



ОЗЕРО САРЕЗ

(115 лет со дня образования)

SAREZ LAKE

(115 years since its formation)

Составители: Гулаёзов М.Ш., Мамаджанов Ю.,
Камолзода Дж. Дж., Аюбзода Э., Охонниёзов М.В.

Адрес: Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 267

Тел.: +992 225 78 16

Эл. почта: rceeca.dushanbe@gmail.com

Prepared by: Gulayozov M.Sh. , Mamadzhanov Yu. ,
Kamolzoda J.J. , Ayubzoda E. , Okhonniyozov M.V.

Address: Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Aini Street 267

Tel.: +992 225 78 16

E-mail: rceeca.dushanbe@gmail.com

Национальная академия наук Таджикистана
National Academy of Sciences of Tajikistan

Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан
Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan

Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе)
Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe)

ОЗЕРО САРЕЗ

(115 лет со дня образования)

SAREZ LAKE

(115 years since its formation)



**Национальная академия наук Таджикистана
National Academy of Sciences of Tajikistan**

**Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан
Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan
Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе)
Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe)**

ОЗЕРО САРЕЗ

(115 лет со дня образования)

SAREZ LAKE

(115 years since its formation)





«Эффективная, справедливая и взаимовыгодная водная кооперация может стать катализатором соразвития стран, связанных общими водными бассейнами»

«Регион Центральной Азии, которому характерно неравномерное формирование водных ресурсов, является наглядным примером конструктивного водного сотрудничества»

«... рациональное использование уникальных запасов только высокогорного озера Сarez, которое содержит семнадцать кубических километров воды, даёт возможность долгосрочного и устойчивого обеспечения качественной питьевой водой населения нашего региона»

Эмомали Рахмон

“Effective, equitable, and mutually beneficial water cooperation can become a catalyst for the co-development of countries connected by shared water basins”

“The Central Asian region, characterized by the uneven distribution of water resources, is a clear example of constructive water cooperation”

“...the rational use of the unique reserves of the high-mountain Sarez Lake alone, which contains seventeen cubic kilometers of water, provides an opportunity for the long-term and sustainable supply of high-quality drinking water to the population of our region”

Emomali Rahmon

Введение

Сарезское озеро образовалось 18 февраля 1911 года, в результате сильного землетрясения с магнитудой $M_w = 7.4$ - по шкале Рихтера и интенсивностью сотрясения 9 баллов - по шкале MSK-64, спровоцировавший обрушения большой массы горных пород с южного склона Музкольского хребта - правого борта реки Маргоб объёмом 2.0-2.2 км³, на месте ранее существовавшего селения Усой. Образовавшейся озеро в 1914 году полностью затопило село Сарез, расположенный на расстоянии 4 км от завала. Завальная плотина позднее была названа Усойской, а образовавшееся озеро получило название затопленного села Сарез. По словам очевидцев сотрясения земной поверхности продолжалось в течение недели - в виде афтершоков как принято сейчас называть в сейсмологии. Образовавшийся в центре Памирских гор на глазах человека подпрудное озеро Сарез существует уже 115 лет и проблема устойчивости его плотины всегда находится в центре внимания ученых-исследователей. Большинство эксперты придерживаются мнения об устойчивости Усойского завала и считают, что прорыв плотины Сарезского озера маловероятен.

Introduction

Sarez Lake was formed on February 18, 1911, as a result of a strong earthquake with a magnitude of $M_w = 7.4$ on the Richter scale and a shaking intensity of 9 on the MSK-64 scale. The earthquake triggered the collapse of a massive volume of rock material (2.0–2.2 km³) from the southern slope of the Muzkol Range on the right bank of the Margob River, at the site of the former village of Usoy. In 1914, the newly formed lake completely flooded the village of Sarez, located approximately 4 km from the landslide dam. The natural dam was later named the Usoy dam, while the newly formed lake received the name of the submerged village - Sarez. According to eyewitness accounts, ground shaking continued for about a week in the form of aftershocks, as they are referred to in modern seismology. The naturally dammed Sarez Lake, which formed in the central Pamir Mountains within human observation, has now existed for 115 years, and the issue of the stability of its dam has remained at the center of scientific attention. Most experts support the view that the Usoy landslide dam is stable and consider the probability of a catastrophic dam failure at Sarez Lake to be low.

Наблюдение за состоянием Сарезского озера ведётся с 1913 года по настоящее время. В период 2000-2007 гг. при финансовой поддержке Швейцарии, Фонда Агахана и Всемирного банка был реализован Международный проект по установлению системы мониторинга и раннего оповещения на Усойской плотине и долины реки Бартанг с целью предотвращения опасных последствий для населения в случае вероятного прорыва Сарезского озера. Начиная с 2007 года эта система находится под оперативным контролем Управления по вопросам Сарезского озера Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан. На Усойском завале-плотине силами Управления организовано круглосуточное дежурство по контролю её состояния и наблюдения за Сарезским озером. Возникшее 18 февраля 1911 года самое глубокое озеро в Центральной Азии и самое высокое в мире его плотина до сих пор остаётся объектом пристального внимания учёных и экспертов.

Monitoring of the condition of Sarez Lake has been carried out continuously from 1913 to the present day. During the period 2000-2007, with financial support from Switzerland, the Aga Khan Foundation, and the World Bank, an international project was implemented to establish a monitoring and early warning system on the Usoy dam and within the Bartang River valley in order to prevent hazardous consequences for the population in the event of a possible outburst of Sarez Lake. Since 2007, this system has been under the operational control of the Sarez Lake Department of the Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan. The Department has organized round-the-clock monitoring of the condition of the Usoy dam and continuous observation of Sarez Lake. Formed on February 18, 1911, the deepest lake in Central Asia and its exceptionally high natural dam remain subjects of close attention for scientists and experts to this day.

История исследования озеро Сарез

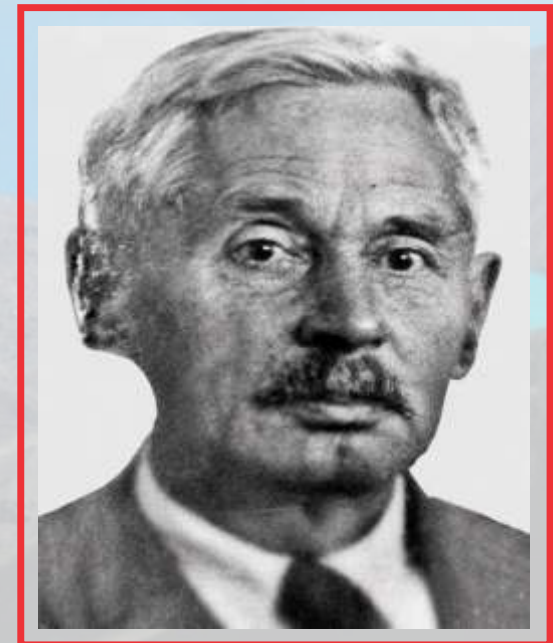
Наблюдение за состоянием Сарезского озера ведётся с 1913 года по настоящее время. Исследования Г.А. Шпилько стали первыми, подробно изучившим новообразованного озеро. Полученные им результаты используются до сих пор. На основании своих исследований он пришел к выводу, что плотина устойчива и при заполнении озера начнётся фильтрация воды из него: «Ближайшим следствием размывания явится постепенное понижение высоты водослива и тесно связанное с этим увеличение количества протекающей сквозь завал воды. Когда количество просачивающейся воды будет превышать приток - уровень озера начнет понижаться». Первым геологом, обследовавшим Усойский завал, был профессор И.А. Преображенский. В 1925 году он провёл детальные исследования Усойского завала, описал его размеры, причину и способ образования. Он поддержал мнение, высказанное штабс-капитаном Г.А. Шпилько об устойчивости Усойской плотины.



Г.А. Шпилько
G.A. Shpilko

History of Sarez lake research

Monitoring of the condition of Sarez Lake has been carried out continuously from 1913 to the present day. The studies conducted by G.A. Shpilko were the first detailed investigations of the newly formed lake, and the results obtained by him are still used today. Based on his research, he concluded that the dam was stable and that, as the lake filled, water filtration through the dam body would begin: “The immediate consequence of erosion will be a gradual lowering of the spillway level, closely associated with an increase in the amount of water passing through the dam. Once the amount of seepage exceeds the inflow, the lake level will begin to decline.” The first geologist to investigate the Usoy landslide dam was Professor I.A. Preobrazhensky. In 1925, he carried out detailed studies of the Usoy dam, describing its dimensions, origin, and formation mechanism. He supported the conclusions of Staff Captain G.A. Shpilko regarding the stability of the Usoy dam.



И.А. Преображенский
I.A. Preobrazhensky

История исследования озера Сарез History of Sarez lake research



План Усойского завала и Сарезкого озера, Октябрь 1913 г.
Plan of the Usoy Dam and Sarez Lake, October 1913.



Лагерь экспедиции штабс-капитана Г.А.Шпилько, 1913 г.
Expedition camp of staff captain G.A. Shpilko, 1913.

Планомерные научные исследования Сарезского озера и Усойского завала ведутся с 1925 года. В изучение геологических, гидрологических, геоморфологических и климатических особенностей района значительный вклад внесли геологи, топографы, гидрологи и метеорологи, среди которых следует отметить О.К. Ланге, В.С. Колесникова, В.А. Афанасьева, В.В. Акулова, В.И. Рацека и О.Ф. Васильева и др. Вопросы устойчивости Сарезского озера и Усойского завала исследовались специалистами Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан, Всероссийского научно-исследовательского института инженерной геологии и гидрогеологии (ВСЕГИНГЕО, Москва), геологического факультета Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Управления по вопросам Сарезского озера Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан, а также учёными профильных институтов Национальной академии наук Таджикистана. С 2017 года значительный вклад в комплексное исследование Сарезского озера и Усойского завала вносит Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе).

Systematic scientific investigations of Sarez Lake and the Usoy dam have been conducted since 1925. Significant contributions to the study of the geological, hydrological, geomorphological, and climatic characteristics of the region were made by geologists, topographers, hydrologists, and meteorologists, among whom O.K. Lange, V.S. Kolesnikov, V.A. Afanasyev, V.V. Akulov, V.I. Ratsek, and O.F. Vasilyev should be particularly noted. Issues related to the stability of Sarez Lake and the Usoy dam were investigated by specialists from the Main Geological Administration under the Government of the Republic of Tajikistan, the All-Russian Research Institute of Engineering Geology and Hydrogeology (VSEGINGEO, Moscow), the Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University, the Sarez Lake Department of the Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan, as well as scientists from specialized institutes of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Since 2017, the Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe) has been making a significant contribution to the integrated study of Sarez Lake and the Usoy dam.

История исследования озеро Сarez / History of Sarez lake research



Естественная Усойская плотина, перекрывающая реку Мургаб, Август 1915 года / The natural Usoy dam blocking the Murgab river, August 1915.



Один из каменных обвалов, сопровождавшихся движением ледника / One of the rockslides followed by ice flow.



Съёмочная лодка экспедиции Г.А. Шпилько на озере Сarez в 1913 году / Shpilko's surveying boat on Sarez Lake in 1913.



