

*Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек уулу Н., Чонтоев Д.Т.*

## КЫРГЫЗ ТОО КЫРКАСЫНЫН ТҮНДҮК БООРУНДАГЫ КӨЛДӨРГӨ ЖЫРЫЛЫП КЕТҮҮ УЧУРУН АНЫКТОО МАКСАТЫНДА МОНИТОРИНГ ЖҮРГҮЗҮҮ

*Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек уулу Н., Чонтоев Д.Т.*

## МОНИТОРИНГ ВЫСОКОГОРНЫХ ОЗЕР СЕВЕРНОГО СКЛОНА КИРГИЗСКОГО ХРЕБТА С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОРЫВООПАСНОГО ПЕРИОДА

*V.V. Zaginaev, S.A. Erokhin, Kubanychbek uulu N., D.T. Chontoev*

## MONITORING OF THE HIGH MOUNTAIN LAKES OF THE NORTHERN SLOPE OF THE KYRGYZ RANGE TO DETERMINE THE POTENTIAL DANGEROUS PERIOD

УДК:551.332.53

Климаттын өзгөрүшү тоолуу көлдөрдүн өнүгүшүнө терс таасирин тийгизет, бул түбөлүк интенсивдүү эрүү чагылдырылган, дамба көлдүн жок кылуу. Дагы катуу бороон жаан бийик тоолуу аймакта, ал кошумча нерсе салым мөңгү эрүү. Кыргыз тоо кыркасынын ар кандай генездеги көлдөрдүн жүздөгөн түзүлгөн, алардын ичинен он туруксуз дам сындырып, ошондой эле буга чейин бар көп кесепеттери жетишкендиктер кырсык болду тоолуу жана тоо этегиндеги түздүгүндө тургундары үчүн. Күтүлбөгөн кыйроонун жарылып сынган мисалы, көлдөр, Четенды (Жерүй) 2013-жылы жана 2017-жылы Челектор бир жолу далилдөөдө иштеп чыгуу жана жетишкендиктер тоонун табияты ошол кооптуу көл түшүнүүгө дагы көп бар. Ошондуктан, алдыга мөөнөтүн аныктоо үчүн, сен аларды өнүктүрүүнүн туруктуу мониторинг менен көл комплекстүү изилдөө керек.

**Негизги сөздөр:** көлдөрдүн жырылыштары, жетишкендиктер коркунучтуу көл, Кыргыз тоо кыркасы Адыгене, климаттын өзгөрүүсү, температура божомолу, алдын алуу.

Изменение климата негативно сказывается и на развитии озер, что отражается в интенсивном таянии вечной мерзлоты, разрушении плотин озер, а также ливневыми осадками в высокогорной зоне, являющимися дополнительным фактором способствующим таянию ледников. В пределах Киргизского хребта образовались сотни озер различного генезиса, из которых десятки имеют неустойчивые плотины и прорывались в прошлом. Последствия многих прорывов были катастрофическими для жителей горных долин и предгорных равнин. Внезапные катастрофические прорывы озер, такие как: Четенды (Джеруй) в 2013 г. и Челектор в 2017 г. показывают, что природа развития и прорывов горных потенциально опасных озер еще далеко не изучена. Поэтому для определения прорывоопасного периода, необходимо комплексное изучение озер с постоянным мониторингом их развития.

**Ключевые слова:** прорывы озер, прорывоопасные озера, Киргизский хребет, Адыгене, изменение климата, температура, прогноз.

Climate change has a negative impact on the development of lakes, which is reflected in the intensive melting of permafrost, the destruction of lake dams, as well as heavy rainfall in the high mountain zone, which is an additional factor

contributing to the melting of glaciers. Thousands of lakes of various geneses were formed in the Kyrgyz Range of the period of their formation. Hundreds of lakes had unstable dams and had outburst in the past. The consequences of many of the outbursts were catastrophic for the inhabitants of the mountain valleys. Sudden catastrophic outbursts of lakes, such as: Chetendy (Jeruy) in 2013 and Chelektor in 2017 show that the nature of the development of potentially hazardous lakes is not good studied. Therefore, to determine a potentially outburst period, a more detail study of the lakes is necessary, with constant monitoring of their development.

