

Усманова З.С., Капица В.П.

**Современное оледенение
и гляциальные озера бассейна
реки Каратал**

В статье приведены результаты изменения оледенения и гляциальных озер бассейна реки Каратал на основе данных дистанционного зондирования. Определены морфометрические характеристики ледников и озер. Проведено сравнение параметров оледенения и озер за разные временные срезы, оценены темпы деградации оледенения и динамика гляциальных озер рассматриваемого бассейна. Отступление ледников сопровождается увеличением числа и площади гляциальных озер, расположенных на молодых моренах. Установлено, что за 55 лет площадь оледенения сократилась на 89,35 км² (на 44,12%), количество озер увеличилось с 166 в 2002 до 181 в 2014, а суммарная площадь их увеличилась более чем на 17%.

Ключевые слова: дистанционные методы, космические снимки, оледенение, гляциальные озера.

Usmanova Z.S., Kapitsa V.P.

**Modern glaciation and glacial
lakes of Karatal River basin**

In the article provided results of change of glaciation and glacial lakes of Karatal River basin on the basis of remote sensing data. Morphometric characteristics of glaciers and lakes are defined. Comparison of parameters of glaciation and lakes for the different time periods is made; rates of degradation of glaciation and dynamic of glacial lakes of considered basin are estimated. Glacier retreat is followed by increase of number and area of glacial lakes located on modern moraines. It is determined that for 55 years area of glaciation reduced on 89,35km² (for 44,12%), number of lakes increased from 166 in 2002 to 181 in 2014 and their total area increased more than for 17%.

Key words: remote sensing, satellite images, glaciation, glacial lakes.

Усманова З.С., Капица В.П.

**Қаратал өзені бассейнінің
гляциалды көлдер мен қазіргі
мұзбасу**

Мақалада арақашықтықтан зондылау мәліметтері негізінде жасалған, Қаратал өзені бассейнінің гляциалды көлдері мен мұзбасу өзгерістері нәтижелері келтірілген. Мұздықтар мен көлдердің морфометриялық сипаттамалары анықталған. Өртүрлі уақыт шеңберінде көлдер мен мұзбасу көрсеткіштеріне салыстыру жасалып, қарастырылып жатқан бассейннің гляциалды көлдер динамикасы мен мұзбасу деградация қарқыны бағаланған. Мұздықтардың шегінуімен бірге жаңа мореналарда орналасқан гляциалды көлдердің ауданы мен санының өсуі қатар жүреді. Мұзбасу ауданы 55 жылда 89,35 км² (44,12%-ға) қысқарса, ал көлдер көлемі 2002 жылы 166-дан 2014 жылы 181-ге дейін өскен, олардың жалпы ауданы 17%-ға ұлғайған.

Түйін сөздер: арақашықтық әдістері, ғарыштық суреттер, мұзбасу, гляциалды көлдер.

СОВРЕМЕННОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ И ГЛЯЦИАЛЬНЫЕ ОЗЕРА БАСЕЙНА РЕКИ КАРАТАЛ

Введение

Одним из важнейших факторов развития аридных регионов являются возобновляемые водные ресурсы. Как в целом в Центральной Азии, в Балкаш-Алакольского бассейне практически все возобновляемые водные ресурсы формируются в горах. Подавляющая часть водных ресурсов формируется тальми снеговыми и ледниковыми водами. Вследствие изменения климата современное оледенение находится в состоянии деградации, при этом темпы деградации оледенения Центральной Азии одни из самых высоких в мире. В связи с этим, важна оценка современных и прогнозных изменений ледниковых ресурсов, так как осуществление рационального водопользования для нужд населения, сельского хозяйства, гидроэнергетики и промышленности невозможно без информации об этом компоненте. Кроме того, продолжающаяся деградация оледенения способствует появлению новых и увеличению размеров существующих гляциальных озер, прорывы которых представляют угрозу для населения и народного хозяйства.

