

*Дайыров М.А., Молдобеков Б.Д.,  
Усунаев Ш.Э., Нарама Ч.*

**КЫРГЫЗ АЛА-ТООСУНУН БИЙИК ТООЛУ  
МӨҢГҮ КӨЛДӨРҮНҮН ИНВЕНТАРИЗАЦИЯСЫНЫН  
АБАЛЫ ЖАНА ДИНАМИКАСЫ**

*Дайыров М.А., Молдобеков Б.Д.,  
Усунаев Ш.Э., Нарама Ч.*

**ИНВЕНТАРИЗАЦИЯ СОСТОЯНИЯ И  
ДИНАМИКА ВЫСОКОГОРНЫХ ЛЕДНИКОВЫХ  
ОЗЕР КЫРГЫЗСКОГО ХРЕБТА**

*M.A. Daiyrov, B.D. Moldobekov,  
Sh.E. Usupayev, Ch. Narama*

**INVENTORY OF THE STATUS AND  
DYNAMICS OF HIGH-MOUNTAIN GLACIAL LAKES  
IN THE KYRGYZ RIDGE**

УДК: 622.4/6(574.2)

Аралыктан байкоо ыкмасын колдонуу менен спутниктен алынган сүрөттөрдү пайдаланып инвентаризация кылуу Кыргыз Алатоосундагы мөңгү көлдөрүнүн азыркы абалын түшүнүүгө жана алардын динамикасын изилдөөгө мүмкүнчүлүк берет. Жыйынтыгында, жаңы ыкманын негизинде, азыркы учурдагы көлдөрдүн саны, жайгашышы, аянттары жана бийиктиктери тууралуу маалыматтар алынды жана жарылуу коркунучу бар көлдөр тандалып алынып, аларга жеринен изилдөөлөр жүргүзүлдү. ГИС программасынын жардамы менен ар кайсы жылдары тартылган космостук сүрөттөр анализденип, изилденип жаткан мөңгү көлдөрүнүн динамикасынын картасын түзүү үчүн жана эволюциясын изилдөө үчүн фотодокументтер алынды. Биздин изилдөөлөр көрсөткөндөй, 2008-жылдан 2018-жылдар аралыгында, Кыргыз Алатоосунун мөңгү көлдөрүнүн динамикасында ири өзгөрүүлөр болуп, көп сандаган жаңы көлдөр пайда болгон. Көлдөрдүн динамикасындагы мындай ири өзгөрүүлөр келечекте алардын жарылуу ыктымалдуулугу жогору экендигин көрсөтүп турат.

**Негизги сөздөр:** жарылуу коркунучу бар дамбалар, бийик тоолуу көлдөр, аралыктан байкоо, көлдөрдүн өзгөрүшү, мөңгүлөрдүн азайышы, дарыя алабтары, эрүү.

Инвентаризации с использованием высоко точных космоснимков и методов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), позволяют оценить состояние ледниковых озер и их динамику на примере исследованного Кыргызского хребта. По данным ДЗЗ нами выявлены количество, место нахождения, площадь и высота расположения ледниковых озер, а на основе дистанционных спутниковых данных выбраны потенциально более прорывоопасные горные озера, по которым проведена оценка их состояния, устойчивости дамбы этих озер наземным путем. На основе ГИС анализа разных по годам их получения космоснимков получены фотодокументы для составления карт динамики и эволюции исследованных горных озер. Результаты наших исследований показали, что динамика озера Кыргызского хребта сильно варьировались и образовались многие новые озера с 2008 по 2018 годы. Такие сильные изменения в динамике этих озер показывают высокие вероятности прорыва в будущем.

**Ключевые слова:** прорывоопасные плотины, горные озера, дистанционное зондирование, трансформация озер, деградация ледников, речные бассейны, таяние.

Using high-resolution satellite images and remote sensing methods, allows assessing the state of glacial lakes and their dynamics in Kyrgyz Range. According to the remote sensing data, we identified the number, location, area and altitude of glacial lakes, and based on remote satellite

*data, we selected potentially more dangerous glacial lakes, which we assessed the stability of the lake-dam in the field-work. GIS-based analysis of various satellite images have obtained image data to make map of glacial lakes and to research evolution of glacial lakes. The results showed, that the variation of glacial lakes in Kyrgyz Range were very high and many glacial lakes appeared new between 2008 and 2018. Such strong variations of glacial lakes shows high probability of outbursts in the future.*

**Key words:** *dangerous dams, mountain lakes, remote sensing, lake transformation, glacier degradation, river basins, melting.*

**Введение.** За последние десятилетия прорывы высокогорных озер стали одним из наиболее разрушительных стихийных бедствий в Кыргызском хребте. Множество прорывов произошло в 1960, 1970 и 1980 гг., принося значительные экономические ущербы и жертвы [1].

