

# САРЕЗСКАЯ КАТАСТРОФА: геофизический прогноз

Л.П.Папырин  
Центр ГЕОН им. В.В.Федынского, Москва, Россия



## 1. История и возникновение проблемы

В ночь с 18 на 19 февраля 1911 года в центральной части Памира (в настоящее время на территории Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан) произошло сильное землетрясение. В результате сейсмического воздействия в долине реки Мургаб сошел гигантский оползень, который получил название "Усойский завал" в память о кишлаке Усой, заваленном им. Все жители кишлака погибли. Отложения завала перекрыли долину реки Мургаб и вызвали образование большого озера. Воды возникшего водоема затопили кишлак Сарез. Поэтому озеро стали называть Сарезским. Усойский завал перекрыл также боковой приток реки Мургаб - речку Шадау-Дара и вызвал образование второго озера Шадау, небольшого по сравнению с Сарезским ([См. фото 1](#)).

Усойский завал и Сарезское озеро расположены в удаленном и труднодоступном районе. Землетрясение разрушило горные тропы, по которым в то время осуществлялось сообщение между населенными пунктами, и сделало невозможным пешеходное сообщение по долине реки Мургаб. Поэтому об Усойском завале и возникновении Сарезского озера стало известно только летом 1911 года. Одновременно с возникновением Сарезского озера возникла опасность его прорыва через отложения Усойского завала и возникновения катастрофического селевого паводка в долинах рек Бартанг и Пяндж.

Осенью 1913 года начальник Памирского пограничного отряда, расположенного в Хороге, подполковник Шпилько Г.А. решил лично оценить, какую опасность для долины реки Бартанг представляет новое озеро. Он организовал экспедицию к озеру. Экспедицией Шпилько Г.А. была выполнена топографическая съемка завала и озера в масштабе 1:42000 и промеры глубины озера. В 1913 году озеро представляло замкнутый, не имеющий стока водоем длиной около 30 км. Наибольшая ширина 2 км, максимальная глубина 280 метров. В своей статье [10] в Известиях Российского императорского географического общества Шпилько Г.А. написал, что озеро не в состоянии ни прорвать завал, ни опрокинуть его.

В 1915 году Российский геологический комитет направил на Памир для изучения сарезской проблемы экспедицию профессора Преображенского И.А.. Экспедиция провела инженерно-геологическое обследование и топографическую съемку Усойского завала в масштабе 1:21000. По результатам геодезических измерений и сведений, полученных от местных жителей, Преображенский Г.А. составил схему рельефа местности до образования Усойского завала. Он описал основные моменты возникновения завальной плотины и определил ее объем, массу и размеры. В 1914 году в нижнем бьефе завальной плотины появились первые родники. Общий расход этих родников, по измерениям Преображенского

И.А., в 1915 году составил  $2 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Глубина Сарезского озера в 1915 году достигла 352,5 метра. Преображенский И.А. был первым специалистом по инженерной геологии, посетившим Сарезское озеро. Его работа "Усойский завал" [7], опубликованная в 1920 году, не потеряла своего значения и в настоящее время.

В 1925 году на Сарезском озере побывал военный топограф Колесников В.С. Он сообщил о том, что отметки уровня воды в озере с 1915 года увеличились почти на 100 метров, глубина озера достигла 450 метров, воды родников в нижнем бьефе Усойского завала прорыли каньон длиной около двух километров и глубиной 30-35 метров. Возникли опасения в том, что дальнейший рост каньона может привести к катастрофе. Для проверки этого сообщения Экономсоветом Средней Азии в 1926 году была организована экспедиция на Сарезское озеро под руководством профессора Ланге О.К.

Экспедицией Ланге О.К. были выполнены инженерно-геологические и гидрологические исследования. Впервые удалось провести гидрологические измерения расхода воды в каньоне, образовавшемся в нижнем бьефе завальной плотины. Расход воды, фильтрующейся через Усойский завал в августе 1926 года был равен  $70 \text{ м}^3/\text{сек}$ ., т.е. достиг обычного для этого времени года значения расхода в реке Мургаб. Сообщение Ланге О.К. [1] о том, что озеро стало проточным и расход реки Мургаб ниже Усойского завала достиг прежних значений было воспринято специалистами-водниками, как полное исключение опасности.

В период с 1926 до 1956 года эпизодически проводились обследования Усойского завала и Сарезского озера: Родионов Н.Е. - 1930 год, Афанасьев В.А. - 1934, Солдатов А.А. - 1938, Акулов В.В. - 1946, Рацек В.Н. - 1947, Васильев О.Ф. - 1956 год. Исследователи этого периода опасались, что со временем каньон в нижнем бьефе завальной плотины прорежет ее и возникнет катастрофический паводок. Прекращение роста каньона они истолковывали как исчезновение опасности. Малочисленные экспедиции пробирались к Сарезскому озеру на вьючном транспорте. Поэтому выполнить более сложные исследования (бурение скважин, геофизические работы и т.д.) эти экспедиции не могли. Развитие авиации, появление вертолетов, позволило проводить в центральной части Памира более сложные в техническом отношении исследования и начать новый этап изучения этого высокогорного района.

В 1967 году геологами производственного объединения "Таджикгеология" и института ВСЕГИНГЕО проводились аэровизуальные исследования по оценке селеопасности высокогорных озер Памира. В ходе обследования бассейна Сарезского озера на его правом борту на участке между Усойским завалом и саем Биромбанд на высоте от 4000 до 4300 м над уровнем моря были обнаружены трещины общей протяженностью около двух километров. В дальнейшем этот участок стали называть Правобережным оползнем ([См. рис. 4](#)). Возникло предположение, что обрушение в озеро Правобережного оползня вызовет перелив воды через северную пониженную часть завальной плотины, приведет к ее разрушению, создаст **гигантский селевой паводок в долинах рек Бартанг, Пяндж и Аму-Дарья. В опасной зоне проживает 5-6 миллионов человек.**

Предполагаемая сарезская катастрофа может быть во многом похожей на аварию, которая произошла в 1963 году в северной Италии на реке Пьяве на водохранилище Вайонт (объем  $0,169 \text{ км}^3$ ) [11,3]. Тогда в него сполз оползень Ток (объем  $0,24 \text{ км}^3$ ). Чаша водохранилища на участке длиной 2 км в течение 15-30 сек. оказалась заполненной породами до высоты 175 м над уровнем воды. В результате вода была "выжата" на противоположный борт на высоту 260 м. Водяной вал прошел по склону, обогнул арочную плотину (высота 265,5 м) и двинулся вниз по долине, образовав разрушительную волну высотой 70-90 м. Она

двигалась по долине со скоростью 8-12 м/с. В результате аварии на водохранилище Вайонт погибло несколько тысяч человек. Катастрофа от момента возникновения оползня до полного разрушения объектов в нижнем бьефе продолжалась не более 7 мин.