Экспедиция Г.А. Шпилько, выполняющая съёмочные и исследовательские работы с самодельной лодкой на озере Сarez в 1913 году / Shpilko's expedition conducting surveying and research operations from a homemade boat on Sarez Lake in 1913.

Морфометрические характеристики Сарезкого озера / Morphometric Characteristics of Sarez Lake



Морфометрические характеристики озера Сарез: абсолютная отметка уровня воды 3265 м, водосборная площадь составляет 16506 км², длина береговой линии - 162 км, площадь зеркала озера - 80 км², длина - 60 км, наибольшая ширина - 3.3 км, средняя ширина озера - 1.44 км, наибольшая глубина - 500 м, средняя глубина - 202 м, общий объем воды составляет порядка 17 км³. Акватория Сарезского озера по глубине делится на две части: западную и восточную. Западная часть озера - глубоководная, со средней глубиной 250 м, а восточная - мелководная, со средней глубиной 50 м. Область глубин свыше 400 м занимает площадь около 4 км², на глубины свыше 300 м приходится около 15 км² площади озера. Глубины с отметкой до 100 м занимают большую площадь зеркала воды - 59 км². Акватория озера Сарез делится на три морфометрические зоны: наиболее глубоководную, западную, занимающую от Усойского завала до залива Ирхт; глубоководную – центральную, включающую - от Ирхтского залива до устья р. Давлат - Маматдашт и восточную - мелководную.

The morphometric characteristics of Sarez Lake are as follows: water surface elevation - 3265 m above sea level; catchment area - 16506 km²; shoreline length - 162 km; lake surface area - 80 km²; lake length - 60 km; maximum width - 3.3 km; average width - 1.44 km; maximum depth - 500 m; average depth - 202 m; and total water volume - approximately 17 km³. According to depth distribution, the water area of Sarez Lake is divided into two parts: western and eastern. The western part of the lake is deep-water, with an average depth of 250 m, while the eastern part is shallow-water, with an average depth of 50 m. The area with depths exceeding 400 m occupies about 4 km², while depths greater than 300 m account for approximately 15 km² of the lake area. Depths of up to 100 m occupy the largest portion of the lake surface area - 59 km². The water area of Sarez Lake is divided into three morphometric zones: the deepest western zone, extending from the Usoy dam to Irkht Bay; the deep central zone, extending from Irkht Bay to the mouth of the Davlat-Mamatdasht River; and the shallow eastern zone.

Природа, климат и гидрология

Озеро Сарез окружено высокогорными хребтами Памира. С севера его окаймляет Музкольский хребет с вершинами до 5900 м, а с запада и юга - отроги Рушанского и Северо-Аличурского хребтов высотой более 5000 м. Берега озера крутые, скалистые и изрезаны многочисленными заливами и устьями горных рек. В районе озера произрастает около 350 видов цветковых растений. Выделяются два природных пояса: Среднегорный пояс (до 3700 м) - берёзовые и тополиные рощи, кустарниковая растительность и тугайные сообщества; Высокогорный пояс (3700-4700 м) - полынные пустыни, низкорослые кустарнички и многолетние травы. Животный мир окрестностей озера Сарез представлен суровыми высокогорными видами Памира, обитающими на склонах гор и возле ледниковых ручьев. Здесь встречаются архары, снежные барсы, волки, сурки, пищухи, а также такие птицы, как рогатый жаворонок, серпоклюв, снежный гриф и бородач.



Nature, climate, and hydrology

Sarez Lake is surrounded by the high mountain ranges of the Pamirs. The Muzkol Range borders the lake from the north, with peaks reaching up to 5900 m, while the spurs of the Rushan and North Alichur ranges rise to more than 5000 m in the western and southern parts. The lakeshores are steep, rocky, and deeply indented by numerous bays and mountain river mouths. Approximately 350 species of flowering plants grow in the Sarez Lake region. Two main natural belts are distinguished: Mid-mountain belt (up to 3700 m) - birch and poplar groves, shrub vegetation, and tugai communities; High-mountain belt (3700-4700 m) - wormwood deserts, dwarf shrubs, and perennial grasses. The fauna of the Sarez Lake region is represented by characteristic high-mountain species of the Pamirs inhabiting mountain slopes and glacial streams. The area is home to argali sheep, snow leopards, wolves, marmots, and pikas, as well as birds such as the horned lark, ibisbill, Himalayan griffon, and bearded vulture.

Природа, климат и гидрология / Nature, climate, and hydrology

Климат Сареза континентальный. По данным многолетних наблюдений на гидрометеорологической станции «Ирхт» (с 1938 года), среднегодовая температура воздуха в районе Сарезского озера составляет $1,0^{\circ}\text{C}$. В холодные месяцы года (ноябрь–февраль) температура воздуха в среднем колеблется от $-4,3^{\circ}\text{C}$ (ноябрь) до $-14\dots-15^{\circ}\text{C}$ (январь–февраль), а в летний период (июль–август) достигает $+15\dots+20^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая норма осадков составляет 150-180 мм; наибольшее их количество выпадает весной.

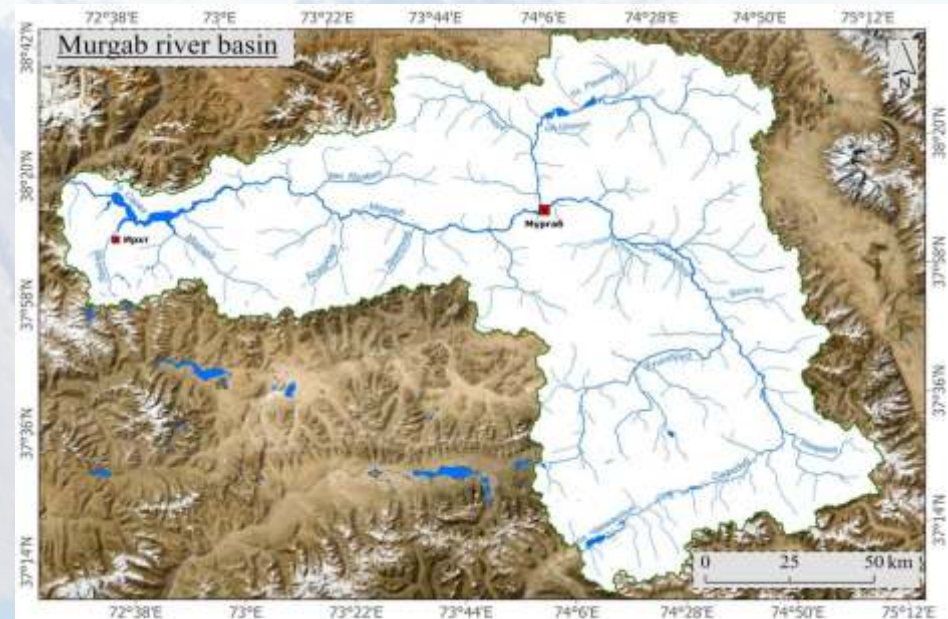
The climate of the Sarez Lake region is continental. According to long-term observations at the Irkht hydrometeorological station (operating since 1938), the mean annual air temperature is approximately $+1.0^{\circ}\text{C}$. During the cold season (November–February), average temperatures range from -4.3°C in November to $-14\dots-15^{\circ}\text{C}$ in January–February, while during the summer period (July–August) temperatures reach $+15\dots+20^{\circ}\text{C}$. The average annual precipitation is 150-180 mm, with the majority of precipitation occurring in spring.



Гидрометеорологическая станция «Ирхт»/ Irkht hydrometeorological station

Природа, климат и гидрология / Nature, climate, and hydrology

Река Маргоб - главная водная артерия, питающая озеро Сарез, берёт начало из Чакмактинских озёр, расположенных на территории Афганистана. Помимо реки Маргоб, приток воды в озеро обеспечивают относительно крупные реки Лянгар и Морджой, а также десятки временных и постоянных малых притоков. Питание рек бассейна Сарезского озера преимущественно ледниково-снеговое. Разгрузка озера осуществляется посредством фильтрации через тело Усойского завала и испарения. Фильтрационные воды выходят в виде 56 мощных источников. После прохождения через Усойский завал воды формируют сток реки Маргоб, которая, сливаясь с рекой Гудара, образует реку Бартанг - один из крупнейших правых притоков реки Пяндж.



Фильтрация воды с озеро через тело плотины посредством источников / Filtration of lake water through the body of the Usoy dam via powerful springs.

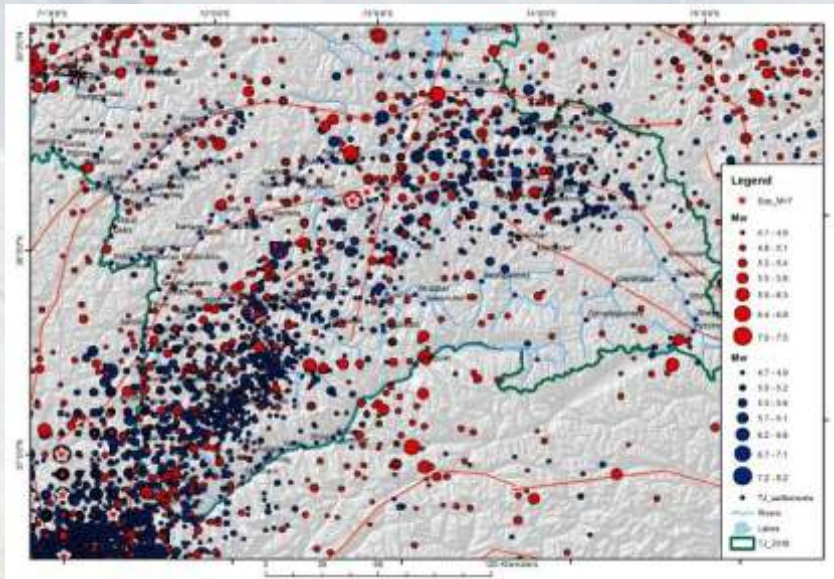
The Margob River, the main water artery feeding Sarez Lake, originates from the Chakmaktin Lakes located in Afghanistan. In addition to the Margob River, water inflow into the lake is supplied by the relatively large Langar and Morjoy rivers, as well as dozens of temporary and permanent small tributaries. The rivers of the Sarez Lake basin are predominantly fed by glacier and snowmelt runoff. Water discharge from the lake occurs through filtration across the body of the Usoy dam and by evaporation. Filtered waters emerge in the form of 56 powerful springs. After passing through the Usoy dam, the waters form the flow of the Margob River, which, joining the Ghudara River, forms the Bartang River - one of the largest right tributaries of the Panj River.

Сейсмичность района Сарезского озера

Памирское нагорье, сформированное в результате столкновения Индийской и Евразийской плит, характеризуется высокой сейсмичной активностью. Район Сарезского озера, находящийся в центре Памирских гор, согласно Карты сейсмического районирования территории Таджикистана (1978), относится к 9 балльной зоне. Особенности тектонического строения района озера Сарез определяются его положением на стыке двух тектонических зон - Центрального и Рушанско-Пшартского Памира, разделенных региональным Рушано-Пшартским разломом. Рушано-Пшартский краевой разлом прослеживается в широтном направлении по правому борту главной долины до устья реки Дистагун и восточнее - по левому, вплоть до верховий Сарезского озера. Разлом выражен в виде всбросо-надвига с южным падением сместителя, углы наклона которой изменяются от пологой - 30° до крутой, почти вертикальной - 85° .