За последние десять лет произошло несколько прорывов плотин горных озер, так 5 июня 2009 года по долинам Такыртор-Узунгыр Ноорус прошел мощный селевой поток. Он образовался при прорыве морено-ледникового озера в верховьях долины Такыртор, и оставил после себя глубокие промоины, рытвины, навалы грубообломочного материала и поля залитые песчано-гравийно-суглинистой селевой суспензией. В 2012 году 31 июля в полдень в ущелье р.Адыгене, прорвалось озеро Тез-Тор [2].

К последним прорывам относится прорыв озера Челектор 08 августа 2017 года расположенного в верховье р. Нооруз. При прорыве, селевые потоки с камнями и грязью перекрыли дорогу, разрушен был мост и пострадали сельскохозяйственные угодья.

Причины прорывов ледниковых озер в горах Гималая и Тянь-Шаня и оценка их ущерба разными учеными в прошлом показали, что масштаб ущерба не зависит от площади и объема ледниковых озер, т.е. даже по площади маленькие озера могут причинить большой ущерб. Поэтому здесь важная задача изучить текущее состояние плотины и условия наполнения и разгерметизации ледниковых озер.

**Методы инвентаризации высокогорных ледниковых озер и их динамика.** Инвентаризацию ледниковых озер Кыргызского хребта проводили с применением космических снимков Landsat 7 ETM+, Landsat 8/OLI b Sentinel-2 снятых с 2008 по 2018 гг. На улучшенной обработанной по программе Geomatica PCI-2016 пан-шарпен снимке, составлены полигоны данных ледниковых озер в виде шейп-файла с минимальными их площадями (1000 м<sup>2</sup>), а с помощью программы ArcGIS 10.2 были для инвентаризации отобраны озера, расположенные внутри моренно-ледникового комплекса.

Каталог горных прорывных озер включает в себя ID озер, координаты, наименование речных бассейнов, названия снимка, типа озер, площади и высота расположения озер. По характеру динамики ледниковых озер выделены были 5 их типов: 1) – стабильный, (2) – увеличение, (3) – уменьшение, (4) появились и (5) – исчезли.

Соответственно размеров горных озер выделены 3 их типа. Названия рек и их бассейнов взяты из карт топооснов Кыргызской ССР масштаба 1:250 000, а границы выбранных полигонов и характеристики горных прорывных озер получены из космоснимков. В западной части Кыргызского хребта в бассейне р.Ашмара нами рассмотрены изменения динамики горного озера Ашмара на основе космоснимков.

**Район исследования.** Горная система Тянь-Шаня вытянута с запада к востоку на 2500 км и включает в себе несколько орографических областей, где нами были более детально исследованы Северный Тянь-Шань представленный Кыргызским, Кунгейским и Тескейским хребтами (рис. 1) [3].

Указанные хребты расположены в северной части Кыргызстана и субширотно протянуты на 540 км. Средняя высота хребта составляет около 3000-4000 м. В целом, климат этих горных систем резко континентальный. С увеличением высот температура понижается, а количество осадков увеличивается [4].



Рис. 1. Карта распространения высокогорных ледниковых озер Кыргызского хребта.