**Key words:** lakes breakthroughs, dangerous lakes, Kyrgyz range, Adygene, climate change, temperature, forecast.

**Введение.** Климатические изменения, происходящие в последние десятилетия, проявляются, прежде всего, в повышении температуры. Этот фактор оказывает решающее влияние на процесс деградации ледников [1]. Сокращение их площади и объема происходит с все возрастающей скоростью, которая колеблется в диапазоне 10 - 60 м/год, в среднем около 30 м/год для Северного Тянь-Шаня [2].

В процессе деградации горного оледенения на месте отступающих ледников появляются морено-ледниковые комплексы, в которых формируются большинство прорывоопасных озер. В связи с повышением температуры активизируется таяние погребенных льдов и вечномерзлых пород, из которых на 80-100% состоят плотины высокогорных озер, что приводит к ослаблению устойчивости их плотин.

За последние 70 лет зафиксировано 38 прорывов (нанесших экономический или физический урон), число фактических прорывов, естественно превышает эту цифру [3]. Наибольшее количество прорывов зафиксировано в бассейне реки Ала-Арча – 14 прорывов, из них порядка 8 прорывов приходится на прорывы из Аксайской внутриледниковой емкости с 1960 по 1970 гг. [4]. Ввиду нехватки метеорологической информации в высокогорной зоне затруднительно проследить тенденции и выявить параметры, оказывающие значительное влияние на развитие озер.

Выбор района исследований обусловлен также тем, что большинство прорывоопасных озер расположено в Северном Тянь-Шане, а именно на северном склоне Киргизского хребта. Основной целью мониторинга прорывоопасных озер является разработка достоверных критериев прорывоопасности высокогорных озер.

**Объект исследования.** Северный Тянь-Шань, на территории Кыргызской Республики включает в себя два хребта: Киргизский и Кунгей, территориально расположенные в Чуйской и Ыссык-Кульской областях соответственно.

Основным объектом исследования являются высокогорные озера, расположенные на северном склоне Киргизского хребта (рис.1).

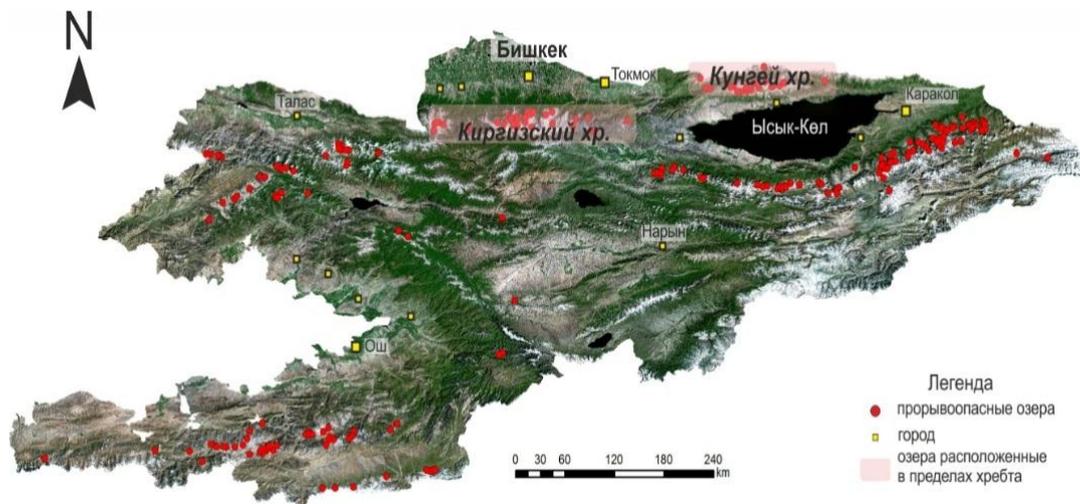


Рис. 1. Распределение прорывоопасных озер по территории Кыргызстана

Согласно генетической типизации озер [5], прорывоопасные озера подразделяются на ледниковые, моренно-ледниковые, завальные, моренные и ригельные. Среди них выделяются следующие подтипы, которые объединяют озера, сходные не только по генезису своих плотин, но и по морфологии озерных ванн, по условиям питания и стока. В составе ледникового типа выделяются: термокарстовые, подпруженные и внутриледниковые озера. Для моренно-ледникового типа выделяются озера внутриморенных депрессий и термокарстовых воронок. В составе завального типа выделяются озера завально-обвальные, завально-оползневые и завально-селевые. Из 363 прорывоопасных озер, входящих в каталог, по состоянию на 2018 г. 195 озер относятся к моренно-ледниковому типу, 81 ригельные, 3 ледниковые, 38 завальные, 46 моренные. На территории, ограниченной Киргизским хребтом и Кунгей, находится 106 прорывоопасных озер, что составляет 29 % от общего числа озер, из них 18 являются наиболее прорывоопасными.