Район исследования

Джунгарский Алатау (на современных картах называемый Жетысуским Алатау) – горная система, протянувшаяся с запада-юго-запада на восток-северо-восток вдоль государственной границы между Республикой Казахстан и Китайской Народной Республикой. Южной его границей служит р. Иле, северной – Балкашская равнина, северо-восточной – озеро Алаколь и Джунгарские ворота. Продольные долины рек Коксу, а также Шыжын и Кора, составляющих р. Каратал, на западе и р. Боротала на востоке, делят Джунгарский Алатау на два крупных хребта: Северный Центральный и Южный Центральный – лежащих параллельно друг другу.

Бассейн р. Каратал (рис. 1) площадью водосбора 5300 км², является самым большим на территории Джунгарского Алатау и складывается из двух самостоятельных (в горной части) бассейнов рек: собственно р. Каратал и р. Коксу, большого притока, впадающего в р. Каратал уже на равнине. Границами бассейна

р. Каратал служат на севере Северный Центральный хребет, на юге – Южный Центральный хребет (в этом месте носящий название Токсан-

бай) и хребты Ит-Чеку, Коянды и Алтынэмель, расположенные кулисообразно на юго-запад от первого.

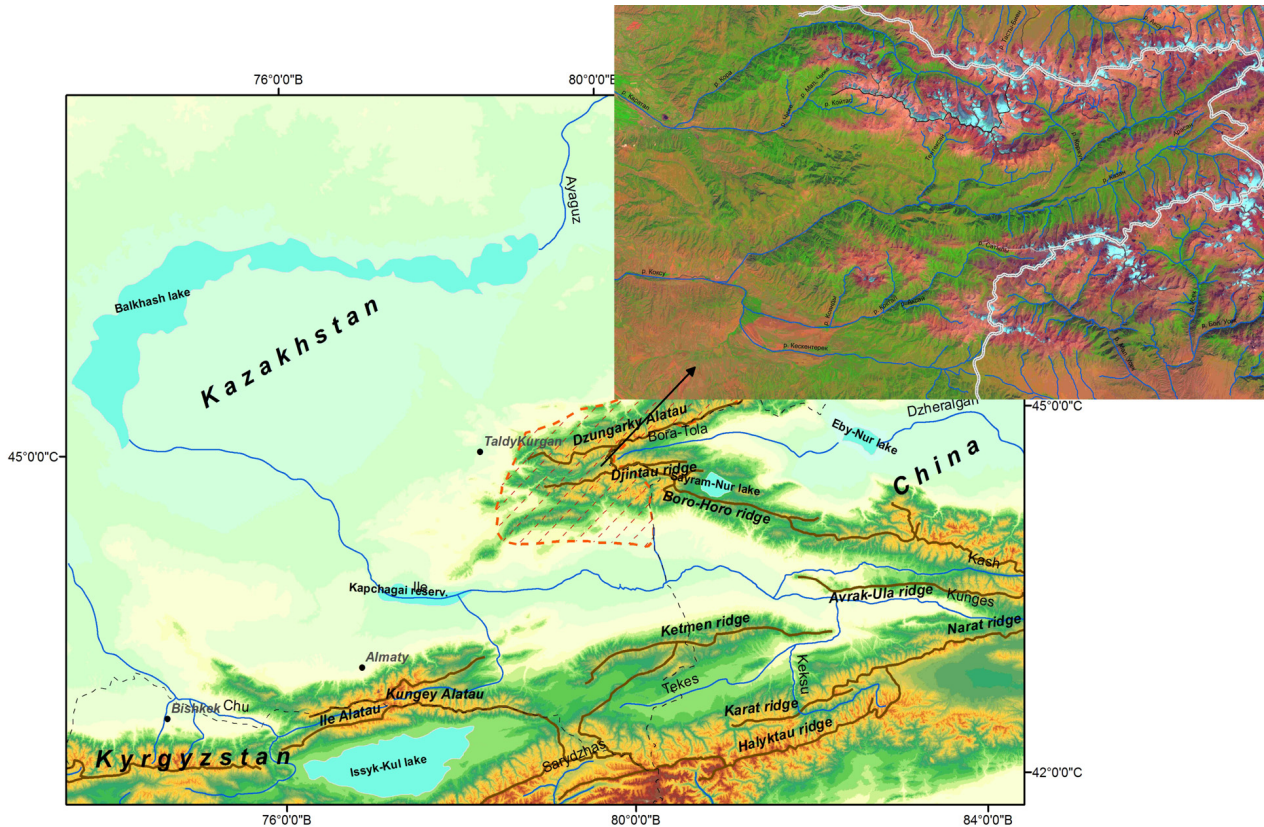


Рисунок 1 – Район исследования

Эти хребты имеют между собой перемычки, образующие основной водораздел между бассейном р. Каратал и бассейнами рек Борохундзир и Усек, расположенных на южном склоне Джунгарского Алатау.

На востоке (в истоках р. Коксу) граница бассейна р. Каратал проходит по горной перемычке между Северным Центральным и Южным Центральным хребтами Джунгарского Алатау, носящей название горы Конгор-обо.

На западе горы постепенно понижаются и переходят в прибалкашскую равнину. Общая протяженность Северного Центрального хребта, несущего оледенение, составляет 84 км, а Южного Центрального хребта – 60 км. Средняя высота названных хребтов 3800 – 3850 м над у.м.

Река Каратал образуется от слияния почти в одном месте трех рек: Кора, Шыжын и Текели. Последняя лишена ледникового питания. Затем