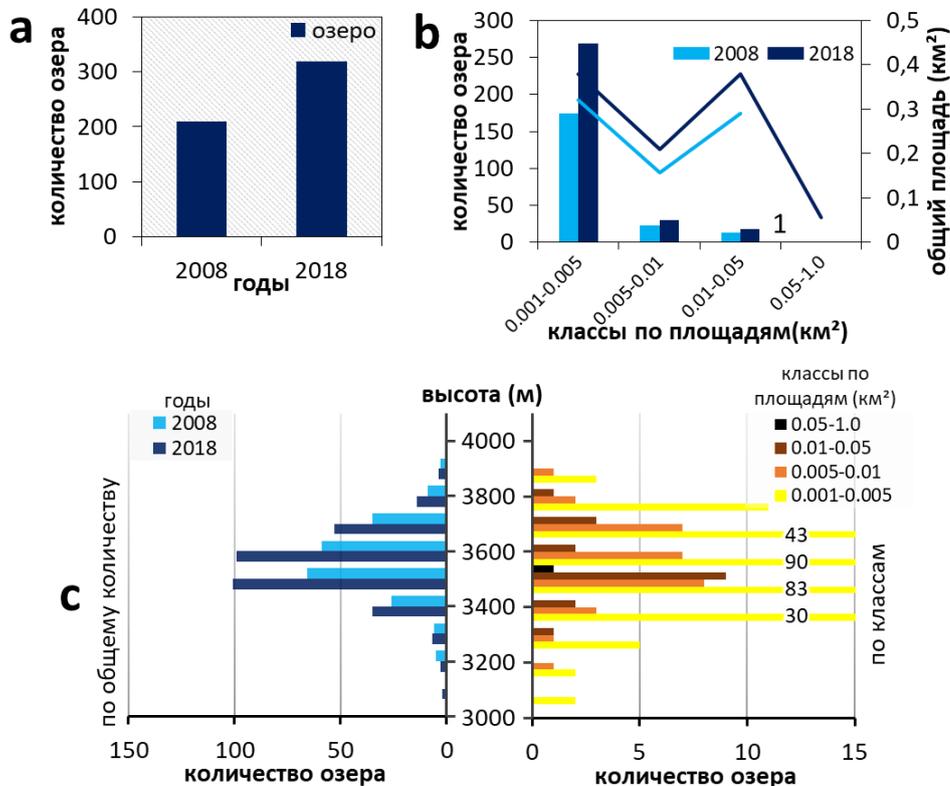
Ледники на северном Тянь-Шане накапливаются весной, когда выпадает максимум осадков, что приходится на май-август месяцы. Почти все речные бассейны Кыргызского хребта питаются в основном талыми водами снегов и ледника [5]. Интенсивность сокращения площади ледников на Кыргызском хребте только по бассейну Ала-Арчи по данным Болч [6] с 1964 по 2010 гг. составил 18%

**Результаты.** Вследствие ГИС исследования на Кыргызском хребте выявлены 318 ледниковых горных озер с площадью зеркала воды больше 1000 м<sup>2</sup>, где озера с площадью меньше 10 тыс. м<sup>2</sup> составляют 80% от исследованных озер. В 2008 году основные ледниковые озера были сконцентрированы в западной, центральной и восточной частях Кыргызского хребта. Крупные 4 горных озер с площадями зеркала воды 0,01-0,05 км<sup>2</sup> расположены в бассейне рек: Жардыкайынды (1), Сокулук (1) и Ала-Арча (2). В 2018 году число ледниковых озер значительно увеличилось по всему хребту и крупных озер составило 6 в бассейнах рек: Ашмара (1), Жар-

дыкайынды (1), Сокулук (1), Ала-Арча (2) и Кызылсуу (1). Анализ показал, что количество прорывоопасных высокогорных озер в 2008 г. составило 210, а 2018 г. 318, т.е. увеличилось на 108 или до 11 в год (рис. 2а).

По размерам площади зеркала воды озера разделены на 4 класса (рис. 2b). К первому классу отнесены озера с площадью 0,001-0,005 км<sup>2</sup>, а ко второму 0,005-0,01 км<sup>2</sup>. Крупные озера с размерами 0,01-0,05 км<sup>2</sup> и 0,05-1,0 км<sup>2</sup> отнесены к третьей и четвертой классам. В 2008 году отсутствовал 4-ый класс, т.е. озера крупного размера с 0,05-1,0 км<sup>2</sup>. В 2008 и 2018 годы, первый класс (0,001-0,005 км<sup>2</sup>) составляло 85% от общих классов, а остальные три класса составил всего 17%.

Общая площади зеркала озер в 2008 и 2018 году была больше в первом и третьем классе. По высотным интервалам ледниковые озера расположены от 3100 до 3900 м. н.у.м (рис. 2с), а 2008 году на 3200 м. н.у.м.



**Рис. 2.** Статические данные высотного распределения количества ледниковых прорывных горных озер Кыргызского хребта. а) Сравнительная гистограмма количества ледниковых озер в 2008 и 2018 гг. б) Классы ледниковых озер выделенные по площадям и общая площадь зеркала воды озера. в) Высотного распределения высокогорных ледниковых озер по общему количеству и по классам.

