

Леонид Папырин

Перспективы приведения Сарезского озера в безопасное состояние и использования его водных ресурсов

В ночь с 18 на 19 февраля 1911 года в центральной части Памира произошло землетрясение. В результате сейсмического воздействия в долине реки Мургаб сошел гигантский оползень, который получил название «Усойский завал». Отложения завала перекрыли долину реки Мургаб и вызвали образование Сарезского озера. Озеро находится на территории Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан. Одновременно с возникновением озера появилась опасность прорыва его вод через отложения Усойского завала и возникновения катастрофического селевого паводка в долинах рек Бартанг, Пяндж и Аму-Дарья. В опасной зоне по данным МЧС Республики Таджикистан проживает пять миллионов человек.

Сарезская проблема рассматривалась в Правительстве Советского Союза. В соответствии с этим постановлением Совмина СССР в проектно-изыскательских институтах было разработано несколько вариантов схем обеспечения безопасности. Но ни один из этих вариантов не был признан реально выполнимым из-за высокой стоимости и трудности выполнения. Правительство Таджикистана также неоднократно рассматривало эту проблему. Но до настоящего времени никаких реальных мероприятий по приведению Сарезского озера в безопасное состояние не сделано.

В настоящей статье описывается простой и очень дешевый способ понижения уровня воды в Сарезском озере путем усиления фильтрации воды через завальную плотину. По расчетам этот способ позволит понизить уровень воды в озере на 50 метров. Такое понижение уровня воды значительно снизит риск возникновения катастрофического селевого паводка.

Образование и прорыв завальных озер в высокогорных районах — геологический процесс. В длительном геологическом времени он идет непрерывно. Так в центральной части Памира (в настоящее время на территории Горно-Бадахшанской автономной области Республики Таджикистан) возникло Сарезское озеро. В ночь с 18 на 19 февраля 1911 года в этом регионе произошло 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.

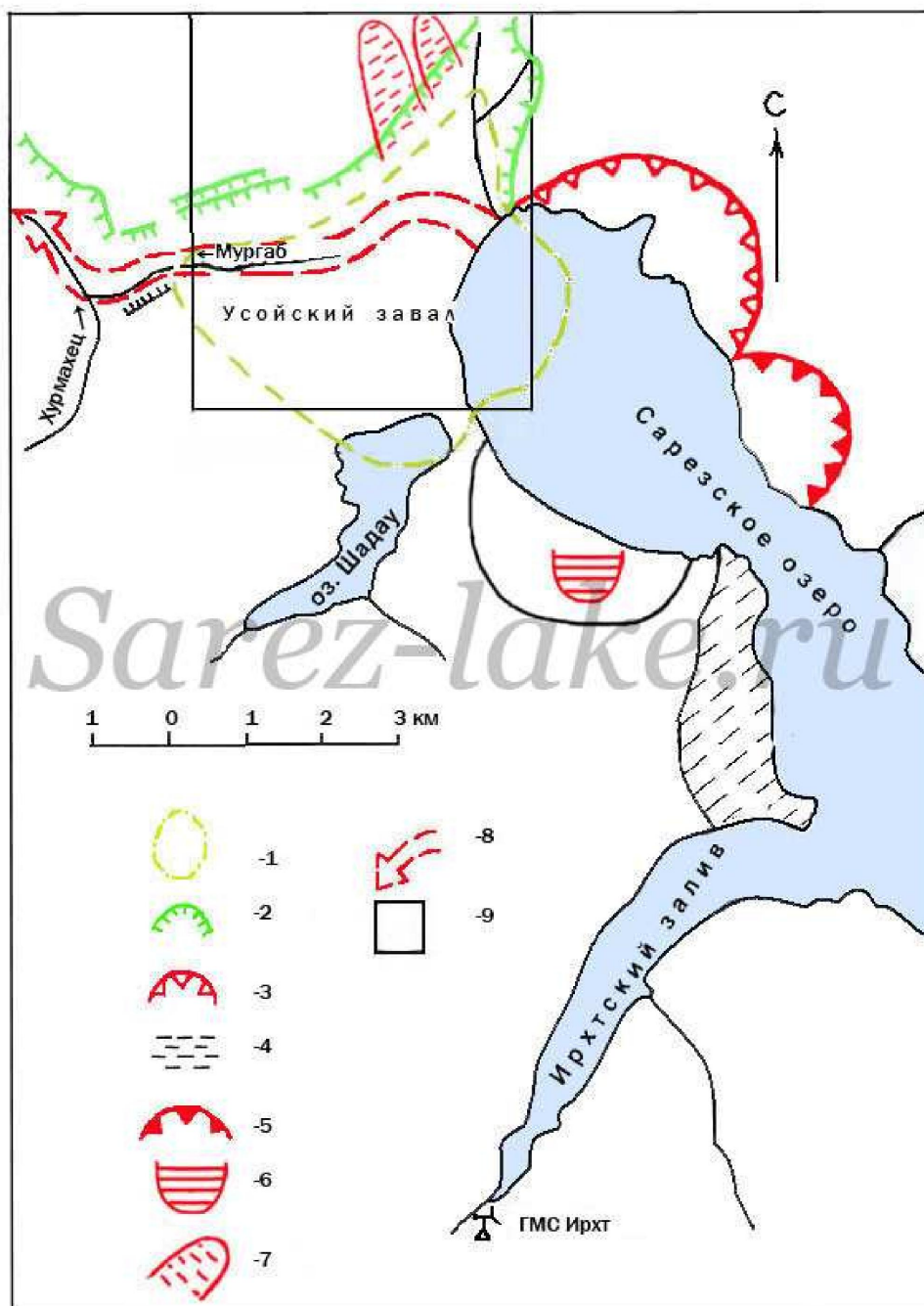


Рис.1 Схема развития оползней в западной части Сарезского озера.