**Методы исследований.** Для мониторинга высокогорных прорывоопасных озер нами используются как наземные полевые работы, включая стационарные наблюдения, так и методы дистанционного зондирования. К наземным работам относятся: батиметрическая съемка, обследование плотин высокогорных озер и т.д. К дистанционным помимо спутниковой информации можно отнести данные с авто-

матических метеорологических станций и датчиков (логеров), расположенных на моренно-ледниковых комплексах. Единственной станцией в Кыргызской Республике, обеспечивающей информацией о состоянии высокогорных озер, является высокогорная станция Адыгене (<http://www.geomin.cz/adygene/>). Ежегодно на станции проводятся батиметрические измерения, для регистрации изменений. Ежедневные инструментальные измерения дают полное представление о влиянии климатических процессов на развитие озер.

Для построения графика температуры воды в озере брались максимальные значения. Температурная карта составлена в программе ArcGIS 10.3, с использованием IDW интерполяция (Обратное Взвешенное Расстояние), измерения проводились на глубине 30 см, датчиком эхолота марки Garmin.

**Результаты исследований.** В связи с изменением климата происходит повышение температуры воздуха (рис.2). Повышение температуры обуславливает деградацию ледников и появление на участках отступивших ледников новых озер, в которых скапливаются большие объемы воды.

Повышение температуры активизирует термокарстовые процессы, которые ослабляют устойчивость плотин высокогорных озер. Активизация термокарстовых процессов наблюдается на плотинах практически всех высокогорных озер северного склона Киргизского хребта.

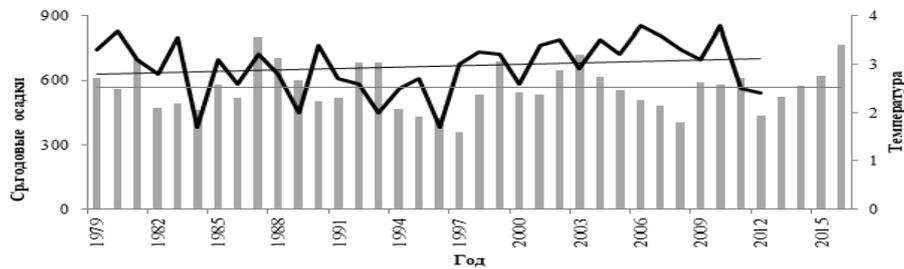


Рис. 2. Метеорологические данные со станции Альплагер (Ала-Арча, 2200 м н.у.м).

За период с 1960 по 2017 год после отступления ледника на моренно-ледниковом комплексе Адыгене, бассейн реки Ала-Арча, появилось 8 новых озер (рис. 3).

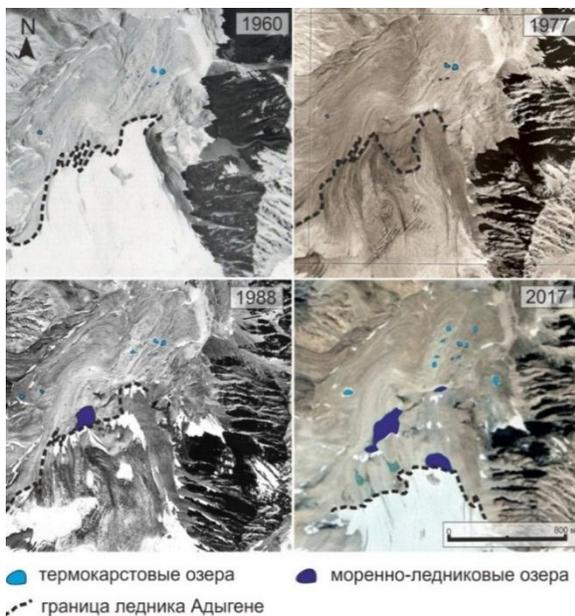


Рис. 3. Моренно-ледниковый комплекс Адыгене в разные годы

Ледник Адыгене за 57 лет отступил на 900 метров, что составляет 15.8 метров в год. Термокарстовые процессы могут активизировать просадки плотин или изменить характер стока озера из-за таяния погребенных льдов. Это в свою очередь повышает степень прорывоопасности озер. Рис. 3 также демонстрирует, как вслед за отступающим ледником растет в размерах озеро Адыгене Большое, с 1988 по 2017 увеличившись практически вдвое. Возросший объем озер также оказывает дополнительное давление на плотины озер.