Значительное число озер в 2008-2018 году расположены были в интервале высот 3500-3700 м. н.у.м., маленькие озера с площадями 0.001-0.005 км<sup>2</sup> в пределах 3400-3800 м., и среднего размера 0.005-0.01 км<sup>2</sup> сконцентрированы на высотах от 3500 до 3700 м. Горные прорывные озера с большими площадями зеркала воды расположены на 3300-3800 м., с максимальным пиком их числа на 3500 м.

На рисунке 3 приведены сравнительные данные высокогорных ледниковых озер 2008 г. с 2018 г. в их динамике по речным бассейнам.

В 2008 г., на северном склоне Кыргызского хребта (рис. 3В), наибольшая концентрация озер (от 15 до 40 озер) наблюдалось в бассейне рек: Ала-Арча, Аламудун, Ысыката и Шамшы. Второй по величине концентрации озер (от 4 до 15) являлись бассейны рек: Ашмара, Аксуу, Соку-

лук, Жыламыш, Норуз, Кегети, Кызылсуу и Конорчок. В пяти оставшихся речных бассейнах концентрация количества озер составило от 1 до 4. На южном склоне Кыргызского хребта в 2008 г. (рис. 3С) большинство озер сконцентрированы были в бассейне рек: Туюк-ала-Арча, Кегети и Шамшы, и в меньшей степени бассейне р.Маймылтор. По оставшимся 6 бассейнам рек имеется по одному ледниковому озеру.

В 2018 году на северном склоне Кыргызского хребта число речных бассейнов, которые высоки по величине ледниковых озер (от 20 до 44) стали 5, т.е. количество озер в речном бассейне Сокулук стали больше 20 в 2018 году (рис. 3 А.В). Речной бассейн Сокулук отнесен ко второй категории, в 2008 году. Также, в этом году число речных бассейнов ко вторым по величине ледниковых озер (7-20) стали больше

трех, т.е. эти речные бассейны Жардыкайынды, Чонкайынды и Кызылсуу. От 1 до 7 ледниковых озер имеется в трех речных бассейнах. По южному склону Кыргызского хребта, в 2018 году уже шесть речных бассейнов (от 2 до 4) имели большинство ледниковых озер (рис. 3С). Второе место по количеству ледниковых озер занимает речной бассейн Кегети, а остальные 3 речные бассейны имели по одному озеру. Анализ из-

менчивости численности и концентрации горных озер с 2008 по 2018 гг. позволили подразделить их по динамике развития на пять типов:

- 1 тип – стабильный;
- 2 тип – увеличения;
- 3 тип – уменьшения;
- 4 тип – появления;
- 5 тип – исчезновения (рис. 4).

