тегиздигинин) линиясында жайгашкан Кара-Суу көлүнүн чоң дамбасы бар. Плотинанын ТФЖге камалышы анын узак мөөнөттүү туруктуулугун жана бүтүндүгүн төмөндөтүүчү жагымсыз фактор болуп саналат. Көлөмү 250 млн м<sup>3</sup> болгон Кара-Суу көлүнүн плотинасынын потенциалдуу жарылуусу, мисалы, жарака зонасы боюнча чукул кыймылда жана/же жарака зонасында катуу жер титирөө учурунда чоң коркунуч туудурат. Ал өрөөндө ылдый жолдогу нерселердин баарын алып кеткен катастрофалуу сел же суу ташкын

менен коштолушу мүмкүн. Макалада Кар-Суу көлүнүн жер көчкү дамбасынын пайда болуу механизми каралат.

**Баштапкы сөздөр:** тектоникалык жаракалар, жер көчкүлөр, таш кулоолор, таш кулаган дамбалар, жарылуу коркунучу бар көлдөр.

## MECHANISM OF A LANDSLIDE DAM ON LAKE KARA-SUU

**Torgoev I.A.**

Research and Engineering Center "Geopribor" of the Institute of Mechanical Engineering, Automation and Geomechanics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

In the upper reaches of the Kara-Suu (Eastern) River there is a grand dam of Lake Kara-Suu, located directly on the line of the main suture (fault plane) of the Talas-Fergana fault (TFF). The confinement of the landslide dam to the TFF is an unfavorable factor that reduces its long-term stability and integrity. A potential breakthrough of the dam of Lake Kara-Suu, which has a volume of 250 million m<sup>3</sup>, for example, during an abrupt movement along the TFF and / or during a strong earthquake in the fault zone, is very dangerous because it can be accompanied by a catastrophic mudflow or flood, sweeping away everything in its path down the valley. The article considers the mechanism of formation of the landslide dam of Lake Kar-Suu.

**Key words:** tectonic faults, landslides, rockfalls, rockfall dams, outburst-hazardous lakes.

Район расположения озера Кара-Суу характеризуется расчленённым высокогорным рельефом с крутыми обнажёнными склонами, с абсолютными отметками отдельных вершин до 3700 м. Озеро приурочено к узкой долине р. Кара-Суу (восточная), представляющей собой грабен, вытянутый вдоль Таласо-Ферганского разлома. Эта долина с северо-востока ограничена южным склоном хребта Тахталык (рис.1), относящегося к Центральному Тянь-Шаню, а с юго-запада – северным склоном хребта Кенкол, входящего в систему Ферганского хребта.

Озеро Кара-Суу образовалось в результате перекрытия долины реки оползнями-обвалами объемом около 250 млн. м<sup>3</sup>, произошедшими на левом борту долины (рис.2). Тело самого завала лежит непосредственно на линии ТФР. Геологическое строение рассматриваемого участка показано на рис.3. Как отмечалось выше, долина реки Кара-Суу (восточная) приурочена здесь к главному сместителю ТФР. Левый борт долины с крупным обвальным-оползневом цирком (рис.2) до высоты 900 м сложен ниже-среднедевонскими известняками (D<sub>1</sub>+D<sub>2</sub>) с единичными пачками глинистых сланцев. Эти отложения по разрыву граничат на юге с верхнесилурийскими известняками, переслаивающимися с глинистыми сланцами и рассланцованными известняками.



Рис.1. Завальные озёра Кара-Суу и Капка-Таш на снимке Google Earth: а) Кара-Суйский завал; б) композитная плотина оз. Капка-Таш; белая пунктирная линия — Таласо-Ферганский разлом