Повышение температуры воздуха, в условиях отсутствия или частичной облачности, приводит к повышению температуры воды в озере. На рис. 4А приведен график максимальной температуры со станции Адыгене, за 2012 г., включая только летние месяцы, когда происходит развитие озер. Красной меткой на графиках отмечена дата прорыва озера

Тезтор в соседней со станцией Адыгене долине. Резкий скачок температур за 2012 год не единственный, так похожее увеличение температуры было зафиксировано с 17 по 19 июня.

Анализ данных о температуре воды (рис. 4 В) со станции Адыгене до прорыва озера Тезтор показывает, увеличение температуры воздуха и увеличение температуры воды на 3 °С, за 4 дня.

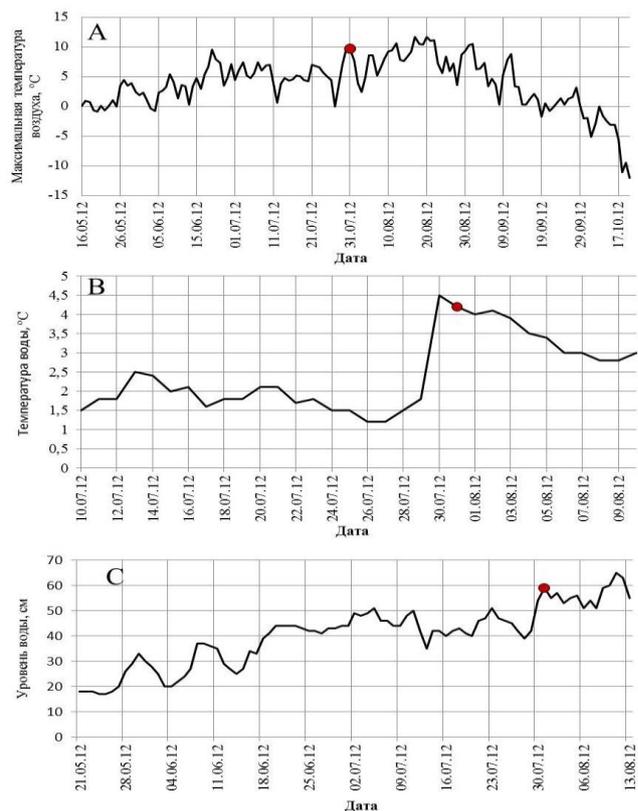


Рис. 4. А- колебания максимальной температуры на станции Адыгене; В-колебания температуры воды в озере Адыгене; С-уровень воды в озере Адыгене Большое

Прорыв озера Тезтор показывает на сочетание ряда метеорологических факторов повышение температуры воздуха и воды. Но для прорывоопасности является важным наличие достаточного объема. В условиях озера Адыгене, сток из озера регулируется поверхностными каналами, но в случае с озером Тез-

тор, где сток подземный увеличение объема может быть более стремительным. На рис. 4С приведен график колебания уровня воды, показывающий также увеличение объема воды в озере перед прорывом озера Тезтор.

Для выявления зон концентрации теплых температурных аномалий нами в 2014 году была проведена температурная съемка озера Адыгене Приледникового. На рис. 5 отчетливо видно, что более теплая вода ( $2,1^{\circ}\text{C}$ ), аккумулируется в северо-западной части озера, а поблизости стока из озера сконцентрированы зоны с более холодной водой  $1.35 - 1.45^{\circ}\text{C}$ .

В области контакта ледника и озера таких зон не обнаружено, в то время как чуть западнее притока в озеро, так же происходит концентрация холодной воды.

