

УДК 551.311

## ДИНАМИКА ЛЕДНИКОВ И ПРИЛЕДНИКОВЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА РЕКИ АЛА-АРЧА

Алейникова А.М., Анацкая Е.Е.

ФГБОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, e-mail: la.ktyf@gmail.com

Данная работа посвящена анализу динамики ледников долины р. Ала-Арча (Северный Тянь-Шань, Киргизский хребет) и образовавшихся в их приледниковой зоне прорывоопасных озер. В долине располагается одноименный национальный парк, который служит объектом активного туризма и при этом является одним из наиболее селеопасных районов в северной части Кыргызстана. Дана оценка изменения площади некоторых ледников в долине Ала-Арча с использованием материалов аэрокосмических съемок, в том числе из интернет-сервиса Google Earth. На основании работы с данными материалами выполнены картосхемы, демонстрирующие динамику изменения площади ледников Аксай и Адыгене за период с 1977 по 2015 г. В связи с таянием ледников Адыгене и Аксай и таянием погребенных льдов в их моренном чехле, происходит увеличение площади и глубины перигляциальных озер, и тем самым увеличивается селеопасность в долине р. Ала-Арча. Авторами были проанализированы собственные полевые и многолетние данные научной озерно-гляциологической станции «Адыгене», произведена обработка данных гидрологических наблюдений и батиметрических измерений для нескольких потенциально прорывоопасных озер долины. Рассмотрена динамика объема оз. Адыгене Большое, Адыгене Приледниковое и Аксай, а также динамика их глубины и площади акватории. Результаты анализа показали, что батиметрические показатели для оз. Адыгене Большое, которое имеет стабильное питание и преимущественно поверхностный сток, изменяются незначительно; молодые же озера, Аксай и Адыгене Приледниковое, примыкающие к конечным частям ледниковых языков, продолжают активно меняться и поэтому имеют значительный уровень прорывоопасности.

**Ключевые слова:** гляциальный сель, приледниковые озера, прорывоопасные озера, деградация оледенения, Ала-Арча

## DYNAMICS OF GLACIERS AND GLACIAL LAKES OF THE ALA-ARCH RIVER BASIN

Aleynikova A.M., Anatskaya E.E.

Peoples Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: la.ktyf@gmail.com

This article is devoted to the analysis of the dynamics of the glaciers of the valley of the Ala-Archa (Northern Tien Shan, Kirghiz Range) and the dangerous lakes formed in their glacial zone. The national park of the same name is located in the valley. Ala-Archa National Park is an object of active tourism and at the same time it is one of the most muddy areas in the northern part of Kyrgyzstan. An estimate of the change in the area of some glaciers in the Ala-Archa valley was given using materials of aerospace surveys, including the Google Earth Internet service. Based on these data, maps were made to show the dynamics of changes in the area of the Aksai and Adygene glaciers from 1977 to 2015. Due to the melting of the Adygene and Aksai glaciers and the melting of the buried ice in their moraine cover, an increase in the area and depth of periglacial lakes occurs. Therefore, the risk of mudflows in the Ala-Archa valley increases. The authors analyzed their own field and long-term data of the scientific lake-glaciological station «Adygene». The data of hydrological observations and bathymetric measurements were processed for several potentially dangerous lakes of the valley. The dynamics of the volume of Adygene Bolshoye, Adygene Priglednikovoe and Aksai, the dynamics of their depth and water area are considered. The results of the analysis showed that the bathymetric data for Lake Adygene Bolshoye vary slightly, the lake has a stable supply and mainly surface runoff; the young lakes Aksai and Adygene Prilednikovoe, which are adjacent to the end parts of the glaciers, continue to change and therefore have a significant level of breakthrough danger.

**Keywords:** glacial mudflow, glacial lake, breakthrough lakes, glaciation degradation, Ala-Archa

Из всех чрезвычайных ситуаций, которые характерны для горных и предгорных районов всех стран, самыми масштабными и опасными являются сели [1]. Основными потенциальными причинами возникновения селя являются активное снеготаяние и интенсивные осадки, а также прорыв плотины высокогорного озера. Прорывоопасные озера приурочены к ледниковым зонам на больших высотах. Отличительной особенностью данных озер является возможность прорыва их плотин, образование прорывного потока.

Прорыв горного озера достаточно сложен в прогнозировании [2], при этом сели, возникающие при прорывах высокогорных озер, могут быть катастрофическими. Поэтому ведется работа по выявлению потенциально опасных районов и периодов, когда риск прорыва максимальный, а также мониторинг основных формирующих факторов.