Seismicity of the Sarez Lake Region

The Pamir Highlands, formed as a result of the collision between the Indian and Eurasian plates, are characterized by high seismic activity. According to the Seismic Zoning Map of Tajikistan (1978), the Sarez Lake region, located in the central Pamir Mountains, belongs to the 9-intensity seismic zone. The tectonic structure of the Sarez Lake area is determined by its location at the junction of two tectonic zones - the Central Pamir and the Rushan-Pshart Pamir - separated by the regional Rushan-Pshart fault. The Rushan-Pshart marginal fault extends in a latitudinal direction along the right side of the main valley to the mouth of the Distagun River and farther east along the left side up to the upper reaches of Sarez Lake. The fault is expressed as a thrust-overthrust structure with a southward-dipping fault plane, whose inclination varies from gentle (30°) to steep, nearly vertical (85°).



Распределение эпицентров каровых и глубоких землетрясений в районе Сарезского озера / Distribution of Crustal and Deep-Focus Earthquake Epicenters in the Sarez Lake Region



Карта изосейст землетрясения 7 декабря 2015 года/ .1-балл; 2- изосейста балльности; 3- эпицентр землетрясения по инструментальным данным; 4- эпицентр землетрясения по данным; 5- Бартанг-Пшартский разлом / Isoseismal Map of the December 7, 2015, Earthquake

Сейсмичность района Сарезского озера / Seismicity of the Sarez Lake Region

В районе Сарезского озера расположенного вдоль зоны Рушано-Пшартского разлома, наблюдаются проявления как коровых, так и глубоких землетрясений. За прошедшие 115 лет здесь произошли два сильных землетрясения с магнитудой $M_w > 7$, практически с одним и тем же эпицентром. Поэтому оценка сейсмических воздействий для территории района Сарезского озера с использованием современных методов является очень важной задачей. Устойчивость Усойской плотины к сильным сейсмическим воздействиям подтвердилось 7 декабря 2015 года, когда в районе Сарезского озера в 12 час. 50 мин. по местному времени, произошло землетрясение с магнитудой $M_w = 7.2$ и интенсивностью сотрясения в эпицентральной зоне - 8 баллов.

In the Sarez Lake region, located along the Rushan-Pshart fault zone, manifestations of both crustal and deep earthquakes are observed. Over the past 115 years, two strong earthquakes with magnitudes $M_w > 7$ have occurred here, practically with the same epicenter. Therefore, the assessment of seismic impacts for the Sarez Lake region using modern methods is a very important task. The stability of the Usoy dam under strong seismic impacts was confirmed on December 7, 2015, when, at 12:50 local time, an earthquake with a magnitude of $M_w = 7.2$ and a shaking intensity of 8 in the epicentral zone occurred in the Sarez Lake region.



Эпицентр землетрясения 7 декабря 2015г / Epicenter of the December 7, 2015 Earthquake

Поврежденные жилые дома в селениях Кудара, Пасор, Бопасор, Рухч и обрушения пород на склонах гор / Damaged residential houses in the villages of Kudara, Pasor, Bopasor, and Rukhch, as well as rockfalls on mountain slopes along the Rushan-Kudara road. вдоль автодороги Рушан-Кудара.

Вклад Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе) в исследование озеро Сарез

The contribution of the Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe) to the study of Sarez Lake

Научно-исследовательский центр экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе) начиная с 2017 года проводит планомерные научно-исследовательские работы по изучению Сарезского озера и Усойского завала. Центром проведены ряд комплексных научных экспедиции (2017, 2019, 2022, 2023 и 2025 годы) с целью исследования современного состояния естественной Усойской плотины и Сарезского озера в целом. С применением беспилотных летательных аппаратов произведены аэрофотосъёмки высокого разрешения (10 и 20 см) площадью более 70 км², составлены ортофотопланы Усойского завала, отдельных его участков и большей части запада Сарезского озера в целом. На основе полученных аэрофотоснимков впервые составлен «Атлас Сарезского озера». В 2021-2022 г. Центром в рамках реализации плана научно-исследовательских работ «Мониторинг деформационных процессов на Усойской плотине и Сарезском озере на основе использования глобальной навигационной спутниковой системы BeiDou» с целью непрерывного мониторинга деформационных процессов, происходящих в земной коре района Сарезского озера, в тесном сотрудничестве с Управлением по вопросам Сарезского озера Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан, установлены 7 деформографических станции.

The Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe) has been carrying out systematic scientific research on Sarez Lake and the Usoy dam since 2017. The Center has conducted a series of complex scientific expeditions (2017, 2019, 2022, 2023, and 2025) aimed at investigating the current condition of the natural Usoy dam and Sarez Lake as a whole. Using unmanned aerial vehicles (UAVs), high-resolution aerial surveys (10 and 20 cm) covering an area of more than 70 km² were carried out, and orthophoto maps of the Usoy dam, its individual sections, and most of the western part of Sarez Lake were produced. Based on the obtained aerial photographs, the first “Atlas of Sarez Lake” was compiled. In 2021-2022, within the framework of the research program “Monitoring of Deformation Processes on the Usoy Dam and Sarez Lake Based on the Use of the BeiDou Global Navigation Satellite System,” and for the purpose of continuous monitoring of deformation processes occurring in the earth’s crust of the Sarez Lake region, the Center, in close cooperation with the Sarez Lake Department of the Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan, installed 7 deformation monitoring stations.

**Вклад Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе)
в исследование озеро Сарез**

**The contribution of the Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe) to the
study of Sarez Lake**

Установленные на Усойском завале и по обеим берегам Сарезского озера станции в режиме реального времени регистрируют движения земной коры, происходящие в районе Сарезского озера. Данные о деформационных процессах земной коры посредством глобальной навигационной спутниковой системы BeiDou передаются на сервер Центра. Полученные с этих станции данные имеют практическое значение для принятия своевременных мер по предупреждению опасности возникновения стихийных бедствий в районе Сарезского озера. Программа навигационной спутниковой системы BeiDou подключена также к единой государственной системе Центра управления кризисным ситуациям Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан.

The stations installed on the Usoy dam and along both shores of Sarez Lake record crustal movements occurring in the Sarez Lake region in real time. Data on deformation processes of the earth's crust are transmitted to the Center's server via the BeiDou global navigation satellite system. The data obtained from these stations have practical significance for taking timely measures to prevent the risk of natural disasters in the Sarez Lake region. The BeiDou navigation satellite system program is also connected to the unified state system of the Crisis Management Center of the Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan.

Применение БПЛА в исследовании озеро Сарез

Системное применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга состояния озера Сарез началось во время проведения первой международной экспедиции летом 2017 года. Было выполнено комплексная аэрофотосъёмка западной части озера Сарез и района Усойского завала площадью более 70 км². Полученные впервые с использованием БПЛА аэрофотоснимки высокого качества с разрешением 10 и 20 см, позволили обследовать морфологию Сарезского озера и плотины Усой, сформировать базовый геопространственный набор аэрофотографических данных для последующего мониторинга.

Application of UAVs in the study of Sarez Lake

The systematic use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for monitoring the condition of Sarez Lake began during the first international expedition in the summer of 2017. A comprehensive aerial survey of the western part of Sarez Lake and the Usoy dam area covering more than 70 km² was carried out. The high-quality aerial photographs obtained for the first time using UAVs, with resolutions of 10 and 20 cm, made it possible to investigate the morphology of Sarez Lake and the Usoy dam and to form a basic geospatial aerial photographic dataset for subsequent monitoring.



Применение БПЛА в исследовании озеро Сарез Application of UAVs in the study of Sarez Lake

В 2019 и 2022 гг. с использованием БПЛА разных типов проведены повторные аэрофотосъёмки позволяющие созданию цифровых моделей рельефа и 3D-реконструкции района Сарезского озера и Усойского завала. Были получены новые данные по Усойскому завалу и береговым зонам озера.

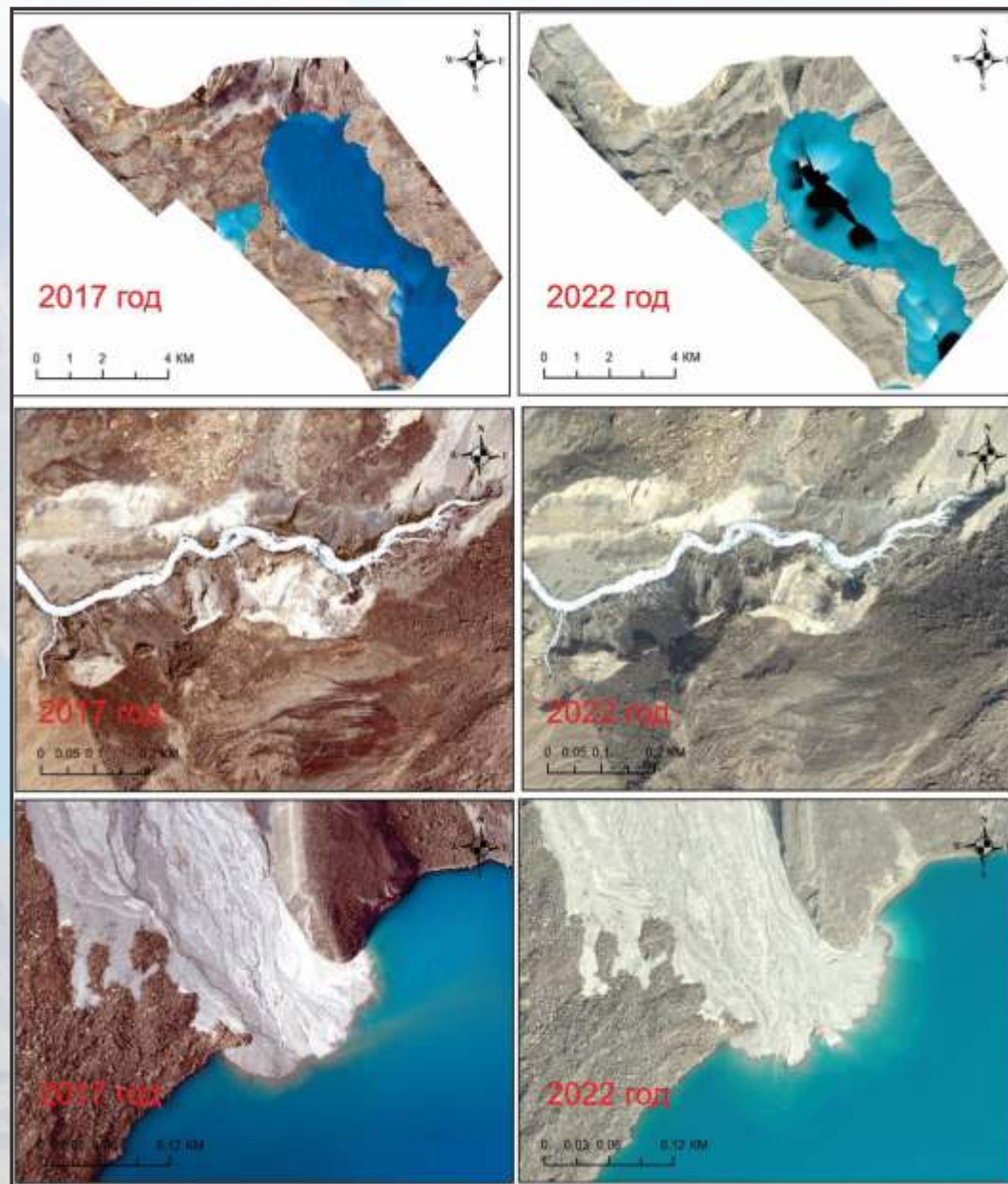
In 2019 and 2022, repeated aerial surveys using different types of UAVs were carried out, enabling the creation of digital elevation models and 3D reconstructions of the Sarez Lake region and the Usoy dam. New data were obtained on the Usoy dam and the coastal zones of the lake.