Объем воды в Сарезском озере в 100 раз больше, чем в водохранилище Вайонт. Объем ожидаемого оползня в несколько раз больше, чем оползня Ток. Абсолютная отметка уреза воды в Сарезском озере 3250, а в водохранилище Вайонт 680 м над уровнем моря. Соответственно и последствия сарезской катастрофы могут быть в сотни раз более разрушительными по сравнению с трагедией на водохранилище Вайонт.

В 1967 году Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР (ММВХ) создало из авторитетных специалистов по инженерной геологии межведомственную комиссию по Сарезскому озеру. На основании результатов его обследования и анализа последствий аварии на водохранилище Вайонт комиссия сделала заключение о наличии реальной угрозы прорыва вод Сарезского озера и рекомендовала срочно провести инженерно-геологические работы для определения устойчивости Усойского завала и берегов горного водоема.

Оснований для этого достаточно. Образование и прорыв завальных озер - закономерное явление для Памира ([Рис. 2](#)). В длительном геологическом времени этот процесс идет непрерывно. Установлено, что в голоцене (т.е. за последние 10 тыс. лет) на Памире было не менее 15 таких крупных озер на реках Пяндж, Гунт, Шахдара, Кудара. Самая большая завальная плотина была на реке Пяндж у кишлака Вознавад. Из этих 15 природосозданных озер в настоящее время существуют только два - Сарезское и Яшилькуль, остальные спущены в результате разрушения завальных плотин. При этом необходимо отметить, что плотина оз. Яшилькуль уже подвергалась разрушению - верхняя часть ее размыта. В районе Сарезского озера раньше существовало Прасарезское, образованное Ирхтским завалом. Как показали дальнейшие исследования, кроме Усойского завала, Мургабского и Ирхтского оползней, в этом районе обнаружено семь более древних перекрытий реки Мургаб за период продолжительностью 400 тыс. лет. Так что Сарезское озеро - десятое по историческому геологическому счету в этом районе. Как происходил размыв завальных плотин, какие при этом возникали катастрофы и по каким сценариям они происходили, за давностью событий неизвестно. **Если человек не вмешается в этот естественный процесс, то прорыв Усойского завала и ликвидация Сарезского озера неизбежны. Весь вопрос в том, какие последствия вызовет эта катастрофа и когда она произойдет.**

Не случайно Сарезская проблема рассматривалась в Правительстве Советского Союза. Совмин СССР 27 марта 1975 года принял распоряжение № 678р "О составлении схемы комплекса мероприятий по предупреждению прорыва вод озера Сарез и возможному использованию его водных ресурсов для нужд орошения и энергетики". Этим распоряжением Мингео СССР было дано задание выполнить на Сарезском озере комплексные инженерно-геологические исследования, а ММВХ СССР - разработать несколько вариантов схемы мероприятий по обеспечению безопасности.

Проводить любые исследования на поверхности Усойского завала очень трудно. Хорошо тренированный человек в центральной его части передвигается по сплошному нагромождению глыб со скоростью 1 км/ч. Еще сложнее выполнять какие-либо исследования на Правобережном оползне, средняя крутизна которого 30-35°, а превышение его верхней части над озером 1500 м. Передвигаться пешком можно не на всей площади Правобережного участка. Аппаратуру и снаряжение можно доставлять - только вертолетом на площадку, расположенную на левом берегу озера. Троп и дорог на крутых берегах озера

нет. Передислокация людей и грузов с вертолетной площадки на прибрежные участки возможна лишь водным транспортом. От берега озера до точек, где необходимо провести исследования, аппаратуру и оборудование можно перенести только вручную.

И тем не менее с 1967 года на Усойском завале и Правобережном оползне выполнены инженерно-геологическая съемка, геофизические исследования и режимные геодезические измерения. Были проведены также геофизические исследования для изучения фильтрации воды через завальную плотину, составлены топографические карты берегов озера и гидрографическая карта рельефа дна. Большая часть полевых исследований в районе Сарезского озера была выполнена организациями п.о. Таджикигеология: Инженерно-геологической партией Южной гидрогеологической экспедиции; Памирской геофизической партией Южной геофизической экспедиции; Топомаркшейдерской партией Таджикской геологосъемочной экспедиции. На период выполнения полевых работ каждая из этих партий создавала свой Сарезский отряд. Относительно небольшой объем полевых работ выполнены ВСЕГИНГЕО, САО Гидропроект, МГУ, геодезическими и гидрографическими партиями ГУКа, гидрологической партией ГМС Таджикистана.

По результатам исследований - площадь Сарезского озера  $80 \text{ км}^2$ . Объем воды в озере изменяется от  $15.5$  до  $16.5 \text{ км}^3$ . Максимальная глубина зависит от уровня воды в озере и колеблется от  $480$  до  $490$  метров. Длина завальной плотины Сарезского озера от верхнего до нижнего бьефов -  $3750$  м, максимальная ширина от верха ниши отрыва до левого коренного борта -  $5200$  м, ширина по верхнему бьефу -  $3150$  м. Площадь надводной части завала -  $9.2 \text{ км}^2$ . Общая площадь, включая подводную часть, -  $12 \text{ км}^2$ . Объем -  $2.2 \text{ км}^3$ . Пониженная часть гребня плотины превышает уровень озера на  $45-55$  м. Это превышение изменяется в процессе сезонных колебаний уровня озера. Среднегодовой уровень воды в озере по материалам автора ежегодно повышается на  $0.2$  м.