р. Каратал выходит в широкую межгорную котловину, где сливается со своим самым крупным притоком – р. Коксу. ниже г. Уштобе р. Каратал притоков не принимает, течет транзитом по песчаной пустыне Южного Прибалкашья и при впадении в озеро образует небольшую дельту [1-4].

Исходные данные и методы исследования

Дистанционное зондирование часто является единственным способом для мониторинга и анализа состояния ледников и гляциальных озер. Оно дает возможность получать оперативно и регулярно необходимую информацию для больших территорий.

В настоящее время существует несколько методов картирования контуров ледников, моренных комплексов и озер, однако результаты не всегда достаточно точны, в частности это верно

для ледников, покрытых моренным чехлом и для ледников небольших размеров без выраженного языка [5-14].

Изучение состояния и динамики оледенения и гляциальных озер бассейна реки Каратал основано на анализе исторических данных и материалов дистанционного зондирования.

В качестве основных источников информации были использованы космические снимки Landsat 5 TM (Thematic Mapper) и Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), Landsat 8 OLI TIRS (Operational Land Imager (OLI) и Thermal

InfraRed Sensor (TIRS)) с наземным разрешением 30 и 15 м, зарегистрированные в проекции UTM WGS 84, которые охватывают период 2002 – 2014 гг. (табл.1).

Даты съемок: август и начало сентября. Космические снимки получены из архива Геологической службы США (USGS, <http://landsat.usgs.gov/>). Пространственное разрешение многоканальных данных спутников Landsat меняется от 60 до 30 м/пиксель. Данные ETM+ и OLI TIRS имеют панхроматический канал разрешением 15 м/пиксель.

Таблица 1 – Список использованных спутниковых данных

Регион	Дата	Спутник и сенсор	Разрешение, м	Источник
Бассейн реки Каратал	2011.09.11	Landsat TM,	30	USGS
	2010.08.30	Landsat TM	30	
	2002.08.25	Landsat ETM+	15	
	2005.08.01	Landsat ETM+	15	
	2008.08.09	Landsat ETM+	15	
	2014.08.02	Landsat OLI TIRS	15	

Векторизация контуров ледников и озер выполнена вручную по растровой подложке. Для снимков Landsat были построены цветосинтезированные RGB-изображения, на которых достаточно хорошо дешифрируются водное зеркало озер и поверхности, покрытые снегом, фирном и льдом [5-11].