Применение БПЛА в исследовании озеро Сарез / Application of UAVs in the study of Sarez Lake

Сопоставление высокдетализированных ортофотопланов, полученных с помощью БПЛА в 2017 и 2022 гг., позволило выявить изменения береговой линии, состояния русел временных водотоков и динамики склоновых процессов в районе Сарезского озера. На рисунках представлены общие изменения отдельных участков западной части озера, трансформация русел временных водотоков и развитие эрозионных процессов, а также изменения конусов выноса и аккумуляции рыхлообломочного материала в прибрежной зоне озера. Результаты показывают активное развитие экзогенных процессов - эрозии, селевых выносов и перераспределения осадочного материала, связанных с сезонным поверхностным стоком и склоновой динамикой. Полученные данные имеют важное значение для мониторинга устойчивости берегов и оценки потенциальных природных рисков в районе Сарезского озера

Comparison of high-resolution orthophoto maps obtained using UAVs in 2017 and 2022 made it possible to identify changes in the shoreline, the condition of temporary watercourse channels, and the dynamics of slope processes in the Sarez Lake region. The figures show general changes in individual sections of the western part of the lake, transformations of temporary watercourse channels and the development of erosion processes, as well as changes in alluvial fans and the accumulation of loose debris material in the coastal zone of the lake. The results show the active development of exogenous processes - erosion, debris-flow deposition, and redistribution of sediment material associated with seasonal surface runoff and slope dynamics. The obtained data are of great importance for monitoring shoreline stability and assessing potential natural hazards in the Sarez Lake region.



Сравнительный анализ аэрофотосъёмки 2017 и 2022 гг.
Comparative analysis of UAV aerial surveys conducted in 2017 and 2022

Мониторинг деформационных процессов района Сарезского озера на основе использования глобальной навигационной спутниковой системы BeiDou

Monitoring of deformation processes in the Sarez Lake region based on the use of the BeiDou global navigation satellite system

В рамках совместной работы Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе), Национальной академии наук Таджикистана, Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан, Национального центра службы времени Китайской академии наук (NTSC) и Синьцзянского института экологии и географии Китайской академии наук создана система непрерывного мониторинга деформационных процессов земной коры Усойского завала и прилегающих берегов Сарезского озера..

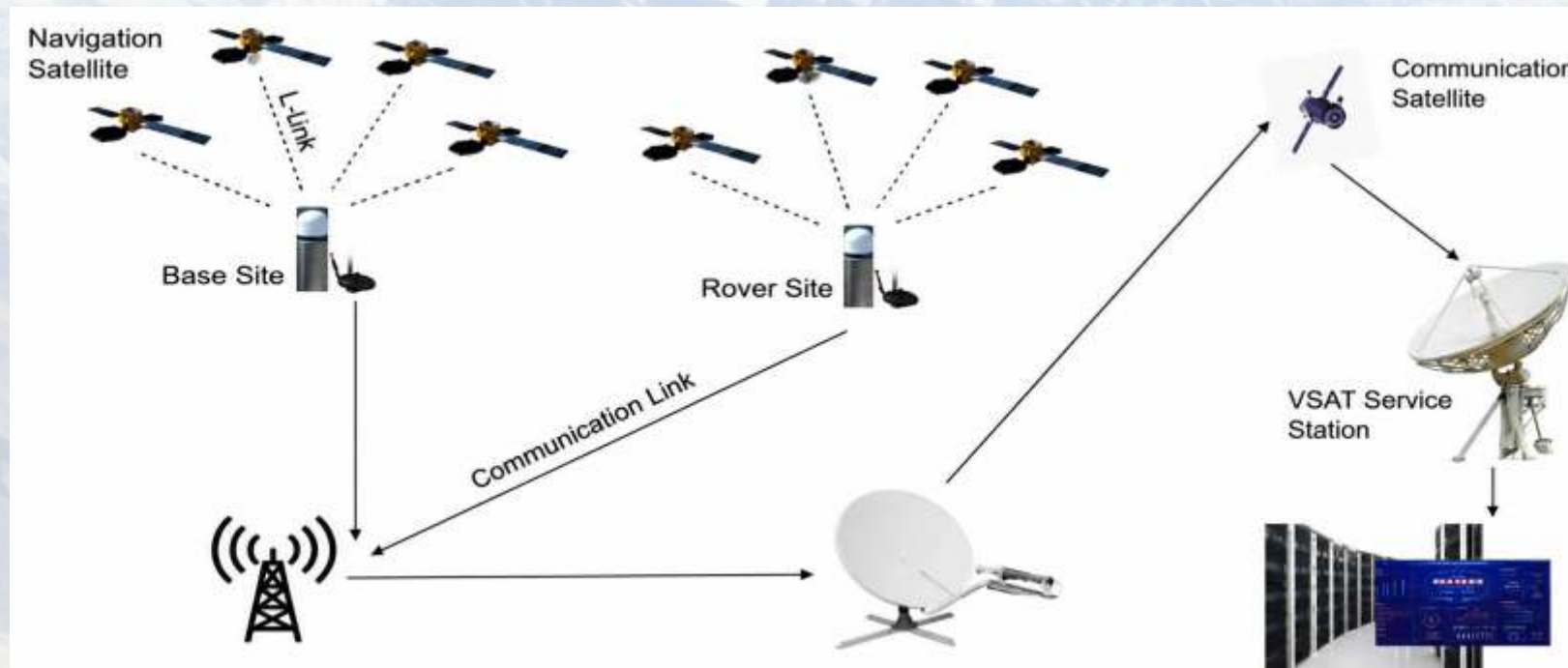
Within the framework of cooperation between the Research Center for Ecology and Environment of Central Asia (Dushanbe), the National Academy of Sciences of Tajikistan, the Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan, the National Time Service Center of the Chinese Academy of Sciences (NTSC), and the Xinjiang Institute of Ecology and Geography of the Chinese Academy of Sciences, a continuous monitoring system for deformation processes of the earth's crust of the Usoy dam and the adjacent shores of Sarez Lake has been established.

VSAT User

Base Site

Мониторинг деформационных процессов района Сарезского озера на основе использования глобальной навигационной спутниковой системы BeiDou

Monitoring of deformation processes in the Sarez Lake region based on the use of the BeiDou global navigation satellite system



Система состоит из четырёх основных компонентов:

- 1 полевые пункты наблюдений, расположенные на плотине и береговых участках, предназначенные для приёма спутниковых сигналов и сбора данных;
- 2 локальная сеть связи для передачи исходных данных с наблюдательных станций на центральную станцию, размещённую на Усойской плотине;
- 3 спутниковая коммуникационная платформа, обеспечивающая сбор данных с наблюдательных станций и их передачу в центр обработки;
- 4 центр интеграции и обработки данных, выполняющий высокоточные расчёты деформационных процессов.

Точность наблюдений при использовании данной технологии составляет менее 1 см

The system consists of four main components:

- 1 field observation stations located on the dam and along the lakeshore areas for satellite signal reception and data acquisition;
- 2 a local communication network for transmitting raw data from the monitoring stations to the central station located on the Usoy dam;
- 3 a satellite communication platform that collects data from the monitoring stations and transmits them to the processing center;
- 4 a data integration and processing center performing high-precision deformation analysis.

The observation accuracy achieved using this technology is better than 1 cm.



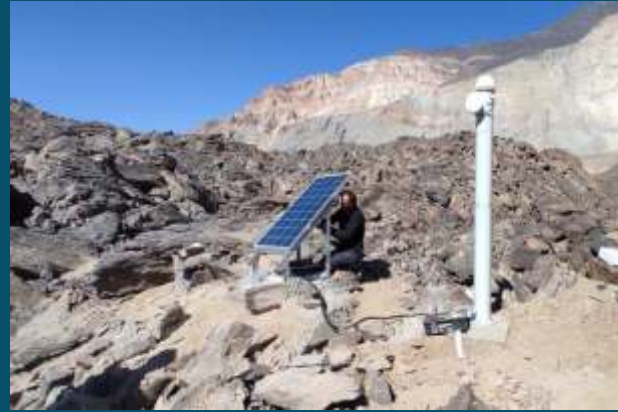
Мониторинг деформационных процессов района Сарезского озера на основе использования глобальной навигационной спутниковой системы BeiDou Monitoring of deformation processes in the Sarez Lake region based on the use of the BeiDou global navigation satellite system

Из-за труднодоступности и сложного высокогорного рельефа района озеро Сарез доставка оборудования осуществлялась вручную и с использованием вьючного транспорта. Для транспортировки приборов, систем связи, источников питания и полевых материалов к высокогорным пунктам наблюдений применялась комбинированная схема доставки. В транспортировке оборудования участвовали учёные институтов Национальной академии наук Таджикистана, сотрудники Управления по вопросам Сарезского озера Комитета по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороны при Правительстве Республики Таджикистан. Транспортная операция продолжалась около **10 дней**, что отражает сложные природные условия, отсутствие дорожной инфраструктуры и суровый климат высокогорного Памира в районе озеро Сарез.