В 1988 году Госпланом СССР проведена экспертиза работ на Сарезе. Авторитетная комиссия рассмотрела результаты полевых исследований и отметила, что инженерно-геологические исследования нужно продолжить. По мере накопления знаний о районе Сарезского озера выявлялись все новые и новые вопросы, без решения которых разработка мероприятий по обеспечению безопасности не представлялось возможным. Были проанализированы разработанные в институтах "Союзводхоз", "Союзгипроводхоз" и "Гидропроект" следующие варианты схем по обеспечению безопасности:

- а) наращивание Усойского завала до высоты, исключаящей перелив через него при возможном обрушении Правобережного оползня;
- б) сработка озера по открытому каналу в пониженной части завальной плотины;
- в) сработка озера до безопасного уровня при помощи сифонов;
- г) строительство буферной плотины на реке Бартанг в  $80$  км ниже Усойского завала;
- д) сработка озера при помощи тоннелей в левом борту долины.

По разным причинам ни один из перечисленных вариантов схемы обеспечения безопасности не был признан комиссией реально выполнимым. Все дальнейшие работы по проведению инженерно-геологических изысканий и разработке мероприятий по обеспечению безопасности с 1989 года поручили проводить институту "Союзгипроводхоз". Они были начаты, но в 1991 году в связи с распадом СССР прекращены...

## 2. Усойский завал

В 1968 году автором была проведена рекогносцировка с целью изучения принципиальной возможности проведения геофизических работ на Усойском завале. В следующем году удалось осуществить первые электроразведочные работы на "селевом поле" в северо-западной части завальной плотины. В 1975 - 76 годах на завале были проведены комплексные геофизические исследования, включавшие: электроразведочные и сейсмические работы; гравиметровую и магнитную съемки; высокоточные измерения температуры и электрического сопротивления воды в Сарезском озере [4,5]. Практическое осуществление геофизических исследований на Усойском завале вызвало необходимость решения целого ряда методических и технических проблем, обусловленных труднопроходимым рельефом поверхности и отсутствием опыта работы в подобных условиях.

С помощью гравиметровой съемки ([См. рис. 6](#)) на завальной плотине выделено несколько локальных положительных и отрицательных аномалий силы тяжести. Положительные аномалии соответствуют блокам плотных пород. В северной и центральной частях завала выявлены зоны, где значения остаточных аномалий отрицательно. Северная зона обусловлена рыхлыми обвальными оползневыми и селевыми отложениями, легко поддающихся размыву. Вторая зона отрицательных значений выявлена в центральной части завальной плотины. Недостаток масс создают пустоты и крупные трещины между монолитными блоками. В пределах этой зоны по крупным трещинам и полостям воды Сарезского озера поступают в каньон, где происходит разгрузка подземных потоков.

Магнитной съемкой ([Рис. 10](#)) в северной части Усойского завала выявлено несколько локальных магнитных аномалий. Они образуют два, параллельные бровке отрыва оползня, зоны. Локальные аномалии первой (южной) зоны вызваны блоками или скоплениями магнитных пород в отложениях Усойского завала. Указанные блоки переместились на 500 - 600 метров. В пределах аномальных участков были найдены образцы магнитных пород, из которых были сделаны шлифы. По результатам их описания ясно, что магнитные блоки представлены скарнированными и гидротермально измененными породами с включениями магнетита, который и является основным магнитным компонентом. Вторая зона обусловлена более мелкими блоками таких же по составу магнитных пород, обрушившихся в последнюю стадию формирования завальной плотины.

Сейсмические исследования МПВ выполнялись лишь по четырем наиболее удобным для работы профилям. Кровля плотных коренных пород под Усойским завалом фиксируется высокоскоростной преломляющей границей ( $V_r = 5500 - 6500$  м/с). По результатам исследований определено положение тальвегов погребенных под отложениями завала долин реки Мургаб и речки Шадау. Максимальная мощность отложений Усойского завала 550 метров от уровня Сарезского озера. В районе гребня водораздельной гряды завальной плотины мощность оползневых отложений может достигать 650 - 700 метров. С помощью электроразведки была оценена мощность селевых отложений в северо-западной и северо-восточной частях завальной плотины.

В озерах Сарезском и Шадау с помощью специальной аппаратуры были выполнены высокоточные измерения температуры и минерализации воды. Они показали, что в западной части Сарезского озера эти параметры изменяются с глубиной. Но при одинаковой глубине они в пределах погрешности измерений остаются постоянными т.е. практически не изменяются в плане. В зависимости от времени года температура воды в поверхностном слое изменяется от 0 до 15 градусов ([Рис. 11](#)). Диапазон сезонных изменений температуры с глубиной значительно сужается. На глубине 70 метров температура воды практически не

зависит от времени года и равна 5.1 градуса В интервале глубин 70 - 250 метров и более, она плавно повышается и достигает значения 7.15 градуса, которое остается постоянным до дна озера. По расчетам это значение с большой точностью совпадает со средней многолетней температурой воды, втекающей в озеро в расчете на единицу объема. Минерализация воды на глубинах от 0 до 50 метров практически постоянна и была равна в период измерений 280 мг/л. Ниже этого горизонта она постепенно повышается и достигает на глубине 250 и более метров - 1130 - 1150 мг/л.

В поверхностном слое воды озера Шадау (Рис. 12) температура так же изменится от 0 до 15 градусов С. На глубине 32 метра отмечается ее резкий скачок (Рис. 10) с +4.0-4.5 до 6оС. Ниже температура воды достигает +6.3 градусов и остается такой до дна озера. На глубине 32 метра наблюдается резкое повышение значений минерализации воды (с 250 мг/л до 500-600 мг/л). Т.о. конфигурация графиков температуры и минерализации позволяет сделать заключение о том, что зона втока воды из озера Шадау в отложения Усойского завала находится в интервале глубин от 0 до 32 метров (от уровня озера в марте 1990 года). Ниже расположена застойная непроточная зона. Расчетное значение среднегодового стока воды в озеро Шадау не превышает 0.45 м<sup>3</sup>/сек. Такая же цифра соответствует расходу воды, фильтрующейся из Шадау в отложения завальной плотины. Эта величина составляет только 1% от общего расхода воды, фильтрующейся из обоих озер (44.6 м<sup>3</sup>/сек). Поэтому, при дальнейших гидрогеологических расчетах ей можно пренебречь.