1 - граница Усойского завала; 2 - ниша отрыва Усойского завала; 3 - ниша отрыва древнего оползня Мургаб; 4 - отложения Ирхтского древнего оползня; 5 - Правобережный оползневый склон; 6 - Левобережный оползень; 7 - оползни в нише отрыва Усойского завала; 8 - положение предполагаемого прорана и направление селевого потока при прорыве Сарезского озера; 9 - контур схемы изображенной на рис. 2.

Одновременно с возникновением Сарезского озера появилась опасность прорыва его вод через отложения Усойского завала и возникновения катастрофического селевого паводка в долинах рек Бартанг, Пяндж и Аму-Дарья. В 1915 году Российский геологический комитет направил на Памир для изучения Сарезского озера экспедицию под руководством И.А.Преображенского. Экспедиция провела инженерно-геологическое обследование и топографическую съемку Усойского завала в масштабе 1:21000. По результатам геодезических измерений и сведений, полученных от местных жителей, И.А.Преображенский составил схему рельефа местности до образования Усойского завала. В своей работе «Усойский завал» он описал основные моменты возникновения завальной плотины и определил ее объем, массу и размеры. По его расчетам объем завальной плотины Сарезского озера равен $2,7 \text{ км}^3$, а объем подготовленных к обрушению горных пород до их смещения был равен $2,2 \text{ км}^3$. В дальнейшем до 1967 года эпизодически проводились маршрутные визуальные обследования Усойского завала и Сарезского озера. Малочисленные экспедиции пешком и на вьючном транспорте с большим трудом пробирались к Сарезскому озеру. 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.

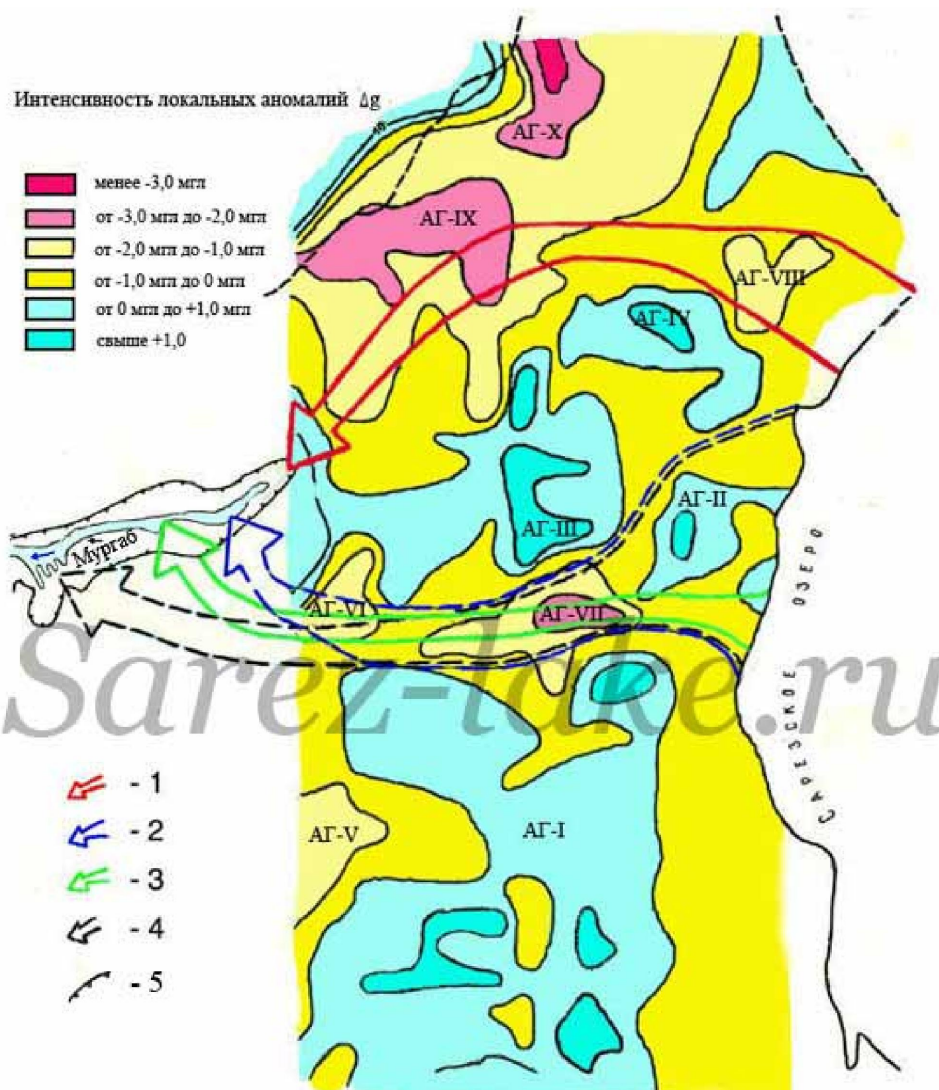


Рис.2. План локальных гравиметровых аномалий и ослабленные зоны Усойского завала.

- 1- Предполагаемое положение прорана в теле завальной плотины.
- 2- Путь фильтрации воды из поверхностной зоны инфляции.
- 3- Путь фильтрации из глубинной зоны инфляции.
- 4- Путь фильтрации из промежуточной зоны инфляции.
- 5- Бровка коньона.