Сопоставление контуров ледников и озер за разные даты съемки исследуемой территории позволило идентифицировать их границы. Помимо картографирования границ ледников и определения их морфометрических характеристик проведено дешифрирование моренных комплексов, имеющих отчетливые дешифровочные признаки (светлый тон окраски и хорошую выраженность в рельефе). Исходный материал обрабатывался с помощью программы ArcGIS 9.3

Основой для анализа динамики оледенения бассейна реки Каратал являются материалы Каталогов ледников по состоянию на 1956, 1970/72, 1990 и 2000 гг. [1, 2, 4, 13]. Следует иметь в виду, что данные каталогов, составленных за разные годы разными авторами, несколько различаются по способам и методам обработки исходных материалов.

Основой для анализа динамики гляциальных озер исследуемого района послужила инвентаризация высокогорных озер по состоянию на 2002 и 2014 годы.

Одним из главных критериев селевой опасности озера является объем водной массы, содержащийся в котловине, и устойчивость подпруживающей плотины [15]. Озера, расположенные на более старой морене, имеют устойчивую плотину, поэтому расчет объема водной массы выполнен только для приледниковых и приледниково-моренных озер по формуле Попова [16]:

$$V=0.059*F^{1.44}$$

Расчеты объема воды по эмпирической зависимости между объемом и площадью озера могут давать погрешность от 14 до 80% [14, 17], по мере увеличения размеров озер ошибка снижается, и для озер с площадью более 30 тыс.м³ она не превышает 30% [16], что для предварительной оценки объема вполне достаточно.

Различные исследования [18] показали, что крупный сель может сформироваться при прорыве озера объемом 32 и более тыс. м³, что соот-

ветствует площади водного зеркала порядка 10 тыс. м².

При выявлении таких озер на них следует проводить подробные полевые исследования – батиметрическую съемку, оценку состояния плотины и динамики прилегающего ледника.

Результаты исследований и обсуждение

В бассейне реки Каратал в 2011 г. был зарегистрирован 271 ледник. Общая площадь открытой части всех ледников составляет 113,152 км², площадь морен – 116,221 км².

Из общего количества ледников 99 имеют площадь менее 0,1 км², их суммарная площадь составила 3,655 км². Общая площадь ледников более 0,1 км² составила 109,497 км². Самыми крупными являются долинные ледники № 248 Безсонова с площадью 10,086 км², № 240 Тронева с площадью 8,401 км² и № 249 Сапожникова с площадью 4,091 км² (номера ледников по Каталогу 1970-72 гг. [2,4]). Все они располагаются в бассейне реки Кора и их суммарная площадь

составила 22,578 км², это 19,9% от общей площади оледенения бассейна р. Каратал.

Значительную часть площади суммарного оледенения в рассматриваемом бассейне занимают ледники площадью до 0,5 км² – 30,6% (34,584 км²). На ледники площадью 0,5 – 1,0 км² и 1,0 – 2,0 км² приходится 24,6% (27,886 км²) и 17,3% (19,623 км²) площади общего оледенения соответственно. В то же время на ледники площадью 5,0 – 10,0 км² (их всего 2) приходится 16,3% площади общего оледенения.

В бассейне р. Каратал за 55 лет распалось 26 ледников. На их месте образовалось 59 ледников, часто другого морфологического типа и в ряде случаев иной экспозиции. Суммарная площадь распавшихся ледников уменьшилась с 27,9 км² до 15,209 км² (на 45,5%).

Таким образом, за 55 лет оледенение бассейна р. Каратал сократилось на 89,35 км² (на 44,12%), теряя в год по 1,62 км² (по 0,80%) своей площади. Наиболее сильно площадь оледенения сократилась в бассейнах рек Сатылы, Казан, Караарык, Коржун, Чиж и Кора (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение площади ледников бассейна р. Каратал

Год	Площадь ледников				
	км ²	Изменение площади между реперными годами			
		км ²	%	км ² /год	%/год
1956	202,5				
1970/72	176,02	-26,476	-13,07	-1,65	-0,82
1990	159,27	-16,751	-8,27	-0,93	-0,46
2000	131,93	-27,348	-13,51	-2,73	-1,35
2011	113,15	-18,773	-9,27	-1,71	-0,84
1956-2011		-89,348	-44,12	-1,62	-0,80

Все высокогорные озера были разделены на 4 типа: завальные, приледниковые моренные и приледниково-моренные.