Вода из Сарезского озера по скрытым путям фильтрации проходит через отложения Усойского завала и выходит в родниках, образовавших в нижнем бьефе завальной плотины каньон длиной 2 км и глубиной 30 -35 метров. В родниках были проведены режимные измерения температуры и минерализации воды (Рис. 13). По результатам этих измерений выделено три группы родников. Первая из них, расположенная в головной части каньона, связана с поверхностной зоной втока, т.к. температура воды в этих родниках колеблется в зависимости от времени года. Вторая группа родников связана с глубинной зоной втока. Температура воды в родниках этой группы постоянна и практически не зависит от времени года, а минерализация воды выше, чем в первой группе. Наличие глубинной зоны фильтрации подтверждает динамика изменения гидрологических параметров бассейна Сарезского озера. Так влияние глубинной зоны сглаживает колебания температуры воды по г.п. Барчадив. В летний период она ниже, чем на поверхности Сарезского озера, а зимой выше. Третья группа родников расположена в самой нижней части каньона. Она связана с зоной втока, занимающей промежуточное положение по вертикали между поверхностной и глубинной. Максимальная минерализация воды в родниках в нижнем бьефе - 360 мг/л. Исходя из этого факта, можно утверждать, что нижняя граница зоны втока на верхнем бьефе завальной плотины находится на глубине 80 - 90 метров. Ниже этого уровня в Сарезском озере также находится застойная зона с повышенной минерализацией воды.

В 1968, 1976 и 1986 годах группа сотрудников института ВСЕГИНГЕО под руководством Гончарова В.С. проводила исследование фильтрации воды через Усойский завал с применением индикаторов. Значение общего расхода по расчетным данным составило 90 м<sup>3</sup>/с. Это значение существенно превышает данные ГМС по гидропосту Барчадив, расположенном на реке Мургаб в 17 км ниже Сарезского озера (на период измерений 70 м<sup>3</sup>/с). Полученное значение скорости движения подземного потока колеблется в пределах от 2.5 до 4.5 м/с. Скорость течения воды в русле реки Мургаб в каньоне изменяется в таких же пределах. Можно предположить, что вода не фильтруется, а движется по сквозным полостям и трещинам. Скорость воды в озере на подходах к зоне втока настолько мала, что не фиксируется обычными гидрологическими приборами. На визуально наблюдаемых поверхностных участках втока воды в районе бухты Соединения скорость течения составляет сотые и десятые доли метра в секунду. Противоречие в определении скоростей

движения воды можно объяснить лишь плохими фильтрационными свойствами покровных отложений на напорной поверхности завальной плотины. Мощность этих отложений не превышает первые метры. После фильтрации через эти отложения вода движется по трещинам и полостям с такой же скоростью как и в открытом русле. Все запуски индикаторов проводились в поверхностную зону втока воды. Скорость движения воды в глубинной зоне втока не определена.

В 1977 году в отчете о геофизических исследованиях на Усойском завале автором был предложен простой и дешевый способ понижения уровня воды в Сарезском озере, который заключался в следующем [6]. Многолетний среднегодовой расход воды фильтрующейся через Усойский завал по материалам ГМС равен  $44.6 \text{ м}^3/\text{с}$  (Рис. 14). Максимальный расход воды, который пропускают пути фильтрации в паводок, достигает  $70 - 80 \text{ м}^3/\text{с}$ . Если каким-либо способом усилить гидравлическую связь верхнего бьефа с путями фильтрации с тем, чтобы последние постоянно пропускали максимальный расход, то уровень воды в Сарезском озере может понизиться естественным путем на  $40 - 50$  метров [6]. К сожалению, в 1977 году это предложение не нашло поддержки.

В 1990 году сотрудникам ВСЕГИНГЕО доктором тех. наук Постовым Г.П. совместно с автором подана заявка, а в 1992 году получен патент СССР на "Способ понижения воды горного завального озера", заключающийся в следующем. В теле завальной плотины имеются поперечные трещины, разделяющие завальные отложения на блоки. Некоторые из этих трещин образовались еще до схода оползня, другие в процессе его прямого и обратного смещения. На верховом откосе завальной плотины выходы трещин закрыты обвальными и селевыми отложениями. Последние препятствуют попаданию воды в трещины. Для понижения уровня воды в завальном озере предполагается провести расчистку выходов трещин на верховом откосе с помощью горных и взрывных работ. Такая расчистка приведет к увеличению расхода воды, пропускаемой завальной плотиной. Увеличение расхода воды вызовет понижение уровня озера. [8].

По результатам геофизических исследований 1975-1976 годов были даны следующие рекомендации: а) срочно провести детальные ( $M 1:5000$ ) исследования северной и центральной ослабленных зон для оценки их устойчивости при переливе воды; б) проследить положение путей фильтрации воды в плане и разрезе; в) определить места втока воды на верхнем бьефе завальной плотины. Все эти вопросы в дальнейшем многократно рассматривались в различных инстанциях, но до практического их выполнения дело не дошло.

Впервые строение Усойского завала было описано в одноименной работе Преображенского И.А. [7]. В 1968-1969 гг. Шеко А.И. и Лехатинов А.М. составили карту динамики развития Усойского завала масштаба  $1:5000$ . Авторы на основе современной топографии, дешифрирования аэрофотоснимков и аэровизуальных наблюдений составили карту в развитие предложенной Преображенским И.А. схемы образования и строения завальной плотины. В 1984-1986 годах с новыми идеями о строении завала выступил Федоренко В.С.. Он сделал предположение о наличии плотного ядра в районе гребня плотины и верхового обвального-глыбового потока. Результаты геофизических исследований увязываются с картой Шеко А.И. и Лехатинова А.М. На Усойском завале нет ни одной скважины. Полученные геофизические материалы являются единственной объективной информацией о его глубинном строении.