Основные исследования в районе Сарезского озера были выполнены в период с 1967 по 1991 год организациями ПО Таджикгеология, Таджикским управлением Гидрометеослужбы, институтами ВСЕГИНГЕО и Союзгипроводхоз, Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова. В ходе этих исследований были проведены: инженерно-геологическая съемка, геофизические работы и режимные геодезические измерения, пробурена одна скважина, составлены топографические карты берегов озера и гидрографическая карта рельефа дна. По результатам исследований — площадь Сарезского озера 80 км². Объем воды в озере изменяется от 16.5 до 17 км³. Максимальная глубина зависит от уровня

воды в озере и колеблется от 480 до 490 метров. Длина завальной плотины от верхнего до нижнего бьефов равна 3750 м. Ширина ,от верха ниши отрыва до левого коренного борта, — 5200 м, а по верхнему бьефу — 3150 м. Вертикальная мощность отложений завала в центральной его части — 500-700 метров.Площадь надводной части завала — 9.2 км². Общая площадь, включая подводную часть, — 12 км². Объем — 2.7 км³. Пониженная часть гребня плотины превышает уровень озера на 40-50 м. Это превышение изменяется в процессе сезонных колебаний уровня озера. Среднегодовой уровень воды в озере (при осреднении в интервале 15 лет) ежегодно повышается на 0.2 м. В пределах завальной плотины выявлены две ослабленные зоны. Обнаружены оползни: Правобережный объемом 1.25 км³, Левобережный — 0.15 км³, в нише отрыва Усойского завала — два оползня общим объемом 0.7 км³ (Рис.1,2).

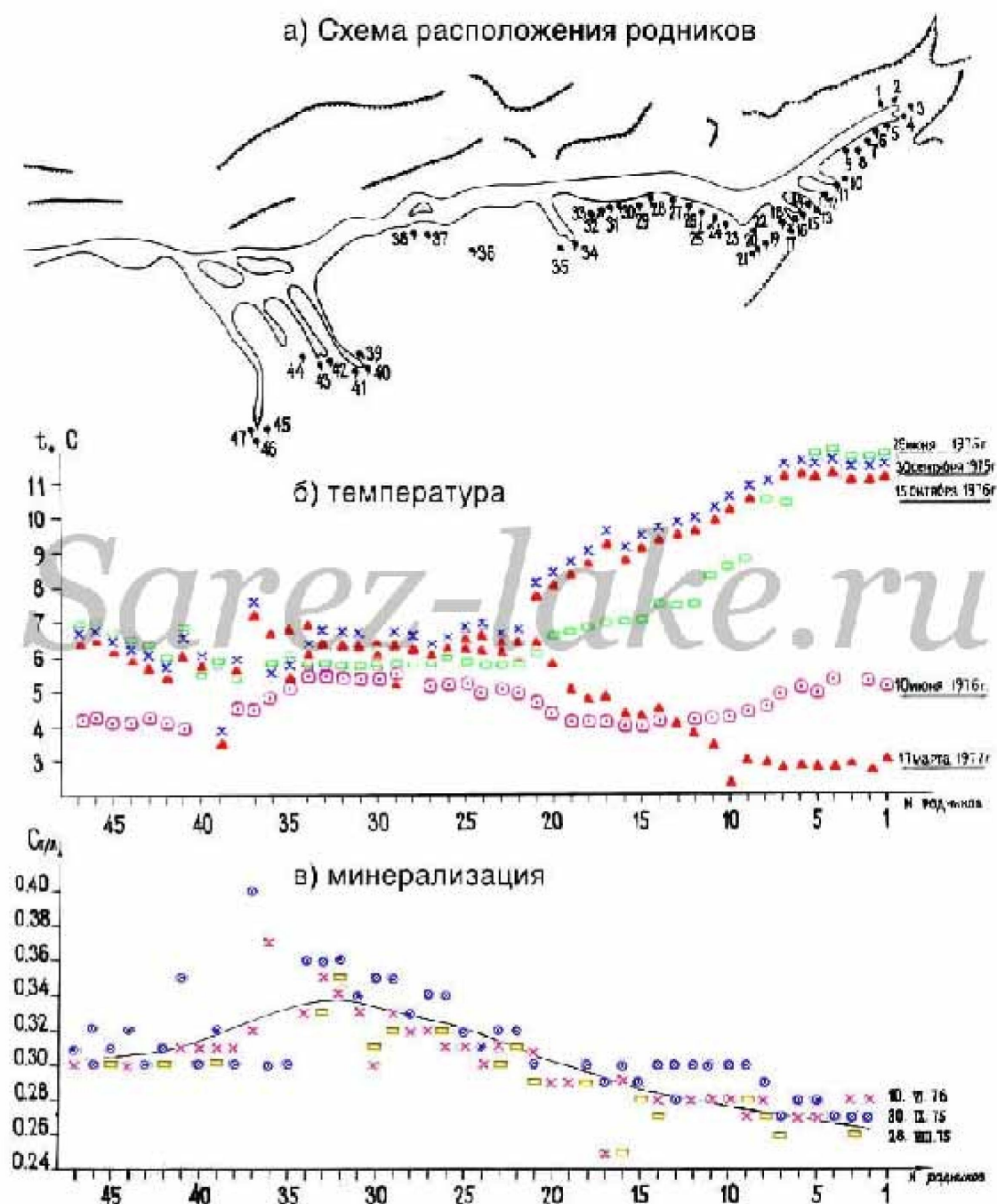


Рис. 3. Температура и минерализация воды в родниках в нижнем бьефе Усойского завала.