На прорывоопасность озера влияет целый ряд факторов, в том числе тип озера, характер питания и стока, активность термокарстовых процессов. При изменении условий, например резком увеличении

температуры и последующем протаивании плотин, выпадении большого количества атмосферных осадков, землетрясений, прорывоопасность резко возрастает.

На территории Кыргызстана за последние 50 лет отмечено около 70 чрезвычайных ситуаций, вызванных прорывом горных озер. Период наибольшего риска прорывов озер Тянь-Шаня длится с июля до конца августа – середины сентября [3]. В последние годы в Кыргызстане активно ведется мониторинг горных озер и разрабатываются системы защиты.

Актуальность данной работы обусловлена потенциальной опасностью перигляциальных озер, а также немалыми рисками, связанными с прорывом долины Ала-Арча, являющейся национальным парком и популярным местом отдыха для жителей Киргизии и иностранных туристов.

Активное сокращение оледенения ведет к изменению коренной породы, по которой происходит движение ледника, активизации термокарстовых процессов, накоплению селевой массы на месте отступления ледника. Ледники, представляющие собой динамически неустойчивые гляциальные системы ледник – озеро, несут особую опасность [4].

В связи с деградацией оледенения на Северном Тянь-Шане происходит увеличение площади, объема и количества перигляциальных озер, которые в последние годы представляют собой потенциальные очаги формирования крупных селей. В статье были впервые проанализирована динамика ледников за 1977–2015 гг. и динамика перигляциальных озер за 2010–2015 гг. Это дает основание к проведению научного мониторинга по отслеживанию состояния прорывоопасных перигляциальных озер.

Цель исследования: анализ динамики ледников и перигляциальных озер бассейна р. Ала-Арча.

Основными задачами явились: анализ динамики ледников Адыгене, Аксай и озер Адыгене Большое, Адыгене Приледниковое и озера Аксай.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования явились перигляциальные озера долины реки Ала-Арча (Северный Тянь-Шань).

Озера располагаются в одноименном национальном парке, который служит объектом активного туризма и является одним из наиболее селеопасных районов в северной части Кыргызстана.

Наблюдения проводились на научной озерно-гляциологической станции «Адыгене», расположенной в верховьях долины реки Адыгене, левого бокового притока р. Ала-Арча. Здесь с 2008 г. ведется наблюдение за развитием системы высокогорных прорывоопасных озер, относящихся к моренно-ледниковому комплексу Адыгене. Система включает на данный момент 14 озер различного возраста и размера [5].

Авторами были проанализированы собственные полевые и многолетние данные научной станции, проведено дешифрирование космических снимков, на основании которого выполнены картосхемы, демонстрирующие динамику отступления, оледенения отдельных ледников бассейна р. Ала-Арча, произведена обработка данных гидрологических наблюдений и багметрических измерений для нескольких потенциально прорывоопасных озер долины.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Долина Ала-Арча является крупным центром оледенения. Результаты дешифрирования космических снимков 1977 и 2015 гг. показали, что все ледники долины сокращаются.

Интенсивность, с которой происходит сокращение площади оледенения для различных ледников в разных частях долины может заметно различаться. Различия определяются комплексом факторов, таких как экспозиция ледника, его размеры, высота относительно уровня моря, морфологическое строение ледниковой долины. Скорость отступления крупных ледников, находящихся на ранних стадиях деградации, меньше чем у ледников поздних стадий.

Рисунки 1 и 2 показывают, как изменились границы ледников Адыгене и Аксай, находящихся на ранних стадиях деградации.

Адыгене – ледник котловинного типа, расположенный в верховьях одноименного притока р. Ала-Арча, один из крупнейших ледников долины. Площадь его в 1977 г. составляла 3,49 км<sup>2</sup>, к 2015 г. сократилась почти на треть, ограничиваясь 2,83 км<sup>2</sup> (рис. 1).

Аксай – второй по площади ледник долины, относится к долинному типу. В дальнейшем за период с 1977 по 2015 г. площадь ледника Аксай сократилась с 5,35 км<sup>2</sup> до 4,13 км<sup>2</sup> (рис. 2).

В совокупности с другими факторами (такими как интенсивные ливневые осадки) повышенная скорость таяния ледников и создает условия для прорыва ледниковых озер и возникновения гляциальных селей.