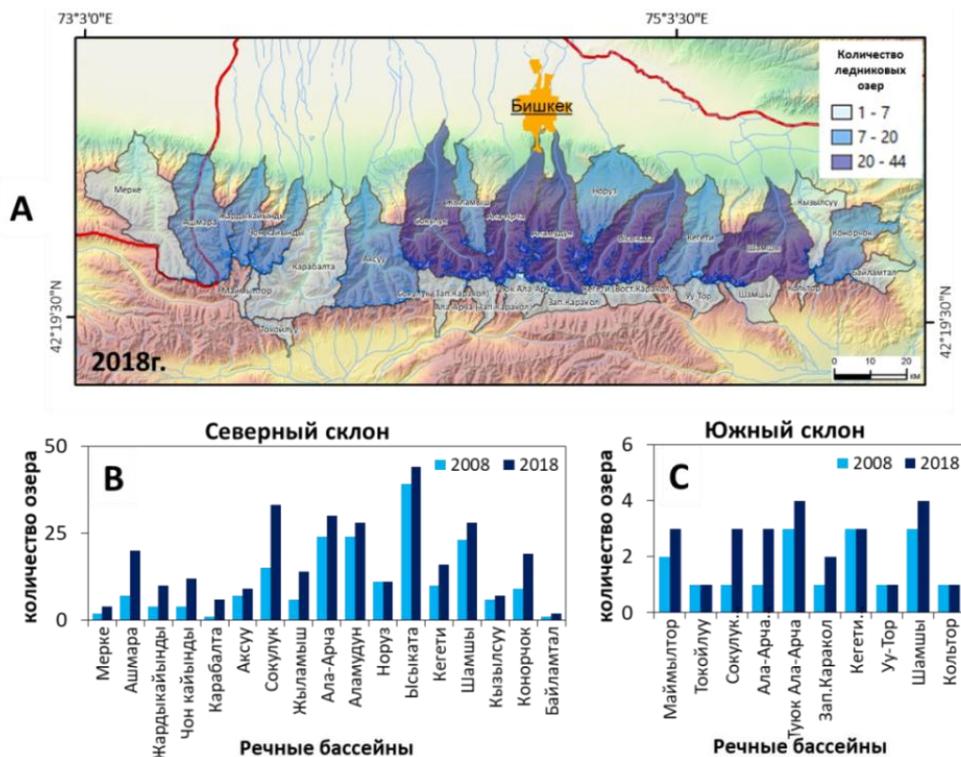


Рис. 3. Распределение высокогорных ледниковых озер по речным бассейнам на Кыргызском хребте в 2018 г. (А) и их количество на северном (В) и южном (С) склоне хребта.

К типу стабильных горных озер исследованных с 2008 по 2018 года, отнесены водоемы где динамика не проявлена. Второй тип горных озер – увеличения, означает наличие факта расширения площади зеркала воды озера. Третий тип горных озер – уменьшения, указывает с позиции их динамики фактическое сокращение площади зеркала воды озера в течение исследованных десяти лет. Четвертый тип горных озер – появления, относится к новым озерам образовавшимся в исследуемый период времени. На месте где отсутствует озера в 2008 году появились новые в 2018 году. А последний Пятый тип

горных озер – исчезнувшие, показан на рисунке 4-А черными кругами и указывает местоположение озер которые были на снимке в 2008 году, а исчезли в 2018 году.

Основное количество выделенных типов ледниковых горных озер расположены на северном склоне Кыргызского хребта (Рис. 4А), а на южном склоне их количество значительно меньше. При этом, значительное число ледниковых озер относятся к типу - проявившиеся их (132), затем по уменьшению количества тип – уменьшения (96), тип - увеличения (83), тип – исчезнувшие (24) и стабильные озера (7) (рис. 4В).

Стабильный тип ледниковых горных озер в основном расположены в центральной части северного склона Кыргызского хребта.

Ледниковые озера типа-увеличения, их 83, с 2008 по 2018 годы расположены равномерно по хребту. Площади у 22 озер типа - увеличения возросли от 3000 м<sup>2</sup> до 17430 м<sup>2</sup>, а у 61 озер площади расширились с темпами от 7 до 3000 м<sup>2</sup>. У 96 озер типа – уменьшения, которые расположены равномерно по Кыргызскому хребту, площади зеркала воды водоемов сократились с 2008 по 2018 гг. При этом из 96 горных озер типа-уменьшения, которые почти все (кроме одного) сконцентрированы в центральной части хребта, сильное сокращение площади зеркала воды наблюдались у 9 водоемов (от 3600 до 12000 м<sup>2</sup>). Озера типа-появления, расположены равномерно по склону Кыргызского хребта и их насчитывается 132. Озера горные типа-исчезнувшие,

расположены в западной и центральной части Кыргызского хребта и их количество (24).

На рисунке 4С представлен справа график высотного распределения различных типов ледниковых озер на северном склоне, которые расположены в интервале высот от 3100 м до 3800 м н. у. м., а слева на южном склоне от 3200 м до 3900 м, т.е. расположены выше чем на северном склоне. Концентрированная масса всех типов ледниковых горных озер на северном склоне занимают интервал высот от 3400 и 3600 м с их максимальным пиком на абсолютной отметке 3500 м., а на южном склоне их концентрация простирается от 3500 м до 3800 м. Большинство увеличившихся озер сконцентрированы на высотном интервале между 3400 и 3800 м. Здесь увеличение площади озер варьировался от 7 до 8000 м<sup>2</sup>. озера с крупными расширениями расположены на высоте 3500 м.