По результатам исследований установлено, что возникновение катастрофического паводка может быть вызвано следующими причинами:

— наличием Правобережного оползня (обнаруженного в 1967 году), обрушение которого в озеро может привести к переливу воды через пониженную часть завальной плотины и вызвать возникновение в ней прорана;

— обрушение Левобережного оползня (1975 год) также вызовет перелив воды и возникновение прорана;

— процессом кольматации (закупорки отверстий) верхового откоса завальной плотины, открытый в 1977 году, обуславливает постоянный ежегодный подъем уровня воды в Сарезском озере и может привести к размыву северной ослабленной зоны завальной плотины;

— обрушением с высоты 1500-2000 метров на пониженную часть завальной плотины двух ослабленных участков горных пород общим объемом 0.7 км³ в нише отрыва Усойского завала (обнаруженных в 1988 году) может привести к трудно предсказуемым последствиям;

— сейсмическое воздействие от землетрясения или обрушения оползней в нише Усойского завала может вызвать закрытие трещин, по которым воды Сарезского озера проходят через завальную плотину, что вызовет катастрофически быстрый подъем уровня озера, что также приведет к размыву северной ослабленной зоны.

Сценарий катастрофы может быть различным. Но, вероятнее всего, она случится при сильном землетрясении в этом районе. Поэтому предсказать ее точное время не возможно. Катастрофический селевой паводок пройдет по долинам рек Бартанг, Пяндж и Аму-Дарья. В опасной зоне, по данным МЧС Таджикистана, проживает пять миллионов человек. Наибольшее количество человеческих жертв будет на территории Афганистана и Таджикистана, максимальный материальный ущерб будет нанесен Туркмении и Узбекистану.

В 2001-2006 годах в районе Сарезского озера по проекту Всемирного банка Таджикский институт сейсмологии и сейсмостойкого строительства (ТИСС) АН РТ при посредничестве швейцарской фирмы Штуки были выполнены новые исследования, которые заключались в визуальном обследовании Усойского завала и берегов озера и в попытке обобщения материалов исследований прошлых лет. Авторам последних исследований никаких новых фактических сведений по изучаемой проблеме получить не удалось. Результаты этих исследований проанализированы в работах.

Разработка мероприятий по обеспечению безопасности

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».

В период с 1968 по 1988 год в институтах «Союзводхоз», «Союзгипроводхоз» и САО «Гидропроект» были разработаны следующие варианты проектов по обеспечению безопасности:

- наращивание Усойского завала до высоты, исключающей перелив через него при возможном обрушении Правобережного оползня;
- понижение уровня озера по открытому каналу в пониженной части завальной плотины;
- понижение уровня воды в озере при помощи сифонов;
- строительство буферной плотины на реке Бартанг в 80 км ниже Усойского завала;
- понижение уровня воды в озере с помощью плавающей насосной станции, получающей электроэнергию от ГЭС в нижнем бьефе завала;
- понижение уровня воды в озере до глубин 100-150 метров при помощи системы тоннелей в левом борту долины.

В 1988 году Госпланом СССР проведена экспертиза этих проектов и ни один из них по разным причинам не был признан реально выполнимым. Перечисленные варианты проекта имели один общий недостаток — высокую стоимость и трудоемкость их осуществления. Кроме этого под каждый вариант проекта не было выполнено специальных изыскательских работ. По результатам выполненных в этот период исследований оказалось, что реальные геологические условия строительства в высокогорных условиях оказались намного сложнее, чем предполагали авторы, приступая к разработке проектов. Т.е. для принятия окончательных решений исследования нужно продолжить.