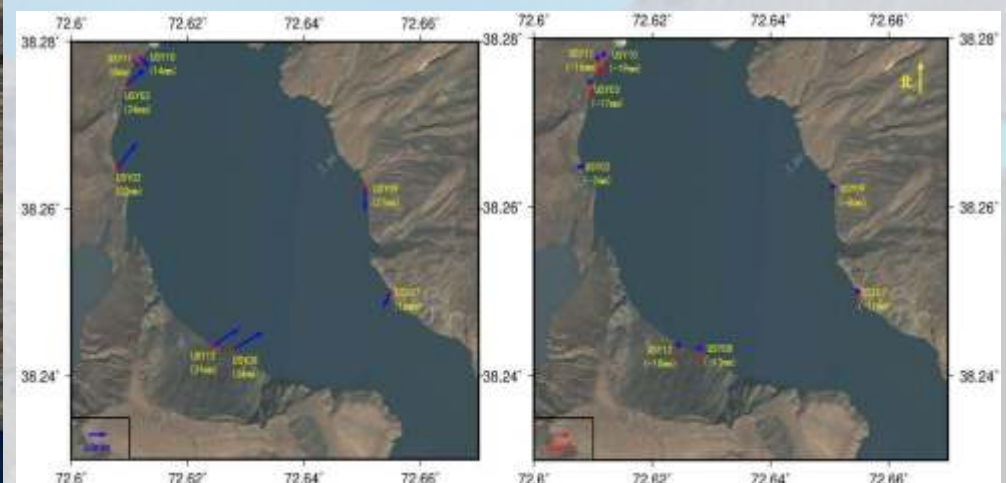
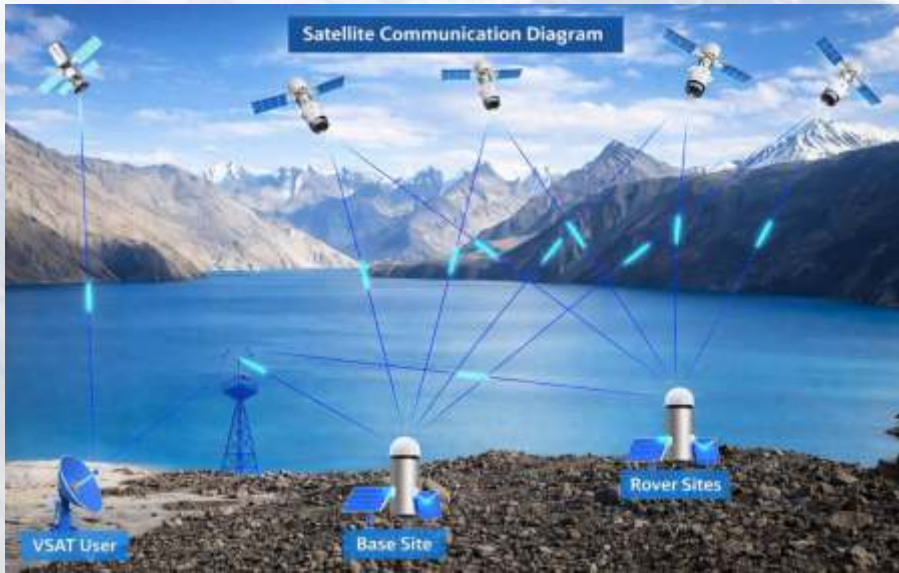
Due to the remoteness and difficult high-mountain terrain of the Sarez Lake region, the transportation of equipment was carried out manually and with the use of pack animals. A combined transport scheme was used for delivering instruments, communication systems, power supplies, and field materials to high-altitude observation sites. Scientists from the institutes of the National Academy of Sciences of Tajikistan and staff members of the Sarez Lake Department of the Committee for Emergency Situations and Civil Defense under the Government of the Republic of Tajikistan participated in the transportation of the equipment. The transport operation lasted about 10 days, reflecting the difficult natural conditions, the absence of road infrastructure, and the harsh climate of the high-mountain Pamir region in the Sarez Lake area.

Процесс установки станции / Installation process of station



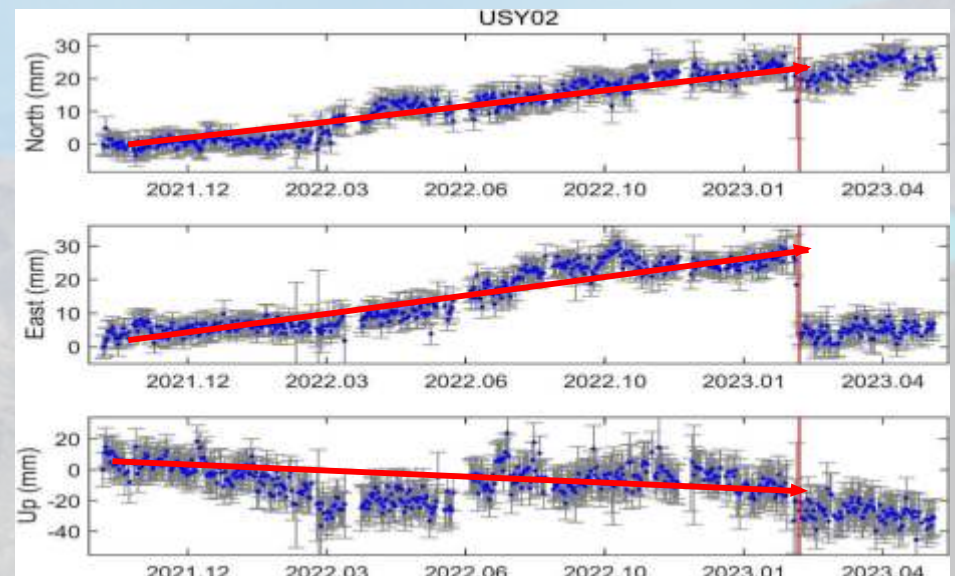
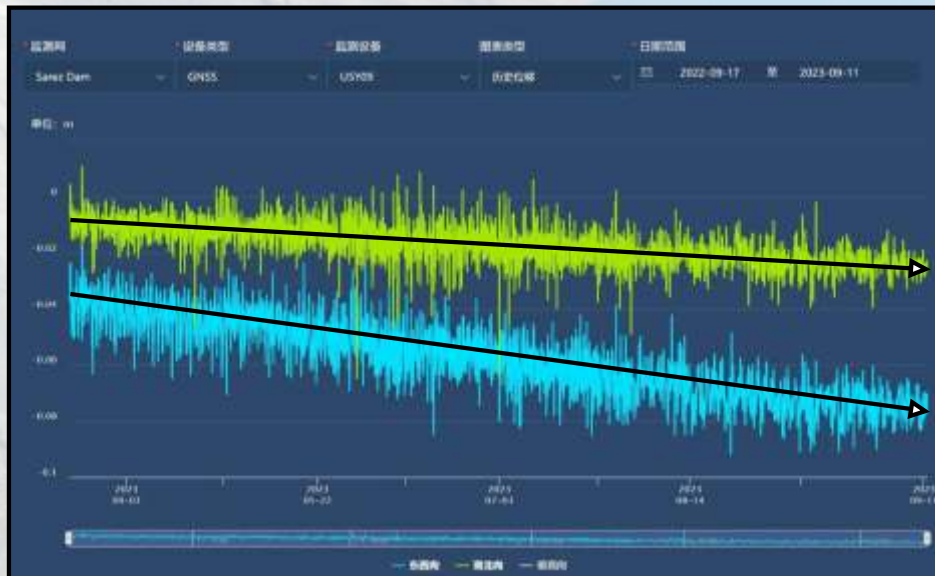
Мониторинг деформационных процессов района Сарезского озера на основе использования глобальной навигационной спутниковой системы BeiDou

Monitoring of deformation processes in the Sarez Lake region based on the use of the BeiDou global navigation satellite system



Мониторинг деформационных процессов района Сарезского озера на основе использования глобальной навигационной спутниковой системы BeiDou

Monitoring of deformation processes in the Sarez Lake region based on the use of the BeiDou global navigation satellite system



Исследование экзогенных процессов района озеро Сarez Study of exogenous processes in the Sarez Lake region

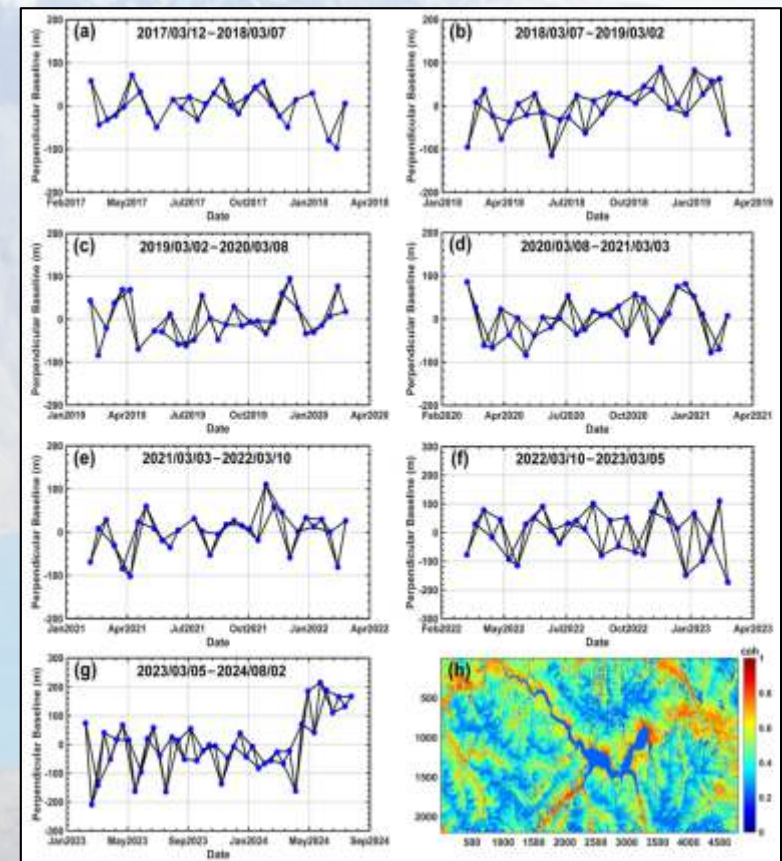
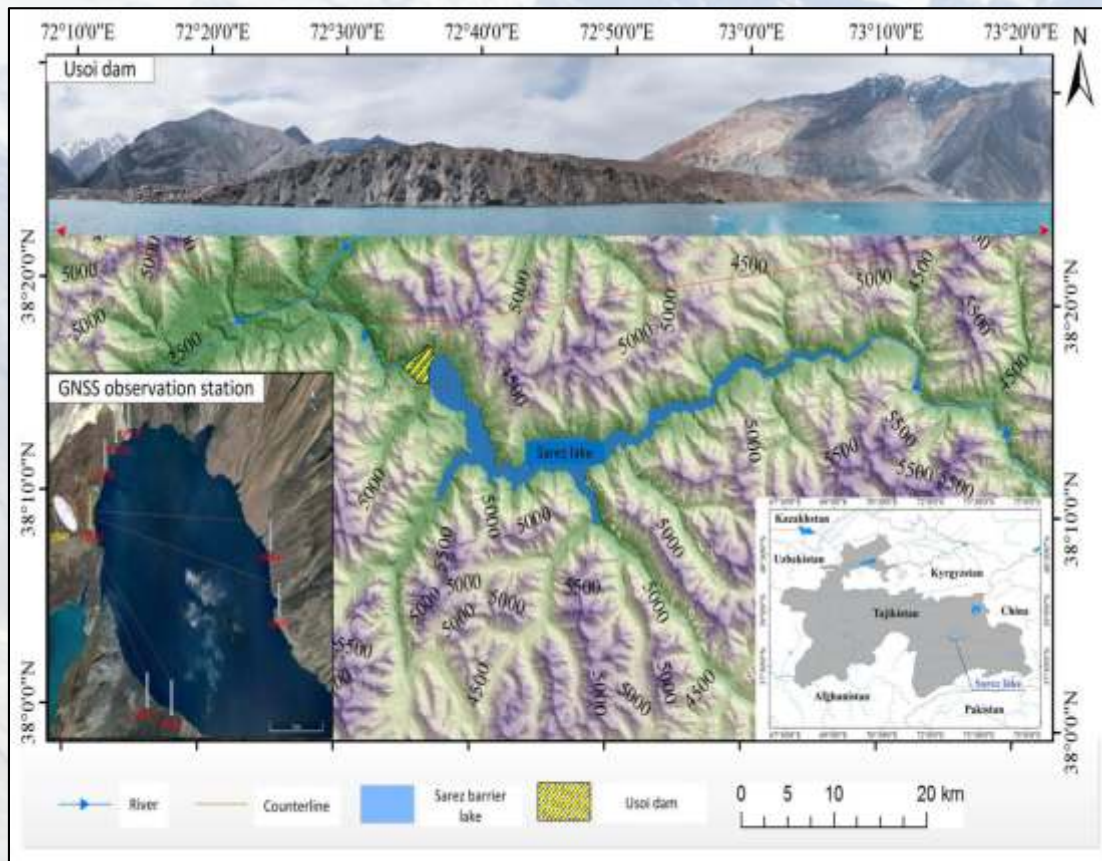
В бассейне озеро Сarez активно развиваются современные экзогенные геологические процессы: обвалы, оползни, эрозия склонов и селевые явления. Эти процессы могут влиять на состояние Усойской плотины и требуют постоянного наблюдения и исследования.