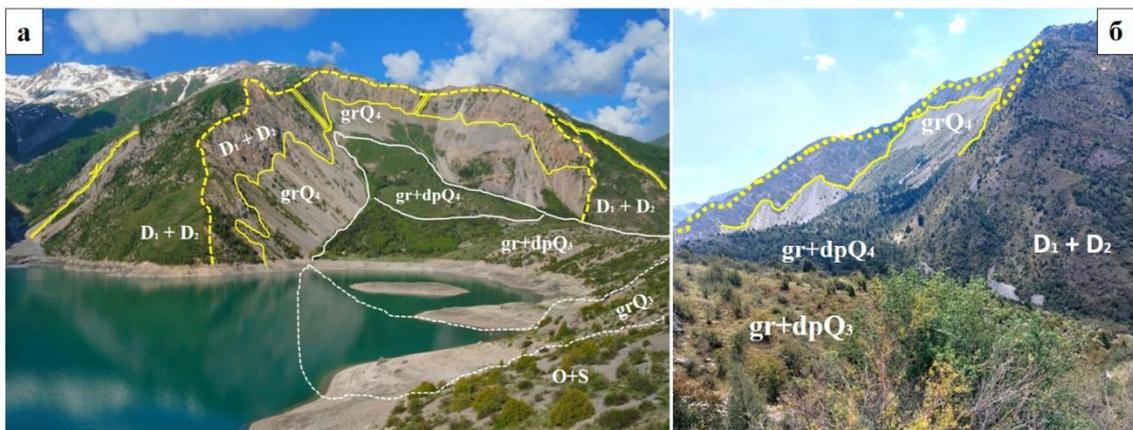


Рис.2. Обвальнo-оползневой цирк и завальная плотина у оз. Кара-Суу: а) вид с северо-востока на юг-запад; б) профиль обвальнo-оползневого склона – вид с северо-запада на юго-восток. Условные обозначения на рис.3

Правобережный склон слагают нижнепалеозойские сланцы, которые выветриваются легче, чем известняки левого борта. Поэтому левый борт в целом более крутой, нежели правый, крутизна которого составляет всего  $34^\circ$ . Кроме того, на правом берегу сланцы падают в склон под углом  $40-45^\circ$ . Они слабо нарушены разрывами и по совокупности указанных причин обвалы и оползни на этом берегу отсутствуют. Воронка отрыва приурочена к левому борту долины и охватывает северо-восточное крыло ТФР, который на этом участке сечёт левый склон долины, а ниже сместитель ТФР совпадает с руслом реки Кара-Суу (восточная). От

плоскости разрыва спускается вниз более молодая генерация оползневых масс ( $gr+dpQ_4$ ) относительно небольшого объёма (рис.2). Разрыв, падающий под углом  $75-90^\circ$  по склону долины, являлся главной зоной ослабления, по которой и отчленились от склона сместившиеся массы (рис.2-3).

Сочетание всех перечисленных особенностей голого-тектонического строения именно в данном месте и привело к образованию грандиозного обвального-оползневого цирка (рис.2) и завальной плотины (рис.3). Обвальное-оползневой цирк возвышается над плотиной на 800 м и имеет длину по склону 1200 м, при глубине захвата пород склона до 200 м.

Кара-Суйский завал подпруживает одноимённое фьордообразное озеро длиной 7 км и максимальной шириной до 1200 м. Объём воды в озере Кара-Суу составляет 220 - 250 млн.  $m^3$ , максимальная высота плотины над горизонтом высоких вод составляет – 150 м, минимальная высотная отметка - 36 м, что создаёт дополнительный запас ёмкости озера в 160 млн.  $m^3$ . Годовая амплитуда колебаний уровня озера Кара-Суу составляет 20 -30 м.

На рис.3 выделено древнее русло перелива воды из озёрной ванны в плане и разрезе. На первых этапах существования Кара-Суйской плотины перелив воды происходил через её гребень [1], следы древнего русла фиксируются по полосе глыбовых навалов. Поток, постепенно вымыв мелкоземистый заполнитель, вызвал просадку пород с образованием на теле завала двух вторичных уступов, имеющих вблизи фронтального края плотины (рис.4), и ушёл вглубь обвального-оползневых масс. Именно по этим следам было нанесено на карту древнее русло, показанное на рис.3. В настоящее время сток из оз. Кара-Суу осуществляется по руслу водотока, который выклинивается из тела завала на участке его примыкания к левому борту долины, ниже водозаборного узла малой ГЭС «Кайнама».