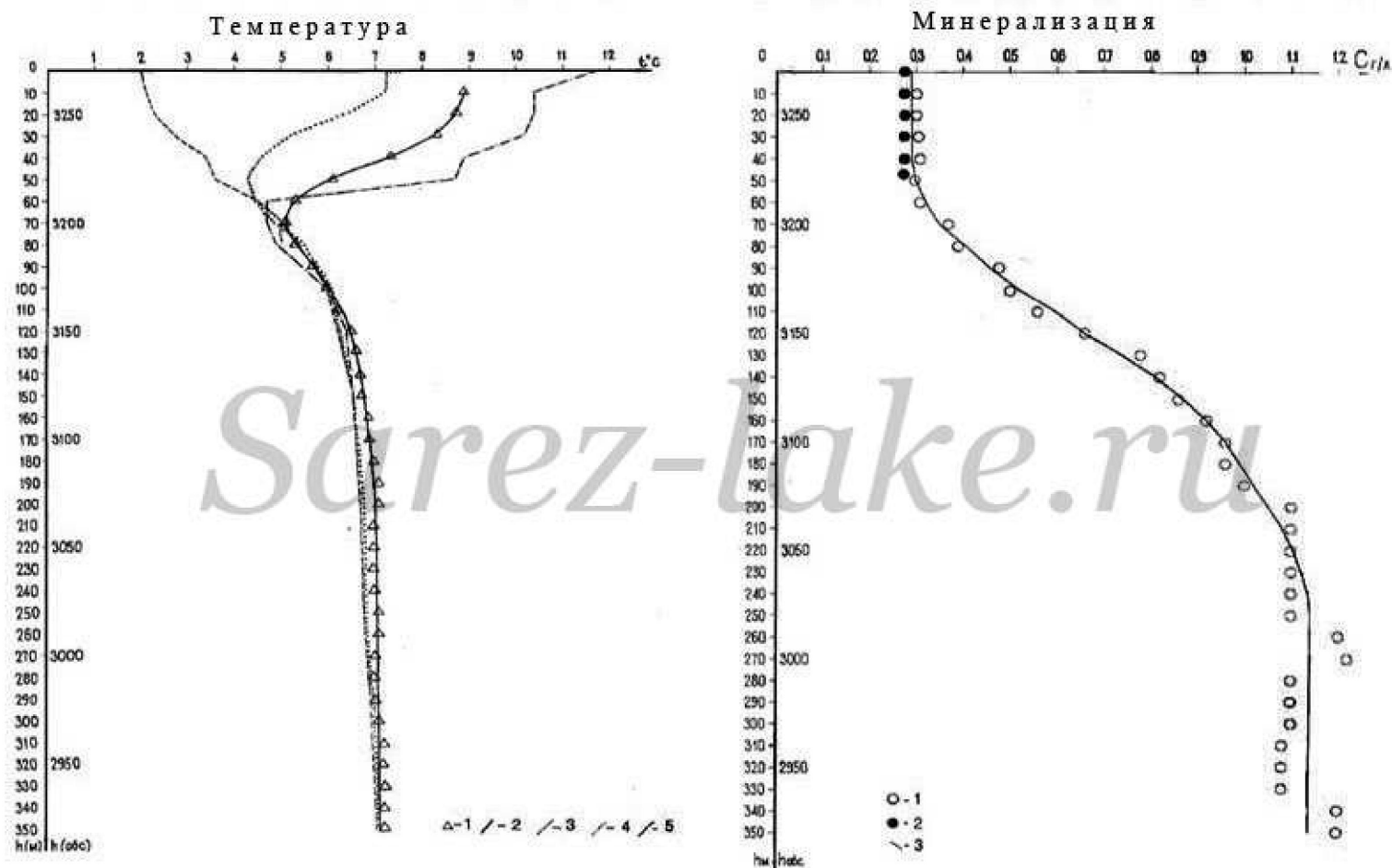


Рис. 4. Графики температуры и минерализации воды в Сарезском озере

а) Температура, 1- октябрь 1976г; 2- осредненный, по геофизическим материалам 1976года, график; 3- февраль, 4- июнь, 5- сентябрь 1976 года.

б) Минерализация, 1- значение общей минерализации по геофизическим материалам 1976г; 2- значение общей минерализации по данным хим. анализов; 3- осредненный график минерализации воды.

В настоящее время возможности маршрутных, аэровизуальных, аэрокосмических инженерно-геологических исследований в этом районе практически исчерпаны. Проводить в высокогорных условиях при полном отсутствии автодорог 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:

- изучения строения и прочностных свойств Северной и Центральной ослабленных зон Усойского завала;
- прослеживания путей фильтрации воды в плане и выявление мест втекания воды на верхнем бьефе завальной плотины, изучение строения верхового ее откоса и режима фильтрации воды;
- изучения строения подводной части Правобережного оползневого склона, выявление и картирование скрытых трещин и разрывов, зон сжатия и растяжения, определение прочностных и динамических свойств оползневых отложений;
- исследования глубинного строения западной части Сарезского озера, мониторинг и прогноз сейсмической опасности, прогноз сейсмических событий при понижении уровня озера.

На втором этапе нужно провести проверку результатов геофизических исследований бурением и геофизическими работами в скважинах, выполнить повторную обработку с помощью современных компьютерных технологий материалов прошлых лет, сделать расчет устойчивости оползневых склонов при сейсмическом воздействии силой до 9-ти баллов.