Modern exogenous geological processes are actively developing within the Sarez Lake basin, including rockfalls, landslides, slope erosion, and debris-flow activity. These processes may affect the condition of the Usoy dam and therefore require continuous monitoring and investigation.



Карта пространственного распределения потенциальных оползней в районе озеро Сarez /
Spatial Distribution Map of Potential Landslides in the Upstream Area of Sarez Lake

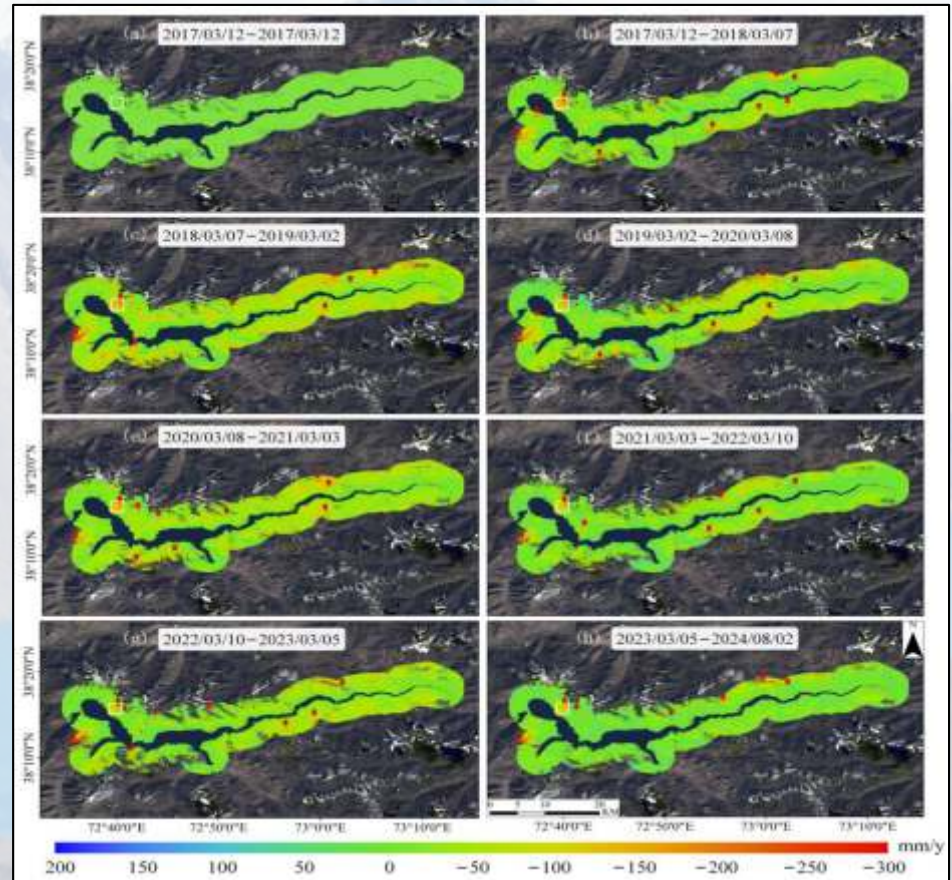
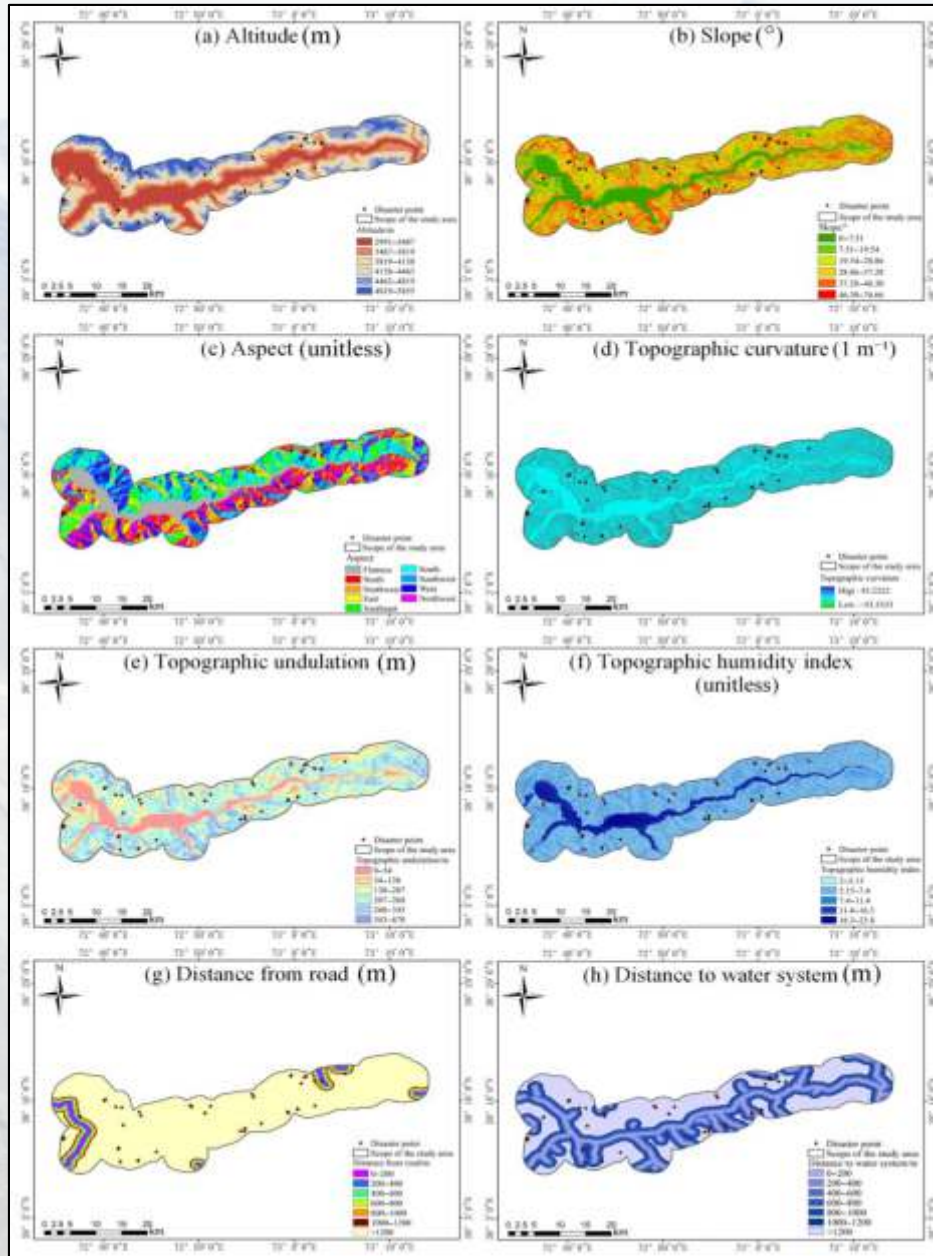
Исследование экзогенных процессов района озеро Сарез Study of exogenous processes in the Sarez Lake region



Для оценки склоновых процессов применён современный комплексный подход на основе спутниковых данных Sentinel-1A (2017–2024 гг.), методов SBAS-InSAR и машинного обучения. Анализ показал неравномерность деформаций: наиболее активные зоны расположены в западной части, где скорость смещений достигала до 480 мм/год (с усилением в 2022–2023 гг.).

Slope hazards were assessed using an integrated approach based on Sentinel-1A satellite data (2017–2024), SBAS-InSAR, and machine learning techniques. The analysis revealed uneven deformation patterns, with the highest activity in the western sector, where displacement rates reached up to 480 mm/year, accelerating in 2022–2023.

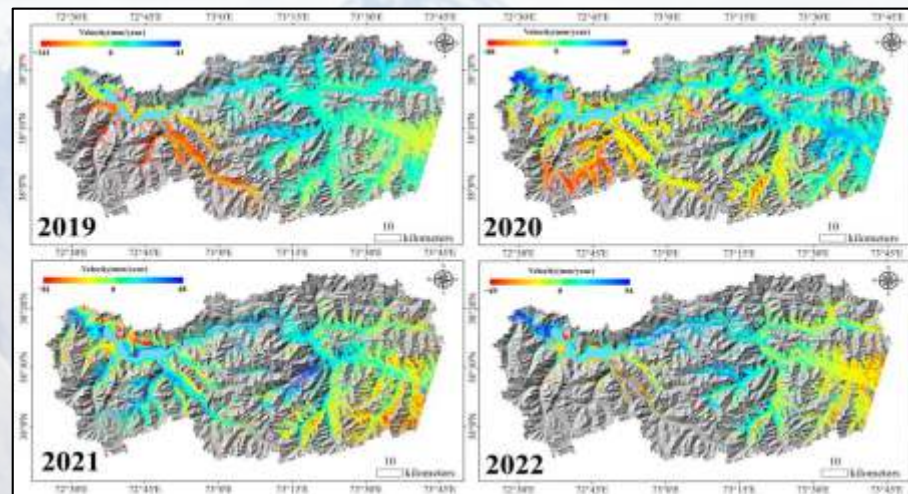
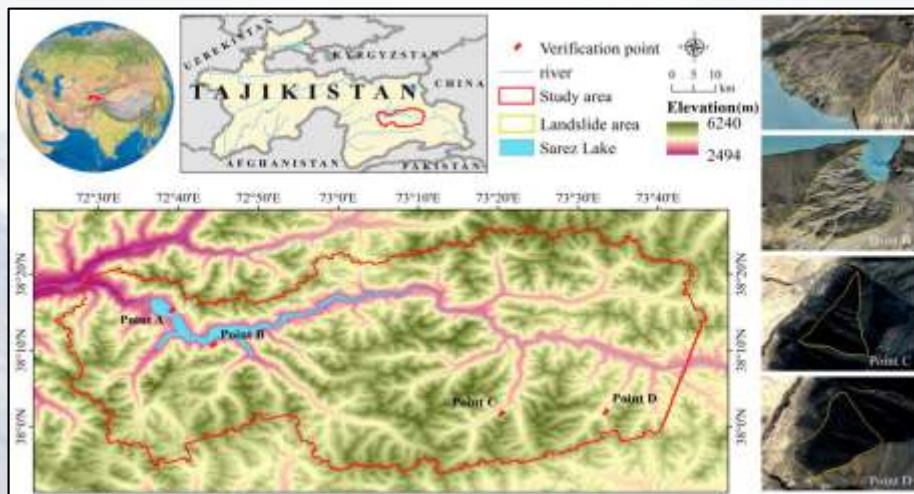
Исследование экзогенных процессов района озера Сарез / Study of exogenous processes in the Sarez Lake region



Выделены зоны различной степени опасности: участки высокой восприимчивости сосредоточены по флангам, тогда как центральная часть относительно стабильна. Полученные результаты позволяют выделить приоритетные зоны мониторинга (прибрежные склоны и разломы) и могут быть использованы для систем раннего предупреждения.