### 3. Правобережный оползень

Изучение Правобережного оползня - уникально трудная задача. Распоряжением Совета Министров СССР №678-р от 27 марта 1975 года предусматривалось провести исследования на этом участке еще в 1975 - 1976 годах. Но в то время ни одна из организаций, занимающихся инженерной геофизикой, не решилась взяться за эту сложную проблему. Средняя крутизна Правобережного склона 30-35°, а превышение его верхней части над озером 1500м. Передвигаться пешком можно не по всей площади оползня. Сейсморазведочные работы 1976 года на Усойском завале выполнялись с применением взрывов. Измерения были сделаны с аналоговой сейсмостанцией СМОВ-24. Но работы на Правобережном склоне были очень опасны для исполнителей. И только после появления портативных цифровых накопительных сейсмостанций типа СНЦ-1, позволяющих проводить измерения с возбуждением упругих колебаний многократными ударами падающего груза, появилась надежда на реальное выполнение сейсморазведки. В 1983 году на Правобережном оползне удалось отработать один сейсмический профиль. Для сейсмических исследований применялась специальная методика непродольных наблюдений МПВ с использованием способа обращенного годографа. В 1985 году исследования были выполнены еще на шести профилях [5].

По результатам сейсмических исследований выделено три горизонта, соответствующие слоям с различной степенью разрушения коренных пород. Общая мощность оползневых отложений оказалась почти в два раза меньше по сравнению с предполагавшейся ранее. Этот результат сейсмических работ явился толчком к проведению буровых работ, так как для достижения глубины 230-240 метров требовался относительно маленький буровой станок. В 1986 году в намеченной по геофизическим рекомендациям точке была подготовлена небольшая горизонтальная площадка. На эту площадку вертолетом на внешней подвеске был доставлен буровой станок, мачта, дизель и другое буровое оборудование. Бурение скважины глубиной 240 метров продолжалось 4 месяца. Полученные по скважине материалы полностью подтвердили результаты сейсмических исследований. Погрешность в определении глубин до преломляющих границ оказалась в пределах расчетной. Так же как и на Усойском завале положение кровли плотных ненарушенных коренных пород под Правобережным оползнем фиксируется интенсивной преломляющей границей (значение граничной скорости равно 6500м/с).

В верхней части оползневого склона по материалам магниторазведки обнаружена такая же как на Усойском завале тектоническая ослабленная зона. В пределах этой зоны находятся визуально наблюдаемые трещины, которые и явились в 1967 году сигналом опасности и причиной возникновения сегодняшней Сарезской проблемы.

По результатам сейсморазведки получены схемы изомощностей рыхлых отложений и изогипс кровли коренных пород на Правобережном участке. В соответствии с этими схемами **общий объем рыхлых отложений на Правобережном склоне - 1.25 км<sup>3</sup>, их средняя вертикальная мощность -250 метров, азимут смещения оползня 240-250 градусов.**

#### **4. Ожидаемые последствия катастрофы**

Общеизвестны последствия сильных землетрясений. Но возможны в десятки и сотни раз более разрушительные природные явления - сейсмогенные катастрофы, когда землетрясение является лишь первым толчком к началу природного катаклизма. Одна из таких прогнозируемых катастроф - Сарезская. Она произойдет по следующему сценарию.

Объем горных пород, подготовленных к обрушению на правобережном склоне 1.25 км<sup>3</sup> и 0.125 км<sup>3</sup> левобережном. При землетрясении, эпицентр которого будет расположен в северном Афганистане, они сместятся в озеро. Обрушение оползней вызовет возникновение водяного вала высотой 200 - 250 м и перелив воды через пониженную часть завальной плотины. Ниже Усойского завала возникнет селевой поток с большой насыщенностью твердым материалом. Уровень воды в реке Бартанг повысится на 50-100 метров. Это вызовет массовое обрушение в поток рыхлого обломочного материала со склонов и активизацию оползней на неустойчивых участках. Перелив воды произойдет через северную пониженную часть завальной плотины (Рис.6, 7). Под воздействием водяного вала селевые грязевые и грязекаменные отложения мгновенно станут текучими. В северо-западной части завала они двинутся вниз по долине реки Мургаб, а в северо-восточной сместятся в Сарезское озеро в виде оползня-потока (Рис. 8, 9). Ширина завальной плотины по указанной трассе перелива мгновенно сократится до 150-200 метров. В результате воздействия последующих водяных валов на этом участке произойдет расчистка трещин и пустот между пакетами и глыбами отложений завала. Начнется фильтрация воды и размыв тела плотины. Расход фильтрующегося через разрушенную часть плотины потока будет быстро увеличиваться, а размыв плотины ускорится. По какому сценарию и с какой скоростью происходило разрушение завальных плотин прасарезских озер - не известно. Вторая серия селевых потоков, по сравнению с первой, станет более продолжительной и будет перемещать еще большее количество рыхлого и обломочного материала. В районе впадения реки Бартанг в реку Пяндж селевые потоки будут останавливаться. Остановка будет происходить по двум причинам. Первая - русло реки Бартанг при впадении ее в реку Пяндж резко выполаживается. Вторая - селевые потоки будут под прямым углом ударяться в левый крутой афганский берег реки Пяндж. Из их твердого материала возникнет "селевой завал", который на некоторое время подпрудит реку Пяндж. Чем дальше просуществует возникшее озеро, тем больше воды из Сарезского озера и реки Пяндж накопится в нем. Прорыв образовавшейся плотины приведет к формированию катастрофического селевого паводка на реке Пяндж, который распространится до низовий Аму-Дарьи (Рис. (Рис. 1), 2). Катастрофический паводок вызовет разрушение населенных пунктов и промышленных объектов на территории Афганистана, Таджикистана, Туркмении и Узбекистана.