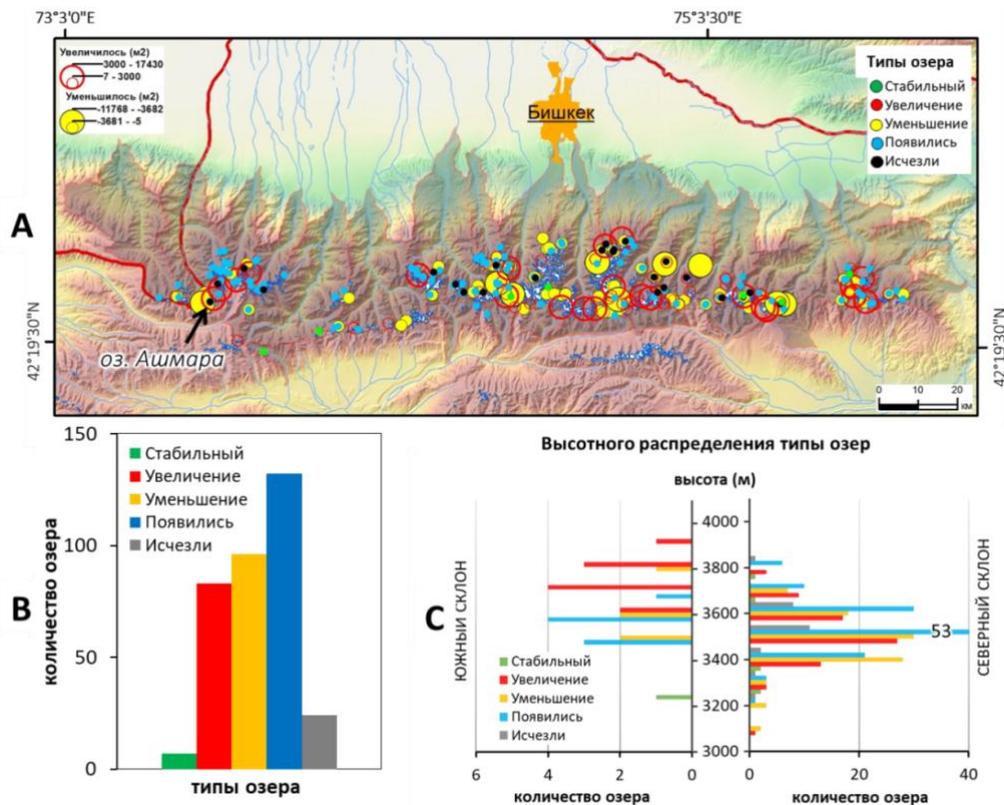


Рис. 4. А) Карта расположения пяти динамических типов высокогорных ледниковых озер за период времени с 2008 по 2018 гг. и (Б) особенности распределения их количества и (С) высотного размещения в виде гистограмм.

## ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ КЫРГЫЗСТАНА, № 1, 2019

Большинство уменьшающиеся площади озер (от 5 до 4000 м) расположены на высотном интервале от 3400 до 3800 м., а где произошли большие уменьшения площади озер расположены на высоте 3500 м.

Крупное уменьшение площади озер имеет место в верховье бассейна р. Сокулук. А самые крупный рост площади и объема оз. Ашмара произошло в верховье бассейна р. Ашмара в

западной части Кыргызского хребта (рис. 5). Площадь оз. Ашмара в 2008 году составил 9002,7 м<sup>2</sup>, а в 2018 году увеличился на 20531,78 м<sup>2</sup>, т.е. в 3 раза и площадь озера составило 2934,57 м<sup>2</sup>. С 2008 по 2010 годы площадь озера расширялось в среднем на 354 м<sup>2</sup>. С 2011 года увеличение площади в озере резко ускорилось и в среднем с 2010 по 2012 годы составляло 2267 м<sup>2</sup> в год.

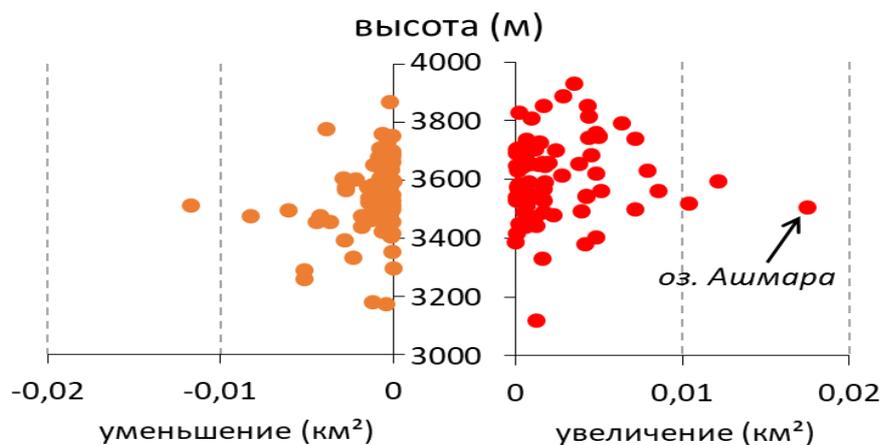


Рис. 5. График сравнительного расположения и высотного соотношения динамики типов – горных озер увеличения (справа) и уменьшения (слева) за период с 2008 по 2018 гг.