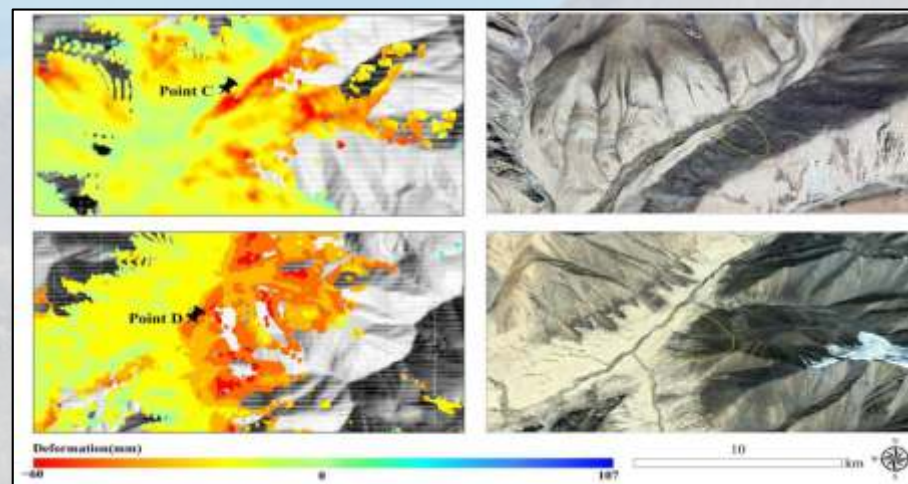
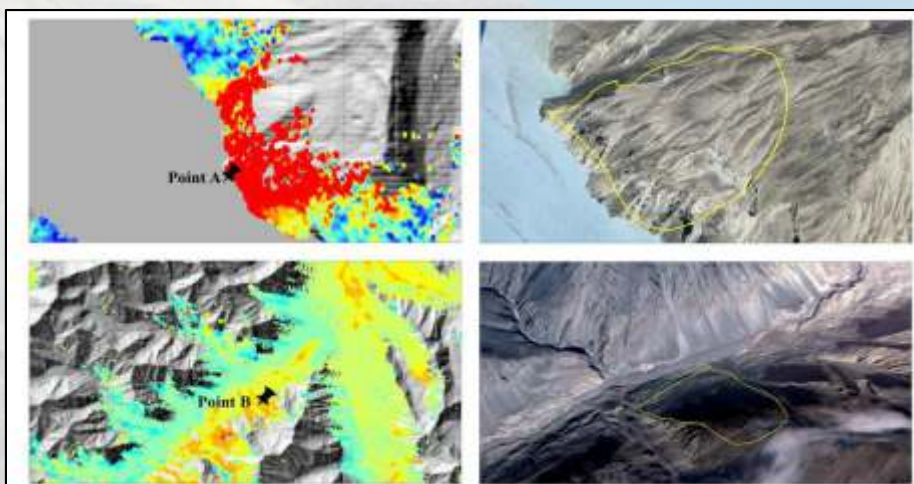
Zones of varying susceptibility were identified: high-risk areas are concentrated along the flanks, while the central part remains relatively stable. These results highlight priority monitoring areas - coastal slopes and fault zones - and can support early warning systems.

Прогноз деформационных и оползневых явлений (InSAR + LSTM) / Deformation and Landslide Forecasting (InSAR + LSTM)

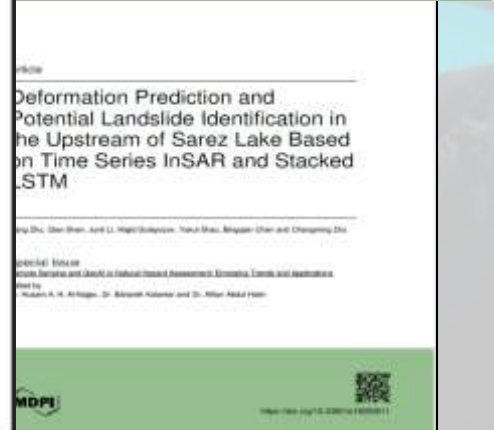
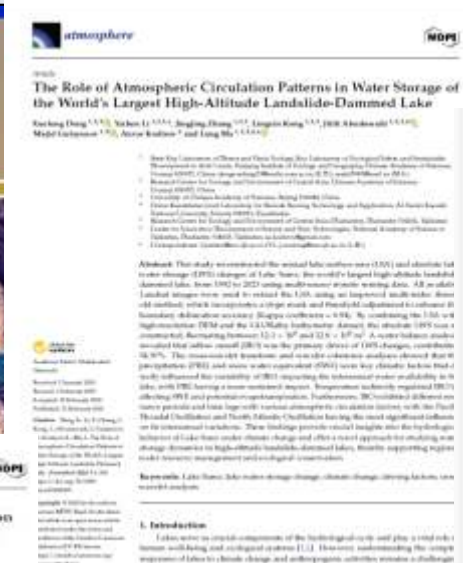
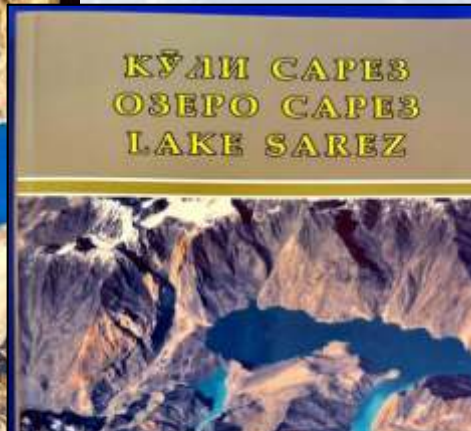


На основе временных рядов InSAR и модели LSTM выполнено прогнозирование деформаций и выявление оползневых зон в верховьях Сарезского озера. Выявлена пространственная неоднородность: наиболее активный участок - правый берег (до 49 мм/год), тогда как Усойский завал остаётся относительно стабильным. Обнаружено 72 потенциальных оползней, из них 4 - с высокой активностью (>30 мм/год). Метод обеспечивает точный кратко- и среднесрочный прогноз и позволяет выделить приоритетные зоны мониторинга и раннего предупреждения.

Using InSAR time series and an LSTM model, deformation forecasting and landslide-prone areas were identified in the upper Sarez Lake region. Spatial heterogeneity was observed: the most active zone is the right bank (up to 49 mm/year), while the Usoy dam remains relatively stable. A total of 72 potential landslides were detected, including 4 highly active sites (>30 mm/year). The approach provides accurate short - and medium-term forecasts and supports prioritization of monitoring and early warning zones.



Публикация результатов исследования и мониторинга Сарезкого озера и Усойской плотины сотрудниками Научно-исследовательского центра экологии и окружающей среды Центральной Азии (Душанбе) /
 Publication of the Results of Research and Monitoring of Sarez Lake and the Usoy Dam by Researchers of the Research center for ecology and environment of Central Asia (Dushanbe)



Заключение

Сарезское озеро, сформировавшееся 115 лет назад в результате землетрясения, стало не только уникальным природным объектом, но и научной лабораторией под открытым небом. Расположение озера в высокогорной зоне Памира, его огромный объём воды, сложное строение окружающих горных склонов и высокая сейсмичность территории требуют, чтобы озеро находилось под постоянным контролем как через действующую систему мониторинга, так и через её усиление и модернизацию путём внедрения более современных технологий - аэрокосмической съёмки высокого разрешения, автоматизированных сенсоров измерения уровня воды, георадиолокация и сейсмического зондирования. Комплексные исследования, проводимые с использованием инновационных методов дистанционного зондирования (БПЛА, космические снимки, глобальная навигационная спутниковая система), позволяют глубже понять процессы в горных регионах и своевременно оценивать природные риски. Важно, чтобы в направлениях научных исследований и мониторинга были учтены следующие аспекты:

- Геомеханика и фильтрационная динамика Усойского завала – комплексное изучение стабильности и динамики плотины с применением георадиолокации и сейсмического зондирования для прогнозирования изменений и рисков; исследование сезонных изменений фильтрации воды, их связи с промерзанием и оттаиванием плотины, а также возможности прогнозирования этих изменений по температурным данным; анализ влияния землетрясений на скачкообразное возрастание проницаемости с выявлением преобладающих механизмов (раскрытие трещин, выщелачивание, переупаковка обломков) и определением необходимости проведения специальных экспериментов для дифференциации этих механизмов.

Conclusion

Sarez Lake, formed 115 years ago as a result of an earthquake, has become not only a unique natural object, but also an open-air scientific laboratory. The location of the lake in the high-mountain Pamir region, its enormous water volume, the complex structure of the surrounding mountain slopes, and the high seismicity of the area require that the lake remain under continuous observation through both the existing monitoring system and its further strengthening and modernization by introducing advanced technologies, including high-resolution aerospace surveys, automated water-level sensors, ground-penetrating radar, and seismic sounding. Comprehensive studies carried out using innovative remote sensing methods (UAVs, satellite imagery, and global navigation satellite systems) make it possible to better understand processes occurring in mountainous regions and to assess natural hazards in a timely manner. It is important that the following aspects be taken into account in future scientific research and monitoring activities:

- Geomechanics and filtration dynamics of the Usoy dam - comprehensive investigation of the stability and dynamics of the dam using ground-penetrating radar and seismic sounding methods for forecasting possible changes and risks; study of seasonal variations in water filtration, their relationship with freezing and thawing processes within the dam body, and the possibility of predicting these changes using temperature data; analysis of the influence of earthquakes on abrupt increases in permeability, including identification of the dominant mechanisms (fracture opening, leaching, and debris rearrangement), as well as determining the necessity of conducting special experiments to differentiate these mechanisms.

- Мониторинг водного баланса и гидроклиматических условий - восстановление Пшартского гидрологического поста на реке Маргоб - основного источника питания озера для точного контроля объёма притока воды; организация комплексного изучения таяния ледников, изменений климата и мерзлотных процессов в бассейне реки Маргоб с оценкой их влияния на водный баланс Сарезского озера.
- Геодинамика береговых склонов и постсейсмические процессы - систематическое наблюдение с использованием технологий высокоточного позиционирования за развитием склоновых обвально-осыпных процессов, активизирующихся в результате сейсмических воздействий в условиях высокой сейсмичности территории.