По поводу образования завальных озёр Тянь-Шаня в научной литературе существует несколько мнений и гипотез. Наиболее распространено мнение, что большинство подобных озёр имеет завальный генезис [1-5]. При этом подразумевается, что обвал и/или оползень, обрушившийся с одного из бортов горного ущелья, заблокировал его и вызвал образование подпружного озера. Стоит отметить, что чисто оползневые и/или обвальные плотины, как правило, образуют небольшие по размерам и не слишком глубокие озёра.

Вместе с тем, в последние годы все большее распространение получает мнение о том, что в действительности грандиозные по объёму и площади завальные озёра, в их числе Сары-Челек и Кара-Суу, являются образованиями тектонического происхождения [6], т.е. они реализуются лишь при определённой тектонической подготовке массива горных пород и/или при подвижках по разлому, поэтому они называются горно-тектоническими

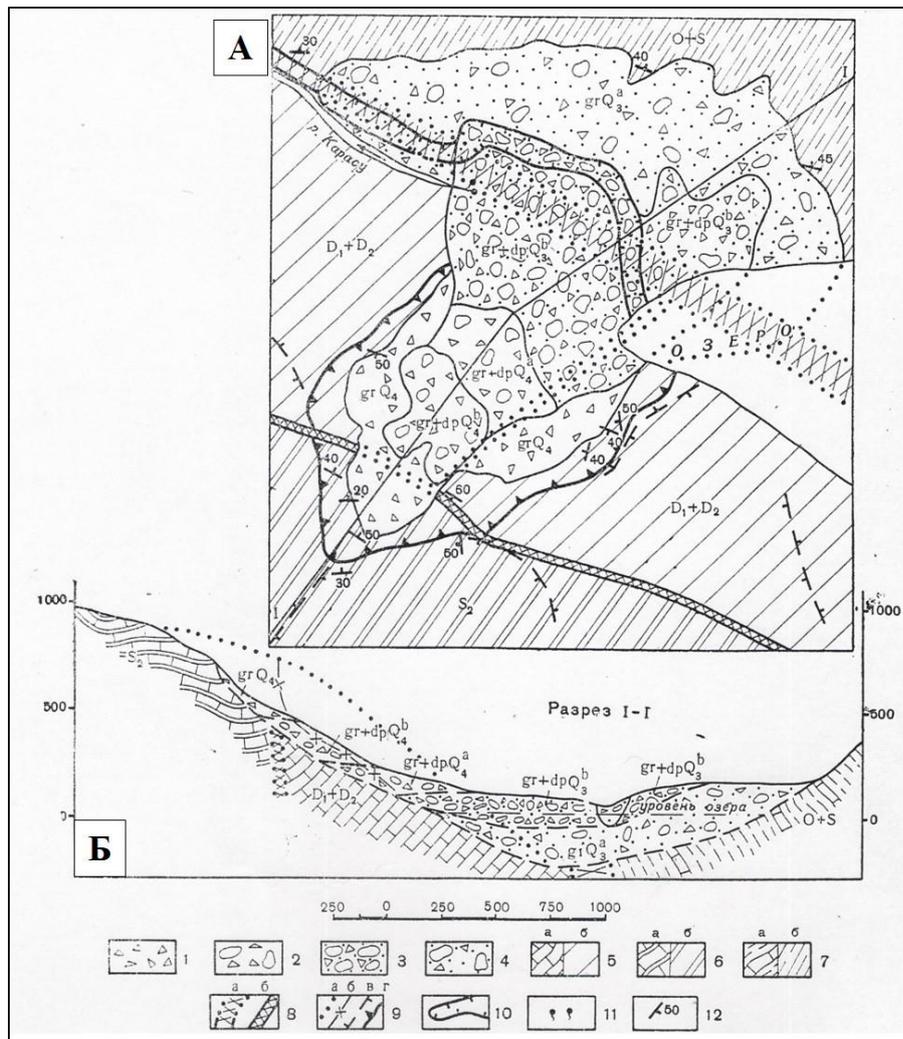


Рис.3. Геологическая схема (А) и разрез (Б) обвально-оползневого участка у озера Кара-Суу [1]: 1 - осыпные (grQ4); 2 – обвально-оползневые (gr+dpQ4) объёмом 20 млн. м<sup>3</sup>, верхнечетвертичные накопления; 3 – обвально-оползневые (gr+dpQ3) объёмом 115 млн. м<sup>3</sup>; 4 – обвальные (grQ3) объёмом 135 млн. м<sup>3</sup>; 5 - ниже -среднедевонские известняки (D1 + D2): а - на разрезе, б – на карте; 6 - верхнесилурийские известняки (S2); 7 – ордовик-силурийские (кембрийские?) кристаллические сланцы (O+S); 8 – сместитель Таласо-Ферганского разлома (а) и сопровождающий его крупный разрыв (б); 9 – геоморфологические элементы: а – поверхность склона до возникновения обвалов и оползней; б – то же, после формирования верхнечетвертичных обвалов и оползней; в - местный водораздел; г – граница оползневого цирка; 10 – древнее русло перелива; 11 – источники воды, дающие начало р. Кара-Суу; 12 – элементы залегания пород.