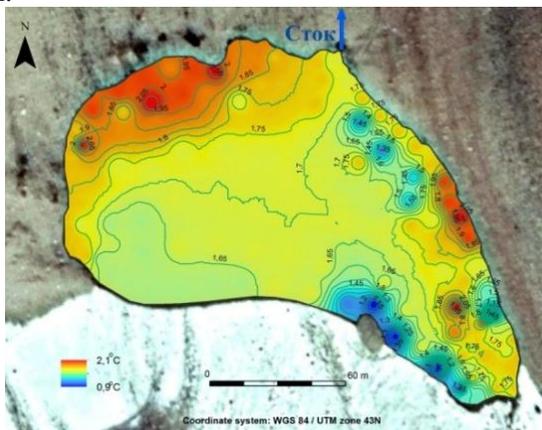


Рис. 5. Температурная карта озера Адыгене Приледникового

#### Выводы.

Образование и развитие горных озер в значительной мере определяется климатическими условиями района исследования. С конца прошлого века среднегодовая температура воздуха в связи с глобальным потеплением климата заметно увеличилась, линии тренда по всем высокогорным станциям Кыргызстана показывают увеличение [6], ускорилась деградация оледенения, и как следствие произошло увеличение количества высокогорных озер [7].

В свою очередь изменение климата негативно сказывается и на развитии озер, что отражается в интенсивном таянии вечной мерзлоты, разрушении плотин озер, а также ливневыми осадками в высокогорной зоне, являющимися дополнительным фактором. Учитывая несколько ключевых факторов: наличие подземного стока у озера, достаточный объем воды в озере (определяется отдельно для каждого озера), температура воды, можно строить временной прогноз. Ввиду быстроты изменения фактора температуры воды, который зависит в свою очередь от температуры воздуха, прогноз в этом ключе можно делать исключительно краткосрочный.

Температура воды в озере является очень важным и плохо изученным параметром. Учитывая тот факт, что вода в моренно-ледниковых прибывает в состоянии связанной с аномалией плотности воды при температуре  $3,98^{\circ}\text{C}$  [8].

Следовательно, более теплая вода опускается ниже и замерзает нами на глубине 30 см вода на дне озера может быть больше. Следовательно, если дно озера составляет лед то теплая вода опускающаяся на дно может способствовать более интенсивному таянию.

На основании всех приведенных выводов следует, что изменение климата увеличивает прорывоопасность горных озер. Их количество растет, поэтому необходим их постоянный мониторинг.

#### Литература:

1. Meleshko A.A., Kononov Y., Zaginaev V., Anatskaya E.E., 2017. Remote sensing based monitoring: glacier changes in Alaarcha and Alamedin river basins in the northern Tien-Shan. В сборнике: Молодежь XXI века в научном, культурном и образовательном пространстве: новые ценности, вызовы, перспективы сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции: в 2 частях. Российский университет дружбы народов. С. 138-142.
2. Ерохин С.А., Загинаев В.В., 2016. Прогноз прорывоопасности горных озер Кыргызстана на основе их каталога. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории КР. Б., МЧС КР. - С. 627-639.
3. Erokhin, S. A., Zaginaev, V. V., Meleshko, A. A., Ruiz-Villanueva, V., Petrakov, D. A., Chernomorets, S. S., & Stoffel, M. (2018). Debris flows triggered from non-stationary glacier lake outbursts: the case of the Teztor Lake complex (Northern Tian Shan, Kyrgyzstan). *Landslides*, 15(1), 83-98.
4. Zaginaev, V., Falatkova, K., Jansky, B., Sobr, M., & Erokhin, S. (2019). Development of a Potentially Hazardous Pro-Glacial Lake in Aksay Valley, Kyrgyz Range, Northern Tien Shan. *Hydrology*, 6(1), 3.
5. Ерохин С.А. Мониторинг прорывоопасных озер Кыргызстана. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание шестое с изменениями и дополнениями. - Б., Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2009. - С. 570-583.
6. Подрезов О. А., Титова Л. И. Современный климат Кыргызстана и сценарий его изменений в 21 веке // Вестник КРСУ. – 2002. – Т. 2. – №. 4. – С. 92-100.
7. Meleshko A.A., Erokhin S.A., Zaginaev V.V., 2016. Factors of moraine-dammed lake outbursts: nonstationarity of the Tien-Shan lakes in Kyrgyzstan under climate change conditions. В сборнике: Экологические проблемы третьего тысячелетия. Сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции. Российский университет дружбы народов. С. 137-140.
8. Наберухин Ю.И. Загадки воды //Соросовский образовательный журнал. – 1996. – Т. 2. – №. 5. – С. 41.

Рецензент: д.г.-м.н., профессор Усупаев Ш.Э.