*Рис. 1. Изменение площади ледника Адыгене за 1977–2015 гг.*



*Рис. 2. Изменение площади ледника Аксай за 1977–2015 гг.*



Основные наблюдения динамики озер, анализ результатов которых проводится в данной работе, были проведены на двух озерах: Адыгене Большое и Адыгене Приледниковое [6]. Они относятся к озерной системе, сформировавшейся при отступлении фронта ледника Адыгене в верховьях долины одноименной реки – левого притока р. Ала-Арча. Гляциальный сель, вызванный прорывом озера в этой части долины, потенциально способен достигнуть густонаселенных областей в непосредственной близости от Бишкека и произвести большие разрушения.

Ванны озер Адыгене Большое и Адыгене Приледниковое круглый год заполнены водой, однако большую часть года (как правило, с октября по май) их поверхность покрыта льдом. В остальное время уровень озер колеблется. В середине июля – начале августа наблюдается резкое повышение

уровня, связанное с началом активного периода абляции.

Озеро Адыгене Большое образовалось во внутриморенных депрессиях моренно-ледникового комплекса Адыгене на высоте 3600 м. Оно относится к моренно-ригельному типу. Питание преимущественно ледниковое, частично дождевое и снеговое. Озеро имеет преимущественно поверхностный сток, меньшая доля вод приходится на подземный сток.

Максимальный подъем уровня наблюдается в 3-й декаде июля – первой декаде августа.

На нижеследующих графиках (рис. 3) проводится сравнение батиметрических данных за 2010 и 2013 г. По ним можно видеть, что уровень воды в оз. Адыгене Большое в эти годы в целом остается неизменным (рис. 3, а), объем увеличивается, но незначительно (рис. 3, б), площадь акватории также растет (рис. 3, в).

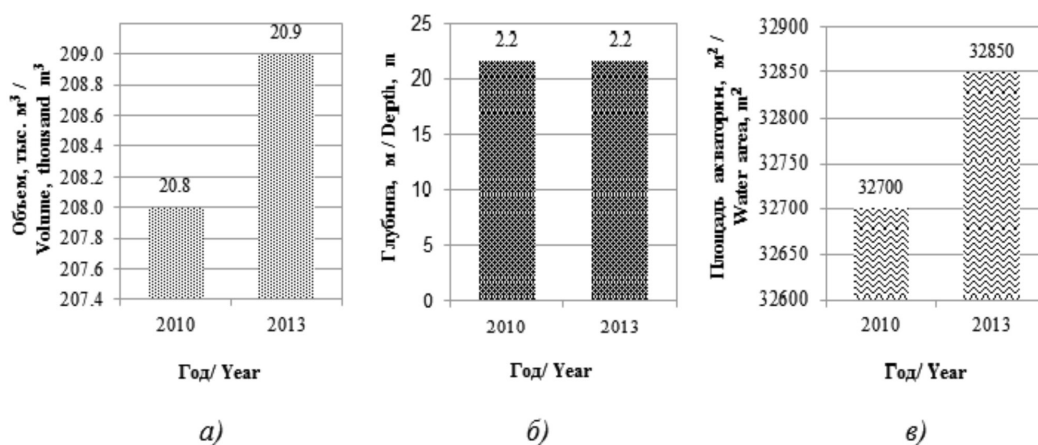


Рис. 3. Динамика озера Адыгене Большое: а) динамика объема; б) динамика глубины; в) динамика площади акватории

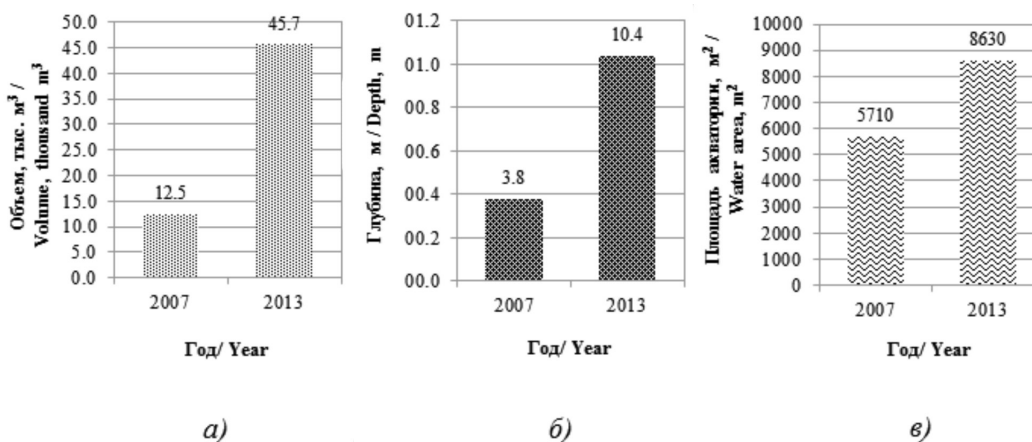


Рис. 4. Динамика озера Адыгене Приледниковое: а) динамика объема; б) динамика глубины; в) динамика площади акватории