Завальные – озера, образовались в результате перекрытия русла реки обвалами, каменными глетчерами или оползнями, которые служат в качестве водоудерживающей перемычки. На рассматриваемой территории выделено всего одно озеро данного типа в долине реки Караарык. Оно образовалось в результате перекрытия долины реки каменным глетчером на высоте 2820 м над у.м. Вероятно, в теле глетчера образовались фильтрационные каналы, по которым озеро опорожни-

лось без образования селевого паводка. В 2002 году площадь его составляла порядка 20 тыс.м². На снимке 2014 года озеро не обнаружено.

Приледниковые озера – озера, имеющие контакт с ледниками. Они образуются на фронтальных или боковых моренах в результате отступания ледника. Этот тип озер наиболее прорывоопасен, так как зачастую водоудерживающей перемычкой служит погребенный лед, прикрытый тонким слоем моренного чехла. Кроме того, приледниковые озера могут за небольшой промежуток времени увеличиться до опасных размеров (рис. 2).

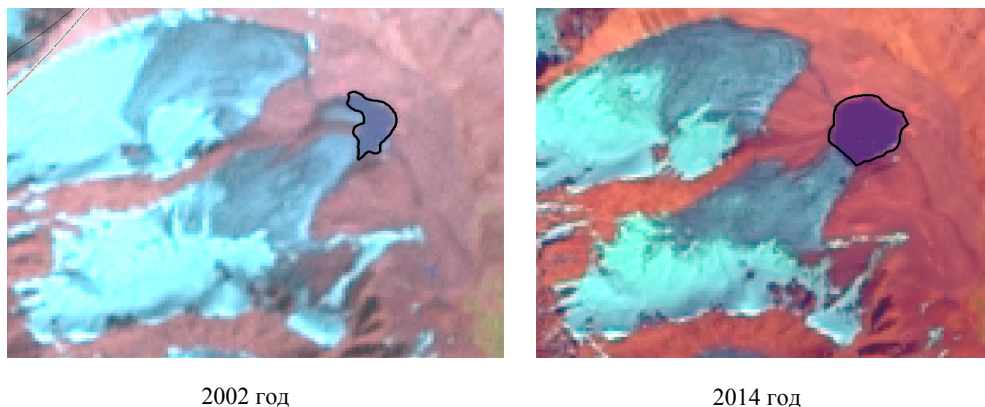


Рисунок 2 – Пример увеличения площади приледникового типа озера. С 2002 по 2014 гг. площадь озера № 64 в бассейне р. Коржун увеличилась с 38400 м² до 88030 м², т.е. почти на 130%

Данный тип озер распространен в интервале высот от 3020 до 3580 м. над у.м. По состоянию на 2002 год было обнаружено 41 озеро приледникового типа с общей площадью 820 600 м². В 2014 году площадь водного зеркала выросла незначительно и составила 824 000 м², а общее количество – 44. Приледниковый тип является начальной стадией развития гляциальных озер. По мере увеличения площади водного зеркала, главным образом из-за сокращения площади ледника, приледниковые озера либо прорываются, иногда с образованием крупного селевого потока, или меняют свой тип на приледниково-моренные.

Моренные озера – озера, образовавшиеся в понижениях на древних моренах. Подпруживающая плотина таких озер устойчива из-за невысокой льдистости, поэтому озера данного типа мало изменчивы во времени. Распространены они в высотном интервале от 2470 до 3500 м над у.м. По состоянию на 2002 год на рассматриваемой территории их было 52 с общей площадью 1 098 000 м². К 2014 году количество озер не изменилось, а площадь водного зеркала выросла незначительно и составила 1 129 000 м². Такой незначительный рост может быть связан с изменчивостью режима питания озер и погрешностью определения площади по космическим снимкам.