***В опасной зоне проживает шесть миллионов человек. Наибольшее количество человеческих жертв будет на территории Афганистана и Таджикистана. Максимальный материальный ущерб будет нанесен Туркмении и Узбекистану. Для ликвидации последствий такой катастрофы в современных условиях государствам Центральной Азии понадобится не одно десятилетие. В опасной зоне находятся все заставы и базы Российских и Узбекских погранвойск на участке Рушан - Айвадж - Термез по Афгано-Таджикской границе и они также будут разрушены. В конечном счете и России будет причинен громадный ущерб: нашествием людей, оставшихся без крова; усилением контрабанды наркотиков; затратами на новое обустройство границы. Катастрофа может быть вызвана как землетрясением, так и диверсией. Поэтому предсказать ее точную дату невозможно...***

Многолетний средний уровень Сарезского озера ежегодно повышается на 0.2 метра. За период с 1967 по 2001 год он поднялся на 4.8 метра. Превышение самой низкой точки водораздельной гряды Усойского завала над озером - 41 метр. В многоводный паводок оно может уменьшиться до 32 - 35 метров. Но перелив воды начнется гораздо раньше, когда озеро поднимется еще на 15 - 20 метров и достигнет проницаемых отложений. И тогда начнется размыв завала по описанному сценарию. Значительное понижение уровня озера

(50 - 100) может спровоцировать сход Правобережного оползня и ускорить размыв плотины. Данных для обоснованного предсказания времени начала перелива недостаточно. Если процесс кольматации верхнего бьефа плотины усилится, то ускорится подъем уровня озера. И наоборот, при его замедлении озеро просуществует дольше. **В любом случае в историческом геологическом времени - Сарезская катастрофа неизбежна. Причем в дальнейшем, по мере подъема уровня озера возможный ущерб от ее последствий будет постоянно возрастать.**

## 5. Причины неудач

Первый исследователь Сарезского озера Г.А. Шпилько писал в 1913 году в заключение своей знаменитой статье: "Грандиозность Усойского явления заставляет призадуматься над слабостью сил человеческих". С момента образования Сарезского озера прошло 90 лет, но "сил человеческих" так и не хватило, чтобы противостоять природной опасности. Если бы с 1968 года полевые исследования по данной проблеме проводились постоянно, последовательно и по единому плану, то несмотря на все трудности, их уже давно бы закончили и приступили к строительству сооружений, обеспечивающих безопасность. Но интерес к этой проблеме возникал эпизодически, обычно после катастрофических землетрясений в других регионах, а затем быстро исчезал. Мешали выполнению исследований:

а) Узковедомственный подход. МинГео и ММВХ СССР никак не могли решить кто финансирует работы по исследованию берегов, а кто исследование плотины и озера. Хотя в масштабах финансовых возможностей этих Министерств необходимые для исследований средства были незначительными. Организации Таджикского производственного объединения по сравнению с проектно-изыскательскими институтами были гораздо лучше обеспечены аппаратурой, оборудованием, снаряжением для выполнения работ в условиях высокогорья. Проектно-изыскательские организации не могли проводить их из-за плохого технического обеспечения, а территориальные - из-за отсутствия финансирования.

В описываемый период времени (1968-1991 г) на Памире был бум геологических работ с самыми разнообразными целями и задачами. В летний сезон там работало несколько десятков партий. Ежегодно на исследования Памира МинГео СССР выделялись значительные ассигнования. И почти ежегодно из-за трудности выполнения работ в высокогорных условиях они полностью не осваивались. На таком фоне не до финансирование работ по Сарезу казалось полным абсурдом. Одновременно Минводхозом финансировалось строительство ненужных объектов, что, естественно, раздражало руководство геологических экспедиций и вызывало негативное отношение к Сарезским исследованиям. В период с 1980 по 1989 год ММВХ СССР построило в районе Сарезского озера: комплекс Усой (бетонную вертолетную площадку, жилой и служебный дом, аппаратурный комплекс) для сообщения через спутники в Москву (Причем спутник мог передать эти сведения с интервалом 1.5 часа., а затем по обычной телефонной сети была бы дана команда начать эвакуацию жителей) начале катастрофы; комплекс сооружений метеостанции Западный Пшарт и метеостанции Ирхт-2. Строительство велось с транспортировкой всех грузов вертолетом. Но не одно из этих сооружений не было сдано в эксплуатацию. Огромные затраты на их строительство пропали.

б) Для координации таких сложных и необычных исследований необходим был лидер, который бы квалифицированно разбирался в геофизических исследованиях, сейсмологии, инженерной геологии, гидрологии, гидротехнике и других сопредельных областях знаний. К сожалению, человека с таким широким кругозором не нашлось. Все научные руководители и

ГИПы проектов были узкими специалистами в своих областях, а координировать их действия было не кому.

в) Два ведомства в какой-то степени занимались Сарезской проблемой, а руководители и общественность республик Центральной Азии в то время не владели по ней достаточной информацией. Озеро не угрожает ни одной из столиц государств Центральной Азии. Поэтому руководители государств Центральной Азии во все времена привыкли относиться к Сарезской проблеме как к третьестепенной, периферийной и маловероятной.

г) Район исследований удален от транспортных магистралей, рельеф района высокогорный. В этих условиях проводить инженерно-геофизические исследования и изыскания под строительство традиционными методами очень трудно и не реально дорого. Необходимо было принять меры к совершенствованию технологии и техники исследований. Но этого не было сделано. Наиболее перспективно было широкое применение геофизических методов. Для повышения эффективности геофизических исследований в высокогорных условиях требовалась модернизация серийной аппаратуры и совершенствование методики полевых работ. Но предложения по совершенствованию геофизических методов поддержки не находили. Причем постоянно оспаривалась не только перспектива получения положительных результатов, но и принципиальная возможность проведения геофизических работ. Геофизические работы на детальных участках были проведены не благодаря научному руководству, а вопреки ему. Региональных исследований в помощь геологической и инженерно-геологическим съемкам (масштаба 1:100000, 1:50000, 1:25000) в районе Сарезского озера так же не проводились. Хотя на сопредельных территориях Памира при геологических и инженерно-геологических съемках масштабов 1:200000 и 1:50000 опережающие геофизические исследования выполнялись в обязательном порядке. Сейсмологических исследований и работ методом разведочной сейсмологии в районе так же не проводилось.