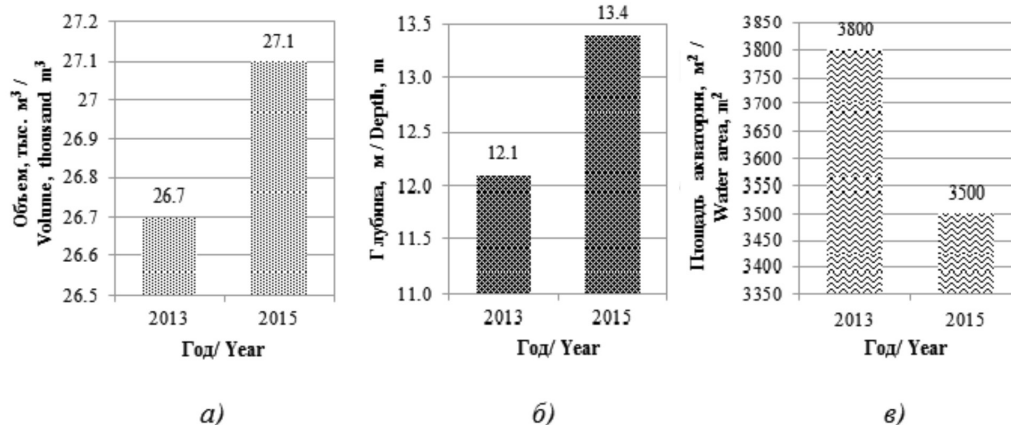


Рис. 5. Динамика озера Аксай. а) динамика объема; б) динамика глубины; в) динамика площади акватории

Следующие графики (рис. 4) построены по данным батиметрических измерений другого озера из системы приледниковых озер Адыгене – оз. Адыгене Приледниковое, непосредственно примыкающего к краю языка ледника и развивающегося по мере таяния ниспадающего в него льда. Это озеро – сравнительно небольшое, недавно сформировавшееся и активно растущее. Сравниваются данные за 2007 и 2013 гг. За этот период объем озера вырос почти в 4 раза (рис. 4, а), глубина увеличилась почти в 3 раза (рис. 4, б), площадь акватории – примерно в полтора раза (рис. 4, в).

Озеро Аксай находится в верховьях долины Аксай (бассейн реки Ала-Арча) на высоте 3617 м. Оно относится к моренно-ледниковому типу, который наряду с моренным типом относится к наиболее распространенным и потенциально опасным разновидностям озер на территории Кыргызстана.

Озеро Аксай, находящееся в концевой части ледника Учитель (отделившийся приток ледника Аксай), образовалось около десяти лет назад. Так как озеро сформировалось недавно в нестабильной, интенсивно тающей концевой части ледника, оно продолжает активно меняться. Результаты батиметрической съемки отображают часть изменений, произошедшую с 2013 по 2015 г.

По данным батиметрической съемки 2013 и 2015 гг. построены графики (рис. 5). Объем озера за этот период изменился незначительно (рис. 5, а), площадь акватории немного уменьшилась (рис. 5, б), а глубина увеличилась более чем на метр (рис. 5, в), при этом ванна озера опустилась на 6 м, уровень озера понизился ниже плотинной

перемычки, вследствие чего характер стока из поверхностного стал исключительно подземным. Отсутствие поверхностного стока считается важным фактором, влияющим на уровень прорывоопасности высокогорного озера. При наличии поверхностного стока озерная плотина не ограничивает сток и изменения в режиме питания озера и резкие изменения объема воды не несут большой опасности. В бессточных озерах и озерах с исключительно подземным стоком возможно накопление объемов воды во время интенсивных осадков. По этой причине уровень прорывоопасности озера был повышен до 1-й категории, наиболее высокой.

### Выводы

Наблюдаемые сегодня климатические изменения негативно влияют на состояние оледенения, и это становится дополнительным фактором нестабильности для всех прорывоопасных озер.