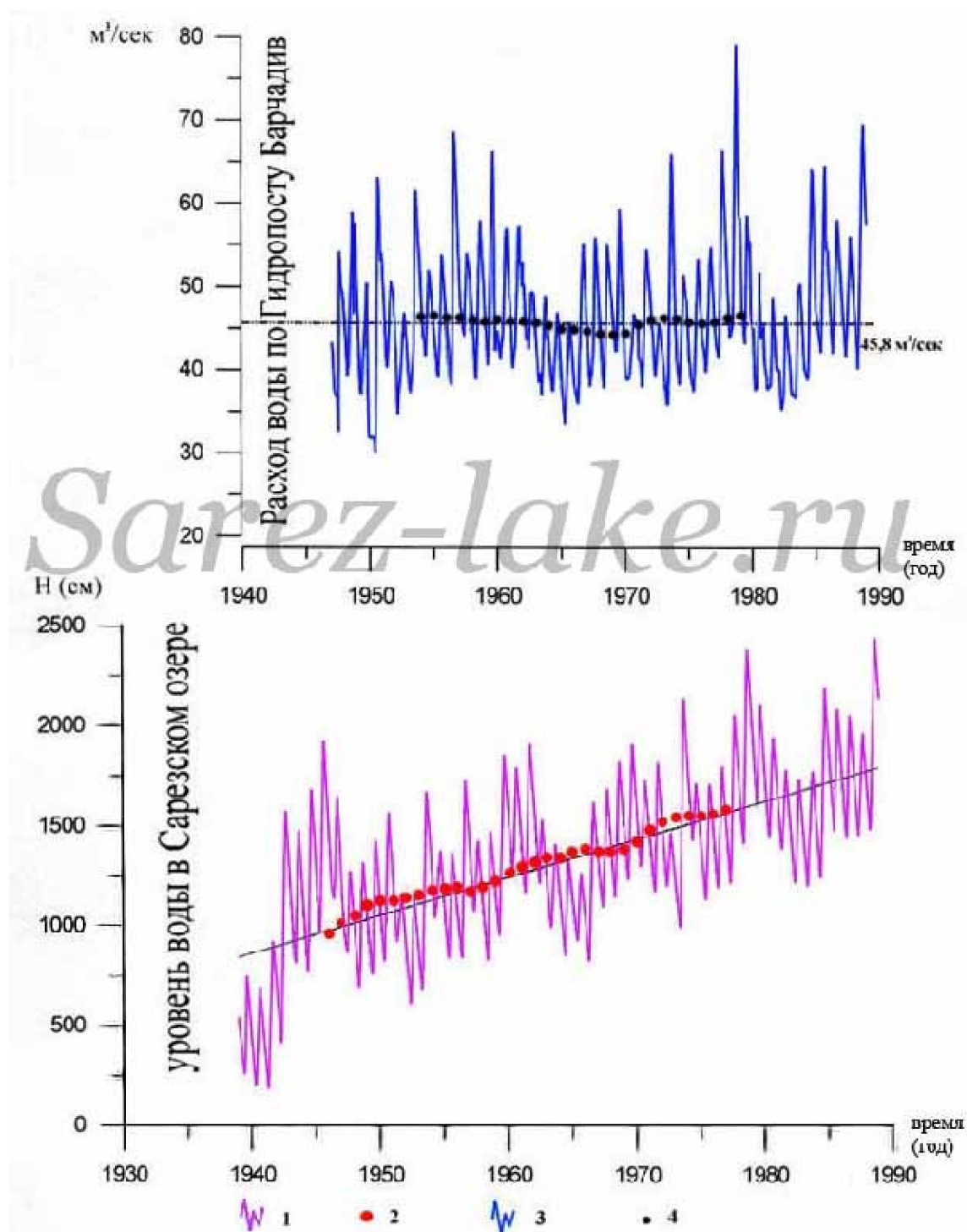


Рис.5. Прогноз изменения гидрологических параметров Сарезского озера.
 1 - среднемесячный уровень воды в Сарезском озере; 2 - средний уровень воды в Сарезском озере за период 15 лет; 3 - среднемесячный расход воды, фильтрующейся через Усойский завал; 4 - средний расход воды за 15 лет.

Перечисленные выше задачи являются ключевыми. Без их решения категорически невозможна никакая разработка реально обоснованных проектов приведения Сарезского озера в безопасное состояние. Таким образом, для разработки обоснованных инженерных проектов необходимо выполнить сложные

дорогостоящие исследования с применением современной аппаратуры и оборудования.

Есть перспективы, что после проведения этих исследований можно будет разработать мероприятия по приведению озера в безопасное состояние. При этом неустойчивые оползневые участки на берегах озера необходимо ликвидировать. Способ ликвидации разработан и защищен патентом. Но и сейчас совершенно ясно, что стоимость мероприятий по приведению озера в безопасное состояние потребует несколько миллиардов долларов США. Еще в 1933 году гидротехник Н.А.Караулов предложил схему строительства на Сарезском озере ГЭС. После приведения озера в безопасное состояние можно построить ГЭС мощностью 300-400 Мвт, а на реке Бартанг несколько небольших ГЭС. При этом Сарезская ГЭС будет регулировать сток озера в энергетическом режиме. Опасность прорыва вод не позволяет приступить к строительству ГЭС на Сарезском озере и на реках Бартанг и Пяндж.

Понижение уровня озера путем усиления фильтрации.

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.3). По результатам этих измерений выделено три группы родников. Первая из них, расположенная в головной части каньона, связана с поверхностной зоной инфлюации, т.к. температура воды в этих родниках колеблется в зависимости от времени года. Вторая группа родников связана с глубинной зоной втекания воды. 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.

В озерах Сарезском и Шадау с помощью специальной аппаратуры были выполнены высокоточные измерения температуры и минерализации воды (Рис.4). 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. 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. Максимальная минерализация воды в родниках в нижнем бьефе — 360 мг/л.

Исходя из этого факта, можно утверждать, что нижняя граница зоны втекания воды на верхнем бьефе завальной плотины находится на глубине 80 — 90 метров. Ниже этого уровня в Сарезском озере находится застойная зона с повышенной минерализацией воды.

В 1939 году начались постоянные гидрологические наблюдения на ГМС Ирхт. В одноименном заливе озера был организован гидропост (ГП), где ежедневно проводятся измерения уровня озера по системе водомерных реек. В 17-ти километрах ниже Сарезского озера на реке Мургаб одновременно с ГМС Ирхт был построен ГП Барчадив, где ежедневно измеряется расход воды. Эти наблюдения позволили получить за период с 1939 по 1988 годы графики среднемесячных значений уровня Сарезского озера и среднемесячных расходов воды, фильтрующейся через Усойский завал (рис 5).

Для исключения влияния сезонных колебаний и выяснения прогноза изменения отметок зеркала озера и расхода воды были вычислены средние значения этих параметров за период 15 лет. Полученный график средних (за 15-ть лет) значений уровня озера с очень высокой точностью аппроксимируется наклонной прямой линией. За период с 1946 по 1980 годы осредненный уровень озера ежедневно повышался на 0.20м. За период с 1976 по 2006 год осредненный уровень повысился на 6м. При этом максимальные значения уровня в паводок превышают значение осредненного уровня на 7-8 метров, а в межень ниже его на 4-5м.

Аналогичный график осредненных значений расхода воды по ГП Барчадив аппроксимируется горизонтальной прямой. Это свидетельствует о том, что несмотря на постоянный подъем уровня озера расход воды, пропускаемый завальной плотиной, не имеет тенденций к изменению. За весь период наблюдений он равен — 45.85 м³/сек., т.е. практически осредненное значение не изменяется. По имеющимся историческим сведениям можно заключить, что стабилизация расхода воды началась в 1926 году, когда уровень озера был на 50 метров ниже современного.



Рис. 6. Изменение расхода воды по гидропосту Барчадив в зависимости от уровня воды в Сарезском озере
1 - аппроксимированный график той же зависимости после исключения сезонной кольматации

В 1977 году впервые была обнаружена очень странная зависимость между уровнем воды в Сарезском озере и расходом воды по ГП Барчадив (Рис.6). 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 последующем понижении уровня. Разница в расходах при высоких, но одинаковых отметках уровня воды, достигает $20 \text{ м}^3/\text{сек}$. Подобная петлеобразная зависимость отмечается ежегодно. Изменяется лишь

амплитуда колебаний уровня и разница в расходах воды при одинаковом уровне. На рисунке 7 приведены значения расхода воды при одинаковой отметке уровня озера, равной 1500 см по водомерной рейке Ирхт. Для этой отметки уровня озеро описанная зависимость повторяется многократно. За период с 1950 по 1988 год величина расхода воды (фильтрующийся через Усойский завал при отметке уровня 1500 см) ежегодно уменьшается на 0.33 м³/сек.