Междисциплинарное сотрудничество - объединение усилий специалистов в области геологии, сейсмологии, гидрологии, климатологии и экологии для выработки единой концепции долгосрочного мониторинга и оценки сейсмической опасности, изучения экзогенных геологических процессов, а также гидрологических и экологических наблюдений в районе озера Сарез. Только путём решения выше отмеченных научно-практических задач, организации технологически оснащённого непрерывного мониторинга (георадиолокация, сейсмические станции, автоматизированные системы измерения уровня воды, дистанционное зондирование) можно достичь снижения риска природных опасностей и устойчивого развития Памира. Следовательно, дальнейшее изучение Сарезского озера и постоянный мониторинг Усойской плотины имеют ключевое научно-практическое значение.

- Monitoring of water balance and hydroclimatic conditions - restoration of the Pshart hydrological station on the Margob River, the main source feeding the lake, for accurate control of water inflow volumes; organization of integrated studies of glacier melt, climate change, and permafrost processes within the Margob River basin, with assessment of their influence on the water balance of Sarez Lake.
- Geodynamics of coastal slopes and post-seismic processes - systematic observation using high-precision positioning technologies to monitor slope collapse and talus processes activated by seismic impacts under conditions of high regional seismicity.

Interdisciplinary cooperation - integration of efforts by specialists in geology, seismology, hydrology, climatology, and ecology to develop a unified concept for long-term monitoring and seismic hazard assessment, investigation of exogenous geological processes, and hydrological and environmental observations in the Sarez Lake region. Only through addressing the above-mentioned scientific and practical tasks and organizing a technologically advanced continuous monitoring system (ground-penetrating radar, seismic stations, automated water-level monitoring systems, and remote sensing technologies) will be possible to reduce natural hazard risks and ensure the sustainable development of the Pamir region. Therefore, further investigation of Sarez Lake and continuous monitoring of the Usoy dam are of key scientific and practical importance.

Участники экспедиции 2017 г. / Participants of the 2017 Expedition



Участники экспедиции 2021 г. / Participants of the 2021 Expedition



Участники экспедиции 2022 г. / Participants of the 2022 Expedition



Участники экспедиции 2025 г. / Participants of the 2025 Expedition



Рабочие моменты экспедиции на озере Сарез / Field activities of the expedition at Lake Sarez



Рабочие моменты экспедиции на озере Сарез / Field activities of the expedition at Lake Sarez





Обвальнный склон, сформировавший Усойский завал
Slope collapse zone that formed the Usoi Dam



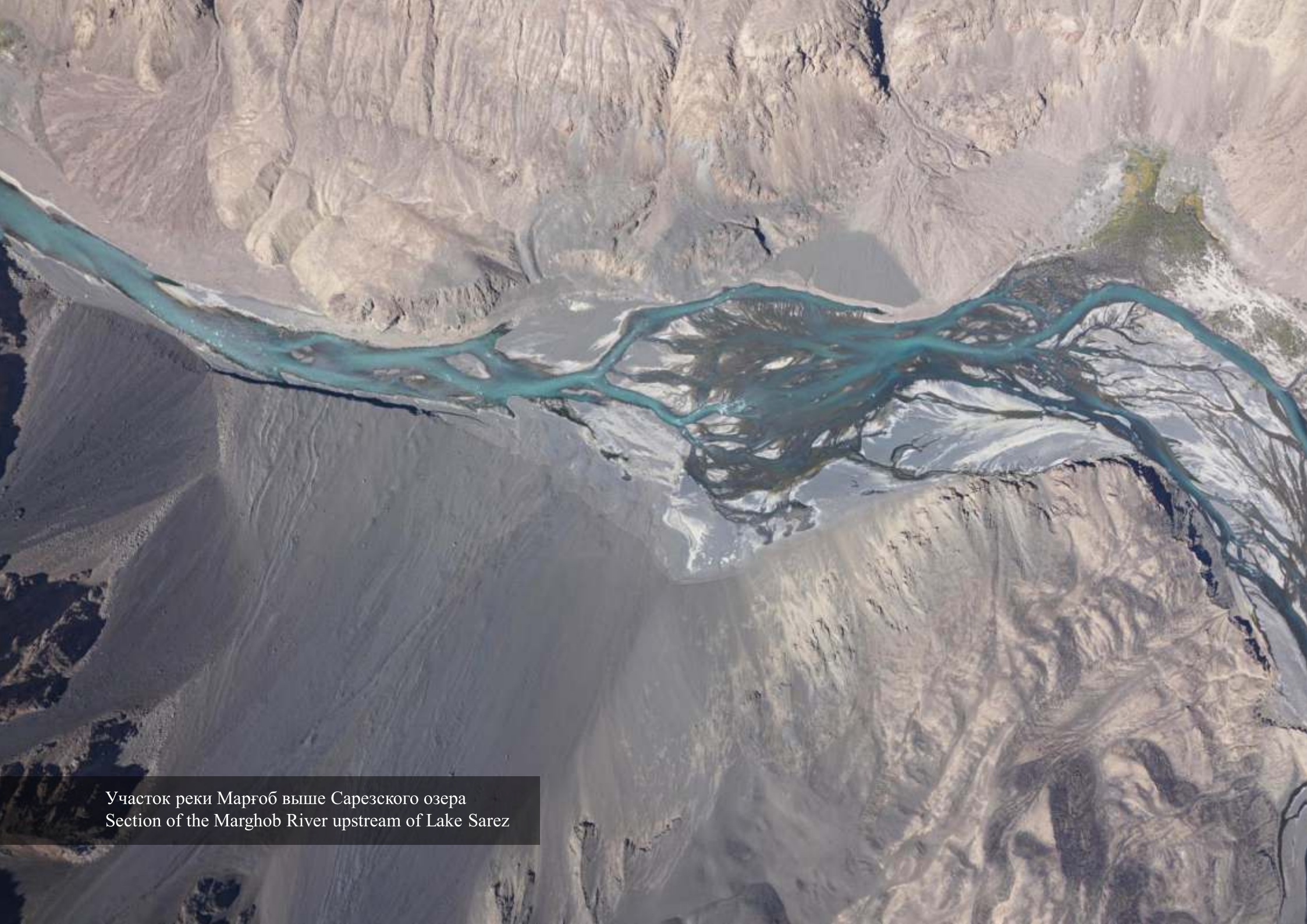
Аэрофотоснимок базы КЧС и ГО на Усойском завале
Aerial photograph of the Emergency Committee base on the Usoy Dam



База геологов
Geologists' base



Панорамный вид на озеро Сарез
Panoramic view of Lake Sarez



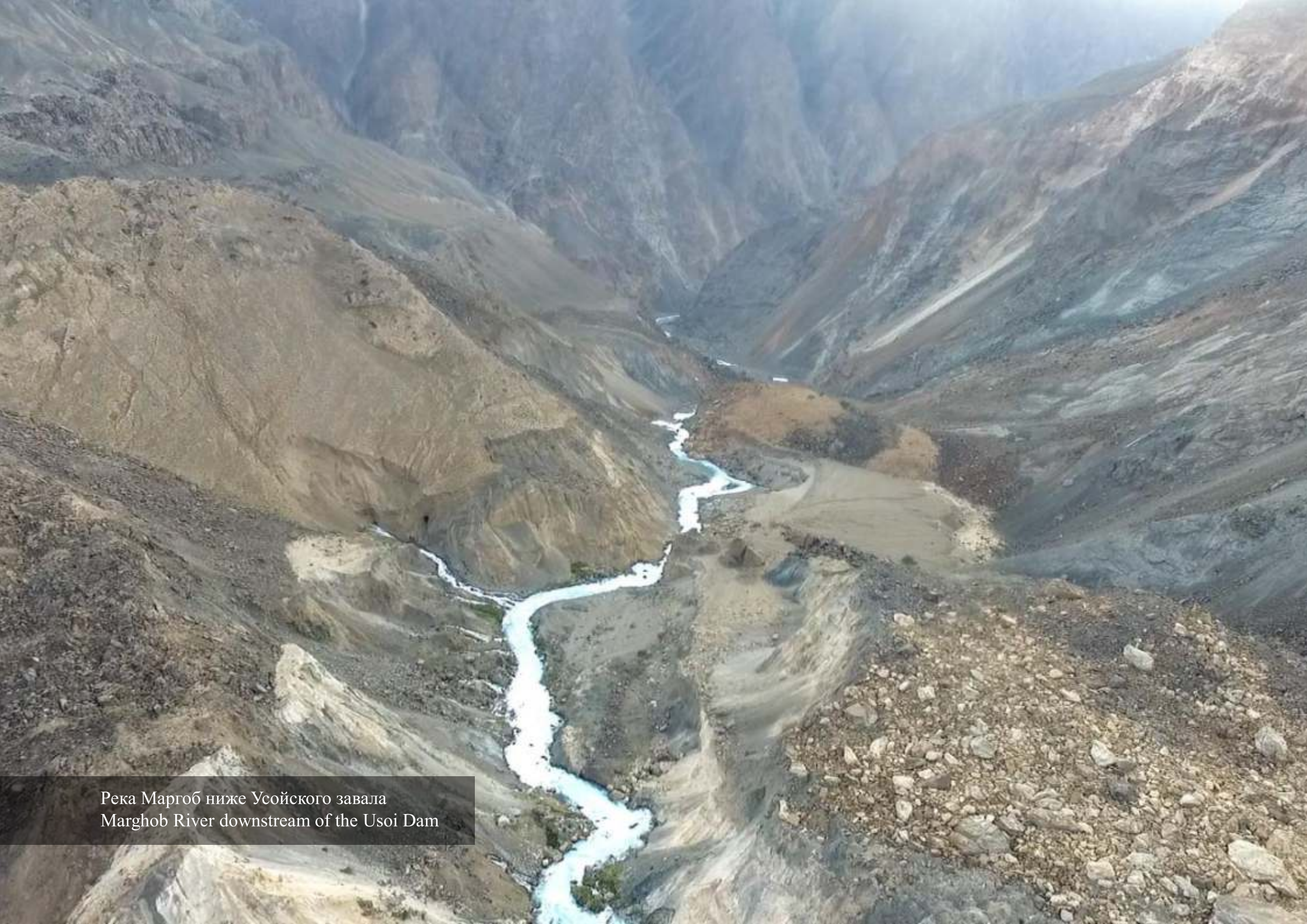
Участок реки Маргоб выше Сарезского озера
Section of the Marghob River upstream of Lake Sarez



Река Лангар
Langar River



Фильтрационный поток через тело Усойского завала
Seepage flow through the body of the Usoi Dam



Река Маргоб ниже Усойского завала
Marghob River downstream of the Usoi Dam



Озёрo Капез
Sarez Lake



ОЗЕРО САРЕЗ

(115 лет со дня образования)

SAREZ LAKE

(115 years since its formation)

Составители: Гулаёзов М.Ш., Мамаджанов Ю.,
Камолзода Дж. Дж., Аюбзода Э., Охонниёзов М.В.

Адрес: Республика Таджикистан, 734063, г. Душанбе, ул. Аини, 267

Тел.: + 992 225 78 16

Эл. почта: rceeca.dushanbe@gmail.com

Prepared by: Gulayozov M.Sh. , Mamadzhanov Yu. ,
Kamolzoda J.J. , Ayubzoda E. , Okhonniyozov M.V.

Address: Republic of Tajikistan, 734063, Dushanbe, Aini Street 267

Tel.: +992 225 78 16

E-mail: rceeca.dushanbe@gmail.com