## **6. Перспективы обработки материалов прошлых лет**

Помимо выполнения полевых геофизических работ на Усойском завале и Правобережном оползне, автор данной статьи много лет собирал в свой архив исторические, геологические, геофизические и гидрологические материалы по району Сарезского озера. Это не входило в его служебные обязанности и было оригинальным хобби. Но в настоящее время в силу известных обстоятельств эти материалы имеют особую ценность. Созданный банк данных принципиально и выгодно отличается от других наличием геофизических материалов. Автор ищет спонсоров для повторной обработки с помощью современных компьютерных технологий имеющихся в его распоряжении материалов, их обобщения и издания монографии.

Необходимо провести обработку:

а) Гидрологических материалов. За период с 1939 по 1988 годы, увязать их с историческими данными и результатами геофизических исследований. За время постоянных гидрологических наблюдений на гидропосту Барчадив (расположенном на реке Мургаб в 17 км ниже Усойского завала) средний многолетний (с периодом осреднения 15 лет) расход воды не изменяется и равен 44.6 м<sup>3</sup>/сек. (Рис.14). Сравнения отдельных эпизодических измерений расхода (1922г. - Корженевский Н.Л., 1926г. - Ланге О.К., 1930г. - Родионов Н.Е., 1934г. - Афанасьев В.А.) и средних расходов за много лет на даты наблюдений показывают сопоставимые результаты. Это дает основание предполагать, что с 1922 - 1926 годов

средний отток воды из озера был таким же, как и в период 1939 - 1988 годы. В тоже время с 1926 по 1946 годы уровень Сарезского озера ежегодно поднимался на 1.25 м, а с 1950 по 1980 годы - на 0.2 м (рис ). В период с 1980 по 2000 годы ежегодный осредненный уровень озера также был равен 0.2 м. Можно предположить, что в ближайшие годы подъем ежегодного уровня озера будет таким же. Максимальный уровень озера (1.09.1988г.) превышает уровень 1926 года на 45 метров, а 1922 года - на 50 метров. Причина, вызывающая рост уровня, - кольматация зоны втока. Она вызвана влиянием селевого конуса выноса Усойдара, образивной переработкой берегов и локальными подводными оползнями на верхнем бьефе.

В 1977 году автором впервые была обнаружена очень странная зависимость между уровнем воды в Сарезском озере и расходом воды по г.п. Барчадив (Рис. 15). В начале паводка с повышением уровня озера закономерно возрастает расход воды. При достижении максимального уровня озера он начинает уменьшаться. На одних и тех же отметках уровня озера фиксируются различные расходы воды при нарастании паводка и при последующей сработке уровня. Разница в расходах при высоких, но одинаковых отметках уровня воды, достигает 20 м<sup>3</sup>/сек. Подобная петлеобразная зависимость отмечается ежегодно. Изменяется лишь амплитуда колебаний уровня и разница в расходах воды при одинаковом уровне. Основная причина, вызывающая это уникальное явление, сезонная кольматация верхнего бьефа грязевыми составляющими селевых отложений. Вторая причина - изменение вязкости воды из-за сезонных колебаний температуры. Поэтому для прекращения подъема уровня озера необходимо принять меры по прекращению кольматации верхнего бьефа. При дальнейшей обработке гидрологических материалов можно сделать более детальный прогноз подъема уровня озера.

б) Сейсмологические материалы по территории Таджикистана и северного Афганистана. В сейсмологическом отношении Сарезское землетрясение 1911 года изучено очень слабо. Оно было зафиксировано только сейсмографами Пулковской обсерватории под Санкт-Петербургом, расположенной на большом расстоянии от этого района. На основании имеющихся сейсмологических материалов можно предположить, что эпицентр землетрясения был на территории Афганистана. Это предположение находит подтверждение в статье первого исследователя Сарезского озера Шпилько Г.А., где он описывает последствия землетрясения 1911 года. По его сведениям в Усое и других кишлаках в долинах Мургаба и Бартанга погибло 105 человек. В то же время на территории соседнего Афганистана число погибших было более семисот. Можно предположить, что эпицентр Сарезского землетрясения находился на территории Афганистана. Сейсмологические материалы позволяют правильно организовать сейсмологические наблюдения для прогноза землетрясений в районе Сарезского озера.

в) Материалы сейсморазведочных исследований Правобережного оползневого склона. Сущность обработки будет заключаться в следующем. Положение сейсмических профилей определялось их доступностью для пешего передвижения. В результате профили получились ломанными, а сеть наблюдений не равномерной. Поэтому наклон сейсмических границ на разрезах был искажен. С помощью специальной математической обработки этот недостаток можно исправить. Это дает возможность получить планы изогипс преломляющих горизонтов, сейсмогеологические разрезы и изучить структуру Правобережного оползня.

г) Материалов гравиметровой съемки Усойского завала. В результате обработки можно получить форму и размеры блоков, выявленных по плану локальных аномалий; оценить плотность и пористость отложений в межблоковых ложбинах.

д) Материалов магнитной съемки масштаба 1:25000 западной части Сарезского озера. В

результате измерений нужно ввести поправки на влияние рельефа. Это позволит выявить и проследить тектонические нарушения типа "Усойского разрыва".

А затем основе новых сведений о строении Правобережного оползня провести математическое моделирование смещения оползня, возникновения водяного вала и перелива воды через завальную плотину. Итогом повторной обработки, моделирования и обобщения материалов будет издание монографии: **"Проблема Сарезского озера в свете современных научно-технических достижений и новых технологий"**. Она будет состоять из 15 глав или частей:

1. История геофизических, гидрологических и инженерно-геологических исследований в районе Сарезского озера.
2. Результаты комплексных геофизических исследований Усойского завала.
3. Геофизические исследования и математический анализ гидрологических аспектов Сарезской Проблемы.
4. Прогноз изменения среднемесячных уровней Сарезского озера на ближайшие 10 лет.
5. Данные о кольматации верхнего бьефа Усойского завала.
6. Анализ способов усиления фильтрации воды через Усойский завал для понижения уровня Сарезского озера.
7. Методика и результаты сейсморазведочных исследований Правобережного оползневого массива на Сарезском озере.
8. Геофизические исследования особенностей тектонического строения западной части бассейна Сарезского озера.
9. Анализ сейсмологических материалов по району Сарезского озера.
10. Принципиально новые данные о строении Правобережного оползневого склона.
11. Основные причины возникновения грандиозных оползней в районе Сарезского озера.
12. Прогноз сценария и последствий Сарезской катастрофы.
13. Способы понижения высоты и уменьшения энергии волн, при обрушении в водоем грандиозного оползневого массива.
14. Схемы проектов приведения Сарезского озера в безопасное состояние.
15. Задачи и методика первоочередных геофизических и инженерно-геологических исследований в районе Сарезского озера.