Результаты дешифрирования космических снимков показали, что на период обследования ледники Адыгене и Аксай пребывают в состоянии деградации. Это соответствует общей тенденции для оледенения долины Ала-Арча и всего Северного Тянь-Шаня.

В связи с таянием ледников Адыгене и Аксай и таянием погребенных льдов в их моренном чехле, происходит увеличение площади и глубины перигляциальных озер Адыгене Приледниковое и Аксай, и тем самым увеличивается селеопасность в долине р. Ала-Арча.

Снижение рисков, связанных с прорывами горных озер, возможно при условии

дальнейшего развития систем мониторинга прорыва гляциальных озер и активном сотрудничестве МЧС и научного сообщества в области предотвращения чрезвычайных ситуаций на высокогорных территориях.

Наиболее эффективной стратегией для предупреждения и уменьшения последствий гляциальных селей в регионе представляются разработка комплекса мер, направленных на выявление потенциально селеопасных районов и объектов, и дистанционный мониторинг опасных гидрологических явлений, а также организация природоохранных мероприятий и научных исследований для сохранения ледников и приледниковых ландшафтов.

#### Список литературы / References

1. Михайлов П.Г., Ломтев Е.А., Аналиева А.У., Гусманова М.С. Разработка концепции создания и функционирования системы мониторинга селеопасности в горных и предгорных районах // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2016. № 1 (15). С. 15–23.  
Mikhaylov P.G., Lomtev E.A., Analieva A.U., Gusmanova M.S. Development of the concept of creating and operating a monitoring system of mudflow in mountainous and foothill areas // Measurement. Monitoring Control. Control. 2016. № 1 (15). P. 15–23 (in Russian).
2. Кидяева В.М., Крыленко И.Н., Крыленко И.В., Петраков Д.А., Черноморец С.С. Колебания уровня воды в горных ледниковых озерах Приэльбрусья // Геориск. 2013. № 3. С. 20–27.  
Kidyaeva V.M., Krylenko I.N., Krylenko I.V., Petrakov D.A., Chernomoretz S.S. Water level fluctuations in mountain glacier lakes in the Elbrus region // Georisk. 2013. № 3. P. 20–27 (in Russian).
3. Усупаев Ш.Э., Абдрахманова Г.А., Гасанова А.Т., Узакова Ш.Н. Закономерности формирования георисков от селей горных стран (Кыргызстан, Таджикистан) // Наука и современное общество: взаимодействие и развитие. 2015. № 1. С. 23–26.  
Usupaev Sh.E., Abdrakhmanova G.A., Hasanova A.T., Uzakova Sh.N. Regularities of georisk formation from villages of mountain countries (Kyrgyzstan, Tajikistan) // Nauka i sovremennoye obshchestvo: vzaimodeystviye i razvitiye. 2015. № 1. P. 23–26 (in Russian).
4. Георгиева М.А. Оценка степени опасности проявления селевых процессов на территории Кабардино-Балкарской республики // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=14676> (дата обращения: 30.05.2019).  
Georgieva M.A. Estimation of the degree of danger of the manifestation of mudflow processes in the territory of the Kabardino-Balkarian Republic // Mezhdunarodnyy studentcheskiy nauchnyy vestnik. 2016. № 2. [Electronic resource]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=14676> (date of access: 30.05.2019) (in Russian).
5. Ерохин С.А. Станция Адыгене // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание восьмое с изменениями и дополнениями. Бишкек: Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2013. С. 607–614.  
Erokhin S.A. Station Adygene // Monitoring, forecasting of hazardous processes and phenomena in the territory of the Kyrgyz Republic. The eighth edition with changes and additions. Bishkek: Ministerstvo chrezvychaynykh situatsiy Kyrgyzskoy Respubliki, 2013. P. 607–614 (in Russian).
6. Ерохин С.А., Загинаев В.В. Мониторинг озер Адыгене в период наполнения их ванн // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание четырнадцатое с изменениями и дополнениями. Бишкек: Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики, 2017. С. 657–662.  
Erokhin S.A., Zaginaev V.V. Monitoring of Adygen Lakes during the period of their bathing // Monitoring, forecasting of hazardous processes and phenomena in the territory of the Kyrgyz Republic. Fourteenth Edition with changes and additions. Bishkek: Ministerstvo chrezvychaynykh situatsiy Kyrgyzskoy Respubliki, 2017. P. 657–662 (in Russian).