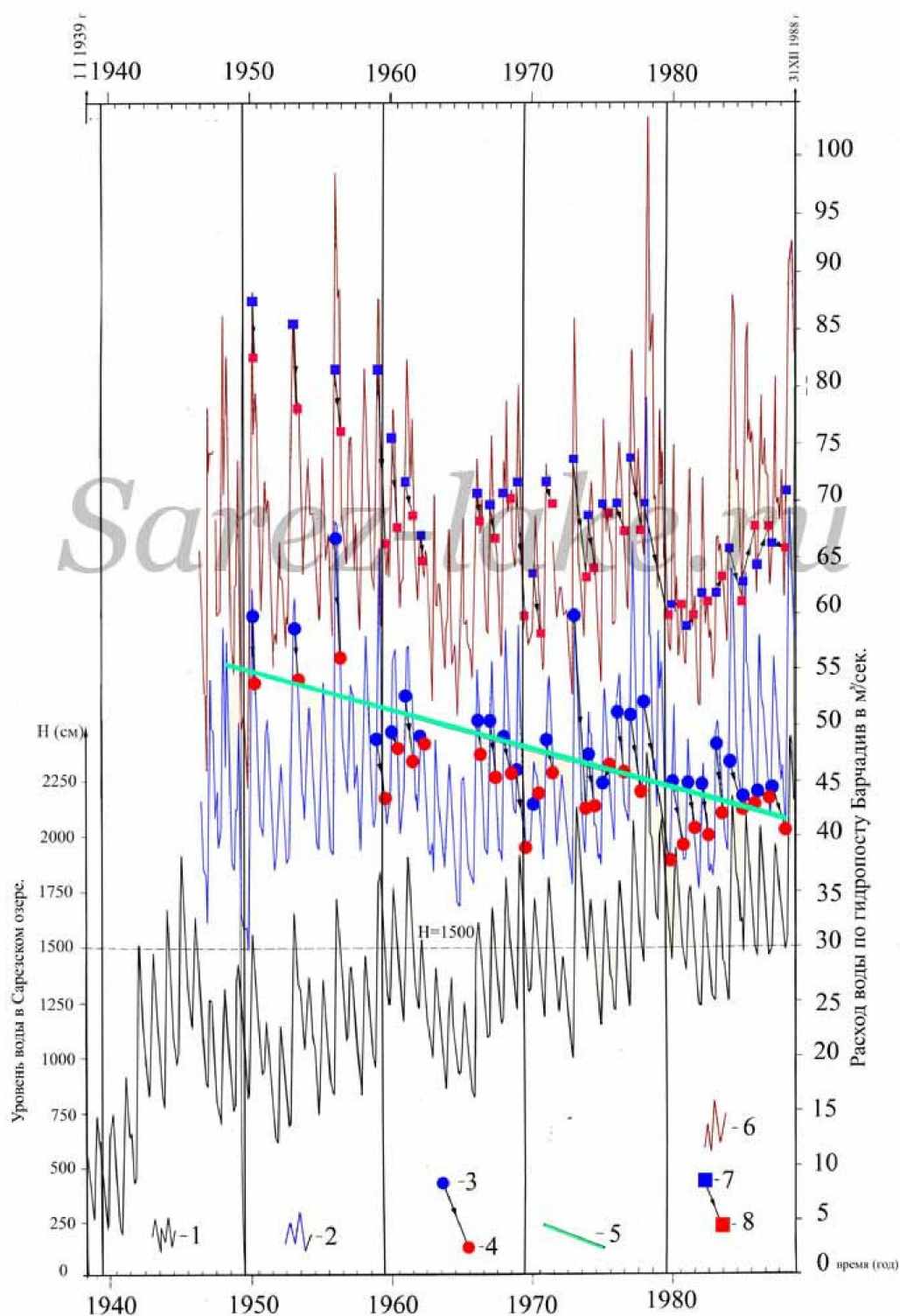


Рис.7 Графики расходов воды по гидропосту Барчадив

1 - среднемесячный уровень воды в Сарезском озере; 2 - среднемесячный расход водной фильтрующей через Усойский завал; 3 - расход воды в паводок, при уровне воды в озере -1500 см; 4 - расход воды в межень, при уровне воды озере -1500 см; 5 - осредненный график изменения расхода воды во времени при одинаковом уровне воды в озере -1500 см; 6 - предполагаемый среднемесячный расход воды при температуре воды 20 С; 7 - предполагаемый среднемесячный расход воды в паводок при уровне воды в озере -1500см и температуре 20 С; 8 - предполагаемый среднемесячный расход в межень при уровне воды в озере -1500 см и температуре воды 20 С

Анализ гидрологических данных показывает, что на верхнем бьефе завальной плотины идет непрерывный процесс кольматации и по этой причине уровень озера непрерывно повышается. Помимо этого постоянного процесса, есть сезонная кольматация, которая вызывает изменение расхода воды при одном и том же уровне озера при нарастании паводка и при понижении уровня. Сезонная кольматация также способствует повышению уровня озера.

В 1977 году в отчете о геофизических исследованиях Усойского завала был предложен простой и дешевый способ понижения уровня воды в Сарезском озере, который заключается в следующем. Многолетний среднегодовой расход воды, который фильтруется через Усойский завал, — $45.85 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальный расход в период паводка — $80 — 90 \text{ м}^3/\text{с}$. Если усилить гидравлическую связь верхнего бьефа с путями фильтрации так, чтобы последние постоянно пропускали максимальный расход, то уровень воды в Сарезском озере понизится естественным путем на 50 метров.