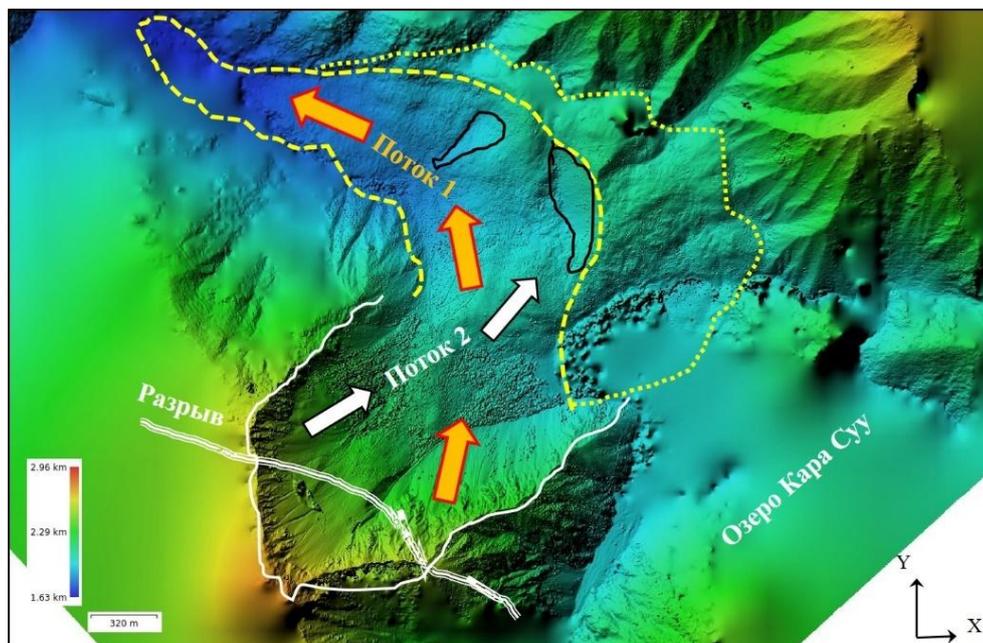


Рис.4. Цифровая модель рельефа Кара-Суйского завала, построенная по результатам дрон-съёмки, с указанием направления потоков 1-2 обвальнo-оползневых масс. Чёрные линии оконтуривают вторичные уступы, возникшие при переливе воды по древнему руслу

Наиболее благоприятным для возникновения горно-тектонического обвала является развитие системы разрывов линейно перистого типа под действием тектонических напряжений и скачкообразных подвижек по разлому [3]. Вкратце подготовку горно-тектонического обвала можно представить поэтапно следующим образом [7]:

а) вначале первые подвижки по разлому, имеющему сдвиговую составляющую (ТФР), приводят к заложению в его висячем боку трещин линейно-перистого типа и разрывов типа шарнирных сбросов;

б) отмечается дальнейший рост трещин и тектонический перекося блоков, причём разделяемые трещинами блоки перемещаются относительно друг друга, поверхность наклоняется к главному сместителю (ТФР);

в) происходит дальнейший рост амплитуд разрывов, увеличение их числа, протяжённости по простиранию и падению. Рост тектонического перекося приводит к очень крутому наклону сместителей в их висячих боках, наклону сместителей сбросов в сторону главного разлома. Наступает неустойчивое равновесие, которое может быть нарушено либо землетрясением, либо дальнейшим ростом деформаций или подвижек по главному разлому;

г) реализация обвала происходит в тектонической долине, непосредственно примыкающей к главному разлому. Вниз смещаются породы склона, отделённые от массива системами разрывов и трещин.