## **7. Первоочередные полевые исследования**

***В настоящее время возможности маршрутных, аэровизуальных, аэрокосмических инженерно-геологических исследований в этом районе практически исчерпаны.***

Проводить в подобных условиях большой объем горных и буровых работ очень трудно и дорого. Поэтому на следующей стадии исследований нужно серьезное внимание уделить опережающим инженерным геофизическим работам, а буровые и горные работы проводить только для проверки результатов геофизических работ. На первом этапе работ нужно срочно выполнить исследования методами сейсморазведки, гравиметровой и магнитной съемки, электроразведки, разведочной сейсмологии для решения четырех первоочередных задач:

1. Изучение строения и прочностных свойств Северной и Центральной ослабленных зон Усойского завала.
2. Прослеживание путей фильтрации воды в плане и выявление мест втока на верхнем бьефе завальной плотины. Изучение строения верхового ее откоса и режима фильтрации воды.

3. Изучение строения подводной части Правобережного оползневого склона. Выявление и картирование скрытых трещин и разрывов, зон сжатия и растяжения, определение прочностных и динамических свойств оползневых отложений.

4. Исследование глубинного строения западной части Сарезского озера. Мониторинг и прогноз сейсмической опасности. Прогноз сейсмических событий при понижении уровня озера.

Перечисленные выше задачи являются ключевыми. Без их решения категорически невозможна никакая разработка никакой реально обоснованной схемы проекта. На втором этапе нужно провести проверку результатов геофизических исследований бурением и геофизическими работами в скважинах.

***Есть все основания надеяться на то, что результаты обработки материалов прошлых лет и исследований, выполненных на ключевых участках, позволят разработать новый реально обоснованный и относительно дешевый способ приведения Сарезского озера в безопасное состояние.***

## **8. Литература**

1. О.К. Ланге "Экспедиция по обследованию Усойского завала и Сарезского озера" ж-л "Народное хозяйство Средней Азии", Ташкент, 1926г. С. 3-8.
2. В.В. Лим, Ю. Акдодов., С.М. Винниченко "Сарезское озеро - грозный дракон Центральной Азии". НПИЦентр, г. Душанбе, 1997г. 53с.
3. В.Д. Ломтадзе "Инженерная геология". (Инженерная геодинамика), Изд. Недра, 1977г., с. 246-249
4. Л.П. Папырин "Основные закономерности фильтрации воды через Усойский завал". Таджики НИИНТИ, г. Душанбе, 1990г. С. 6-11.
5. Л.П. Папырин "Результаты геофизических исследований оползней в районе Сарезского озера". Таджики НИИНТИ, г. Душанбе, 1990г. С 1-5.
6. Л.П. Папырин "Способ понижения уровня воды в Сарезском озере". Экспресс информация Таджики НИИНТИ, г. Душанбе, 1989г. С.1-3.
7. И.А. Преображенский "Усойский завал". Материалы по общей и прикладной геологии. В14, 1920г. 21с.
8. Г.П. Постоев, Л.П. Папырин "Способ понижения уровня воды горного завального озера". Патент СССР № 177499. Заявка № 485937 от 22 июня 1992г. Приоритет изобретения - август 1990 г.
9. В.С. Федоренко "Горные оползни и обвалы, их прогноз". Издательство Московского университета, 1988г. 211 с.
10. Г.А. Шпилько "Землетрясение 1911 года на Памире и его последствия". Известия Туркестанского отдела Русского географического общества, г.Ташкент, 1914 г.Т 50. Вып.1-11. С.69-94.
11. Т. Уолтхем "Катастрофы, неистовая земля". Перевод с английского. Изд. Недра, 1982г., с. 85-90.

## **10. Список фотографий**



Фото.1. На переднем плане озеро Шадау. Основной массив Усойского завала, перемычка между озерами, справа Сарезское озеро (абс.отм. - 3250м). На втором плане ниша Усойского завала, южный склон и водораздел хребта Музкол (абс.отм. 5500-5600 м). Видны селевые русла Усойдары. Снимок сделан с вертолета. Зима. Высота 4500 м. Папырин Л.П. 1976 год.



Фото.2. Южный склон хребта Музкол, ниша Усойского завала, северная ослабленная зона, селевые русла Усойдары. Снимок сделан с перевала Марджанай. Высота 3900 м. Папырин Л.П., 1976 год.



Фото3. Береговая линия Сарезского озера и Усойского завала (верхний бьеф плотины). Слева Сарезское озеро. Справа зона обратных блоковых смещений и основной массив Усойского завала. Вдали озеро Шадау. Снимок сделан с вертолета. Высота 4000 м. Папырин Л.П., 1976 год.



Фото.4. Вид на каньон в нижнем бьефе завальной плотины. Его длина 2 км. Кратчайшее расстояние между первым родником в головной части каньона и Сарезским озером - 1800 м. Видны селевые отложения северной части Усойского завала. Вот здесь и будет прорыв вод Сарезского озера через завальную плотину. Снимок сделан с вертолета. Высота 4500 м. Папырин Л.П., 1976 год.



Фото.5. Береговая линия вблизи. Высадка геофизического десанта на Усойский завал. Это наиболее удобная причаливания катеров и лодок площадка в средней части береговой линии завала. Папырин Л.П., 1976 год.



Фото.6. Сейсмический отряд и сейсморазведочная аппаратура на Усойском завале. Папырин Л.П., 1976 год.