Было предложено несколько вариантов реализации этой идеи. Для выбора наиболее оптимального варианта необходимо провести дополнительные исследования. Здесь мы рассмотрим только два варианта, защищенных патентами.

Первый. В теле завальной плотины имеются поперечные трещины, разделяющие завальные отложения на блоки. По части подобных трещин вода движется, через завальную плотину. Но есть и не задействованные трещины. Некоторые из этих трещин образовались еще до схода оползня, другие в процессе его прямого и обратного смещения. На верховом откосе завальной плотины выходы трещин полностью или частично закрыты обвальными и селевыми отложениями. Последние препятствуют попаданию воды в трещины. Для понижения уровня воды в озере предполагается провести детальное картирование этих трещин с помощью геофизических исследований и расчистку выходов трещин на верховом откосе горными и взрывными работами. Такая расчистка приведет к увеличению расхода воды, пропускаемой завальной плотиной. Увеличение пропускаемого расхода вызовет понижение уровня озера.

Второй. С помощью электрического воздействия уменьшить кольматацию отложений на верховом откосе завальной плотины. Способ основан на использовании явления электроосмоса. Аналогичные способы сейчас применяются для усиления притока нефти и воды к скважинам. Электрическое воздействие приведет к увеличению расхода воды, пропускаемого завальной плотиной и вызовет понижение уровня озера.

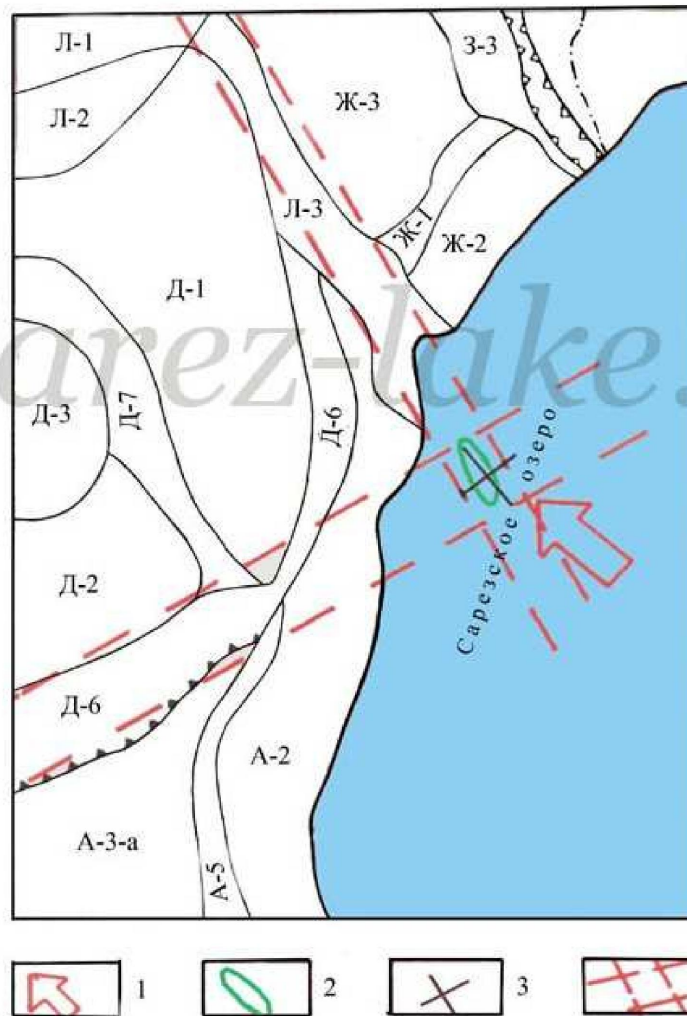


Рис.8 Схема расположения глубинной зоны втока воды на верхнем бьефе Усойского завала. 1990г.

- 1 - направление двиижения воды в озере на период март 1990 года.
- 2 - участок максимальной инфильтрации воды по геофизическим данным на дне озера. на период март 1990 года.
- 3 - эпицентр участка максимальной инфильтрации.
- 4 - положение ослабленных зон в теле Усойского завала.

В марте-апреле 1990 года в прибрежной части Усойского завала со льда в озере проводились геофизические измерения (Рис.8). По результатам этих измерений на дне озера был выявлен участок интенсивного втекания воды в отложения завальной плотины. Этот участок расположен на пересечении поверхности обратного смещения блоков Усойского завала и межблоковой ложбины. Выявленный участок приблизительно совпадает с участком интенсивного втекания воды, который обнаружили участники экспедиции О.К.Ланге в 1926 году. Поэтому исследования для реализации этой идеи и расчистку трещин нужно начинать именно с этого участка.

Заключение

Стоимость традиционных мероприятий по приведению Сарезского озера полностью в безопасное состояние равна 2-3 миллиарда долларов США. На реализацию этих мероприятий нужно затратить 15-20 лет. При современном экономическом положении Таджикистана приступить к изысканиям, разработке и реализации этих мероприятий в обозримом будущем не сможет. Понижение уровня Сарезского озера на 50м путем усиления фильтрации воды через завальную плотину значительно уменьшит риск возникновения катастрофического паводка. Затраты на реализацию этого способа составят 20-30 миллионов долларов США, а затраты времени составят 5-6 лет. Американские геологи Роберт Шустер и Дональд Альфорд, ссылаясь на автора данной статьи, считают, что усиление фильтрации — самый простой и самый дешевый способ обеспечения безопасности Сарезского озера.

Международная конференция
“Управление водно-ресурсными системами в экстремальных условиях”
4-5 июня 2008 года
Москва, Россия, МВЦ “Крокус Экспо”

Источник: <http://eurazvitiye.org/publication/20150113>