Что касается конкретно плотины озера Кара-Суу, то по поводу её формирования существует несколько версий. По мнению Ю.Д. Матвеева

[1] и Т. П. Белоусова [8] озеро образовалось в результате перекрытия долины р. Кара-Суу-восточная за счёт нескольких последовательных обрушений скальных пород левобережного склона (рис.4).

На рис.3б приведено распределение горных пород в теле плотины. В общем обвальном оползневом накоплении, слагающие плотину, разделяются на две генерации, т.е. как бы сформированы двумя потоками. По мнению Ю.Д. Матвеева Генерация 1 (поток-1) представлена обвальными накоплениями ( $grQ_3$ ) – щебнем с глыбами и единичными пакетами известняков в суглинистом заполнителе (рис.3б). Общий объем этих накоплений составляет около 135 млн. м<sup>3</sup>.

Генерация 2 (рис.3.б) сложена обвальными оползневыми блоками известняков ( $gr+dpQ_3$ ) и щебнем с супесью в промежутках. Причем с поверхности эти отложения объёмом около 115 млн. м<sup>3</sup> вследствие выветривания имеют щебнисто-глыбовый состав. В приозёрной части плотины отложения представляют собой глыбы, хорошо видные на рис.4. Поток-2 смещался практически перпендикулярно ущелью. Небольшая составляющая движения вдоль ущелья направлена против течения, т.е. вверх по ущелью (рис.4).

Имеются основания полагать, что третья генерация оползневых масс ( $gr+dpQ_4$ ) относительно небольшого объёма (рис. 2,3) произошла гораздо позже потоков 1 и 2. По данным А.М. Корженкова с соавторами [9], проводивших исследования Кара-Суйского завала методом лихенометрического анализа, главная фаза обвала (поток-1) имеет возраст более 1500 лет. Эта датировка находится в соответствии с радиоуглеродным возрастом  $1570 \pm 40$  лет значительного Капка-Ташского завала, расположенного к юго-востоку от Кара-Суйского в верхней части р. Карасу (рис. 1). Лихенометрический возраст второй фазы завала (поток-2), удерживающего Кара-Суйское озеро, определен авторами в  $\geq 1000$  лет. С помощью указанного метода был установлен возраст третьей фазы завала – более 550 лет [9]. Таким образом, структура Кара-Суйского завала, показанная на рис.3б указывает на то, что обрушение левобережного склона происходило как минимум в три этапа примерно через 500 лет в результате подвижек по ТФР.

Отличительной особенностью Кара-Суйского завала является то, что основной объем горной массы лежит на противоположном берегу реки. Высота завала возле этого правобережного борта наибольшая и составляет от 300 до 350 м, тогда как у обрушенного борта в наиболее низкой части завала она составляет 120 м [1]. Это означает, что обрушенную породу как бы выплеснуло на противоположный борт. Этому способствовало идеальная плоскость скольжения обрушенных пород массы и их большая масса. Скорость движения обрушаемой породы прямо пропорционально ее массе и растет с расстоянием. Торможение каменной лавины, скорее всего, происходило уже в процессе её напользания на противоположный склон. На это, в частности, указывает и тот факт, что ширина завала вблизи правобережного склона больше, чем

около левого борта, с которого произошло обрушение (рис.3-4). По-видимому, в процессе торможения потоков породы происходило их растекание.

Ещё одной особенностью рассматриваемого завала является степень дробления пород в навале. На участках, вскрытых при прокладке дороги и водоводов малой ГЭС «Кайнама», видно очень мелкое и равномерное дробление породы. Наряду с этим в средней части поверхности плотины на рис.4 просматривается полоса крупных камней и валунов, которая маркирует контуры древнего русла.