Значительное расширение площади озер наблюдалось между 2013 и 2014 годами и в среднем расширение их площади произошло на 4468 м<sup>2</sup>. Максимальный пик расширения площади озер наблюдалась в 2014 году на 5529,6 м<sup>2</sup>. А затем, с 2015 по 2018 годы расширение площади зеркала воды в озере постепенно замедлилось и в среднем составляло 1887,8 м<sup>2</sup> в год. Для выявления связи резкого расширения площади и объемов воды в озерах провели сравнение с данными температурных изменений по метеорологической станции Тоо-Ашуу расположенной на высоте в 3200 м н.у.м. (рис. 6А).

Для анализа использованы средние температуры воздуха за четыре месяца (май-август) за период времени с 2008 по 2018 гг. Результаты исследований показали, что в 2013-2014 годы максимальные пики расширения площади и объемов воды в озерах, одновременно наблюдались высокие значения температур. Если про-

следить во времени в 2008 году наблюдалась высокая средняя температура воздуха и ускорилось расширение площади зеркала воды в озерах.

В 2009 и 2010 годах средняя температура воздуха варьировала незначительно и площадь расширения горных озер также было маленькое. Однако с 2011 года величина температуры начала расти вверх до 2015 года и это повлияло на сильное расширение площади озер. С 2016 года средняя температура воздуха начал падать и вследствие этого расширение в озере значительно замедлилось. Также нами рассматривалась ось таяния ледника Ашмара, чтобы понять насколько оно повлияло на расширение площади в оз. Ашмара (рис. 6В).

С 2008 по 2018 года общая площадь ледника сократилась на 22152,7 м<sup>2</sup>. Между 2008 и 2012 годы язык ледника сократился на 5284,5 м<sup>2</sup>, а с 2013 по 2015 гг. сократилась на 7479,6 м<sup>2</sup>,

а между 2016 и 2018 годами было сокращение на 5686,7 м<sup>2</sup>. Самое значительное сокращение языка ледника приходится на 2013-2015 гг., что указывает, а повышение температуры воздуха,

который наблюдался в 2013-2014 годы, т.е. есть имеется прямое влияние на высокое таяния ледника произошедшего за 2013-2015 годы.

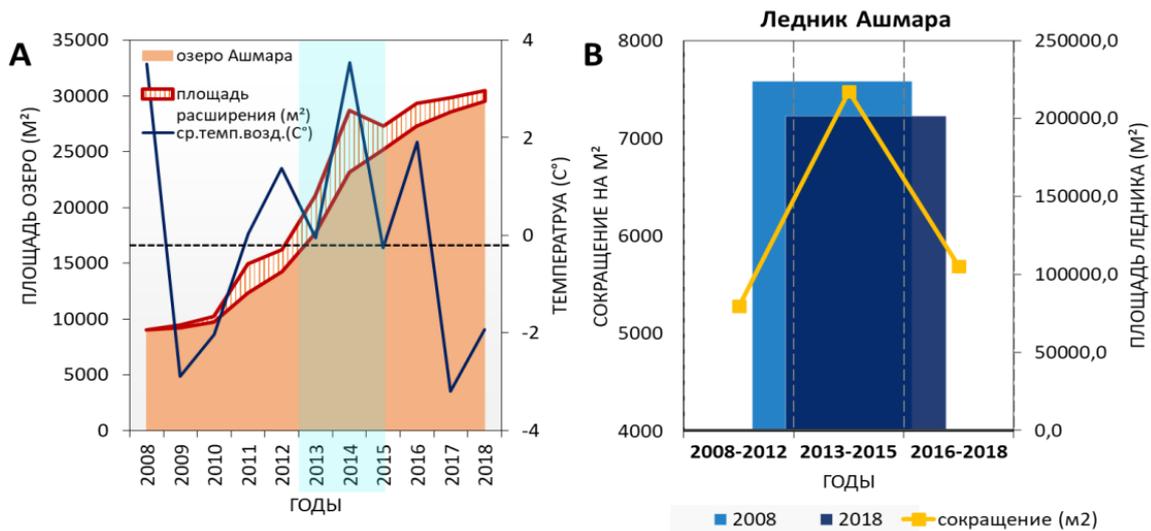


Рис. 6. Изменения динамики роста площади зеркала воды озера Ашмара (А) и сокращения площади ледника Ашмара (В) от температуры за период времени с 2008 по 2018 гг.