Итак, весь процесс формирования Кара-Суйского завала представляется следующим образом. Вначале, вероятно некоторая часть склона отделилась от основного массива горных пород (поток-1). Толчком к смещению могло быть сильное землетрясение и/или скачкообразная подвижка вдоль смесителя ТФР [3]. Отделение породы от массива скорее всего, произошло по поверхности разрыва (рис.3,4) в виде единого блока, который под действием силы тяжести устремился вниз. Дробление этого блока, скорее всего, произошло уже в процессе его движения. Высокая степень дробления свидетельствует о значительных напряжениях и деформациях, возникших в обрушившейся породе при её ускоренном движении и последующем торможении. Первый поток образовал нижнюю часть плотины. Смещение породы в этом потоке происходило как вкрест (перпендикулярно) ущелью, так и вдоль долины по направлению русла реки (рис.4). После отделения горной породы объёмом около 135 млн. м<sup>3</sup> и её обрушения вниз в виде потока-1, на оставшейся части склона, образовалась сложная система заколов, которые примерно через 500 лет, вызвали второе обрушение в виде второго потока-2 объёмом около 115 млн. м<sup>3</sup>.

Подобным образом обвалы и оползни, происходящие вдоль линий тектонических нарушений (разломов) и блоки скальных пород, соскальзывающие с разбитых разломами бортов долины, блокируют русло реки, маскируя тектонический характер формирования плотин, и придавая им завальный облик.

Таким образом, основную причину обрушения рассматриваемого левобережного участка склона долины р. Кара-Суу можно характеризовать четырьмя основными факторами: приуроченностью склона к сместителю ТФР, по которому происходят периодические подвижки; наличием в данном склоне плоскости скольжения, приуроченной к разрыву, действием сосредоточенных тектонических напряжений и близостью к эпицентрам землетрясений. Грандиозная по объёму и площади плотина оз. Кара-Суу сформировалась в результате неоднократных обрушений пород левого борта, которые также были подготовлены и вызваны скачкообразными подвижками вдоль ТФР, следующими с периодичностью примерно 500 лет.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев Ю.Д. Закономерности развития грандиозных обвалов и оползней в районе строительства Токтогульской ГЭС. В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. Вып. 2. Москва: Изд-во МГУ, 1968. - с. 245–258.
2. Торгоев И.А. Оползневые процессы и риски на территории Кыргызстана. – Бишкек: ОсОО Oreta Group, 2023. – с. 312-319.
3. Кыдыров Ш. А. К вопросу о происхождении озер Кара-Су и Капка-Таш // Изв. АН Кирг. ССР, серия естеств. и техн. наук, 3. — 1961. — № 4. — С. 105—112.
4. Чедия О.К., Абдрахматов К.Е., И.Н. Лемзин, Корженко А.М. Сейсмогравитационные структуры Кыргызстана // Геология кайнозоя и сейсмотектоника Тянь-Шаня. - Бишкек: Илим, 1999.- с.86-97
5. Мамыров Э., Корженков А.М., Орлова Л.А. и др. Геодинамика Таласо-Ферганского разлома и стихийные бедствия на территории Центральной Азии. – Бишкек: «Арашан Дом Печати», 2009. – с.167-168
6. Максимов Е.В. О происхождении так называемых завальных озер Тянь-Шаня // Проблемы географии Киргизии. Мат-лы ко II съезду КГО. Фрунзе. 1975.
7. Максимов С.А. Морфодинамический анализ рельефа при геоморфологических исследованиях в горных районах. Геоморфология. 1986;(1):71-78.
8. Belousov T.P., Skobelev S.F., Strom A.L. On estimation of the recurrence period of strong earthquakes of the central Tien Shan (according to the data of absolute geochronology). J. Earthquake Pred. Res. 1994, 3, -pp 226-236
9. Корженков А.М., Абдиева С.В., Белоусов Т.П. и др. Возраст скальных оползней и палеоземлетрясений в долине р. Карасуу (Таласо-Ферганский разлом, Кыргызстан) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013, Т.40, №1. – с. 33—40
10. Fan, X., Dufresne, A., Whitley J., et al. Recent technological and methodological advances for the investigation of landslide dams // Earth-Science Reviews 218 (2021):103646- pp. 1-29