**Дискуссия.** Как показывали наши исследования, в связи с дальнейшим отступанием ледников, ожидается появление многочисленных новых высокогорных озер. Так, за последние 10 лет (2008-2018 гг.) число гляцио-моренных озер выросло в 2 раза. Причем большинство гляцио-моренных озер по площади увеличиваются и высоко сконцентрированы на северном склоне Кыргызского хребта. Динамика исследованных гляцио-моренных озер весьма изменчива и они распределены по всему Кыргызскому хребту и вполне вероятны их прорывы в будущем. Особенно опасны гляцио-моренные озера, где площади зеркала воды и их объемы сильно увеличились, а также новые горные озера которые появились с высокими рисками. Например, динамика оз. Ашмара, ее расширение идет значительно быстро на фоне изменения климата и вследствие таяния ледника.

Размеры ледниковых озер Кыргызского хребта небольшие по сравнению с озерами Гималаи, однако динамика этих маленьких озер сильно варьировалась в течение последних де-

сяти лет. За такой очень маленький срок времени крупные горные озера Гималая и Анд, и их динамика формирования развивается медленнее, поэтому ряд из них появилось с 1960 г. В отличие от Гималаев и Анд, на Кыргызском хребте за очень короткий период времени появились очень много гляцио-моренных озер. Несмотря на маленькие размеры, в прошлом такие озера образовали катастрофические прорывные сели и нанесли огромный ущерб.

В настоящее время высокогорные гляцио-моренные озера Кыргызского хребта сохраняют риски и несут угрозы прорыва. Для снижения георисков от вышеуказанных горных озер, необходимо проводить инвентаризацию озер с применением новых высокоточных космоснимков ежегодно, а затем наиболее опасные из них исследовать детально наземным путем.

Дистанционный метод, особенно высокоточные снимки, такие как японский снимки ALOS, европейские снимки Sentinel-2 позволят определить точное местонахождение озер и проследить за их гидродинамикой. Одновременно

предлагаемый ДЗ и ГИС метод позволяет сэкономить время и снизить материальные затраты. При опасности прорыва гляцио-моренных озер для снижения их уровня рекомендуется спасательными службами МЧС КР проводить спуск воды сифонным способом.

#### **Заключение.**

1. В результате составлен каталог озер с указанием места нахождения, площади и высоты расположения ледниковых озер. На Кыргызском хребте по данным 2018 года расположены 318 высокогорных моренно-ледниковых и ледниковых озер. Основная часть озер Кыргызского хребта расположена в высотном интервале между 3400 и 3700 м над уровнем моря.

2. Составлена карта количества озер на Кыргызском хребте. Центральная часть Кыргызского хребта является уязвимым. Будущие исследования должны фокусироваться на тех озерах, где имеется нестационарная динамика и в которых проявляются периодичность и внезапные прорывы.

#### **Литература:**

1. Кубрушко С.С., Ставиский Я.С. Гляциальные озера Киргизии и их роль в формировании селей. / *Материалы гляциологических исследований* №32. - М.: 1978. - С. 59-62.
2. Daiyrov M. Karamoldoev J. Assessment of modern state and natural precondition of Tez-Tor Lake outburst (Ala-Archa river basin) (Abstract). *Proceedings of International Conference on Eurasian Mountain's Cryosphere*. December 13-15, 2012, Almaty, Kazakhstan, 2012. - PP. 30- 31.
3. Горы Кыргызстана. - Бишкек: «Технология», 2001. - С. 56-57.
4. Климат Киргизской ССР. - Фрунзе: Илим, 1965. - 249 с.
5. Усупаев Ш.Э., Оролбаева Л.Э., Атыкенова Э.Э. ИГН модели трансформирования георисками водного характера геогидросферы горных стран. / *Республиканский научно-теоретический журнал «Известия вузов Кыргызстана»*, №10. - Бишкек, 2015. - С.28-34.
6. Bolch T. 2015. Glacier area and mass changes since 1964 in the Ala Archa Valley, Kyrgyz Ala-Too, northern Tien Shan. *Лёд и Снег*. 2015. №1(129).

**Рецензент: к.геол.-мин.н. Ормуков Ч.**