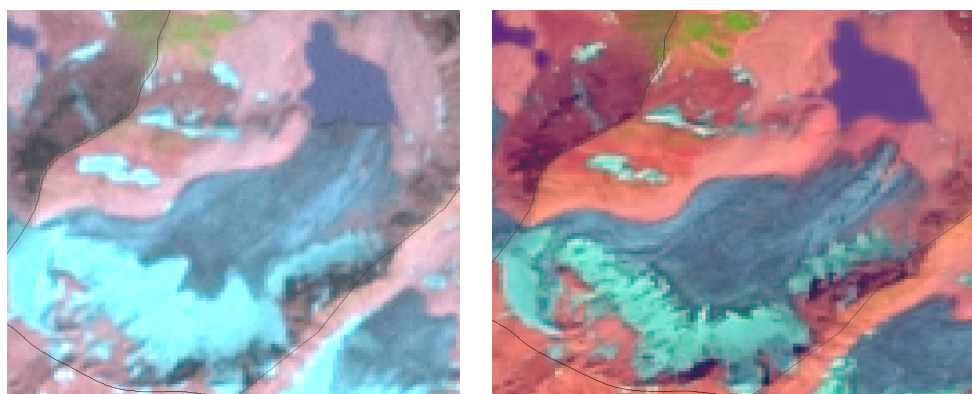
Приледниково-моренные озера – озера, расположенные на молодых моренах в непосредственной близости к ледникам, образуются в термокарстовых понижениях в результате протаивания погребенных льдов. Как правило, подпруживающей плотиной таких озер служат

морены с высокой льдистостью, которые крайне неустойчивы.

Опорожнение водной массы может осуществляться как через грот, так и через перемычку. В 2002 году на рассматриваемой территории озер данного типа было 72 с общей площадью 967 300 м². Они получили свое распространение в высотном интервале 2980-3560 м над у.м. В 2014 году их количество увеличилось до 85, площадь увеличилась на 50% и составила 1 456 300 м². Столь существенное увеличение по площади озер этого типа объясняется не только появлением новых водоемов и ростом площади существующих, но и переходом приледникового типа в приледниково-моренный (рис. 3).

Заключение

В целом, оледенение рассматриваемого бассейна продолжает сокращаться. Однако, темпы сокращения площади ледников в период с 2000 по 2011 гг. меньше, чем за период с 1990 по 2000 гг. Наименьшие темпы сокращения площади оледенения наблюдались в период с 1970/72 по 1990 гг. (табл. 2). Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными в работе [19], где авторами методом полуавтоматического дешифрирования было оценено оледенение бассейна реки Каратал, используя спутниковые снимки Landsat, по состоянию на 1989, 2001 и 2012 годы. Согласно этому исследованию, оледенение рассматриваемого бассейна сократилось на 45%, 28%, 14% и 11% в периоды 1956-2012 гг., 1956-1989 гг., 1989-2001 гг. и 2001-2012 гг. соответственно.



2002 год

2014 год

Рисунок 3 – Пример изменения типа озера № 13 в долине р. Кора с приледникового на приледниково-моренный

Общее количество и суммарная площадь гляциальных озер в период с 2002 по 2014 гг. увеличилось на 15 и более чем на 503 000 м² соответственно. Основные изменения произошли с озерами, расположенными на молодых моренах с включением погребенных льдов и вблизи ледников. Озера, расположенные на старых моренах, практически не изменились ни по площади, ни по количеству. По состоянию на 2014 год было зарегистрировано 64 селеопасных озера, 3 из них имели площадь более 100 тыс. м² и расчетный объем каждого более 1 млн. м³

Наше исследование показало, что региональное изменение климата и деградация оледенения способствует развитию существующих и появлению новых гляциальных озер. Аналогичные

результаты получены в работах [7, 9, 20-23]. Гляциальные озера являются потенциальными источниками наводнений, вызванных их прорывом, что представляет серьезную опасность для населения и экономики горных регионов. Сведений о прорывах гляциальных озер в Джунгарском Алатау немного. Задokumentировано два крупных прорыва озер, которые привели к образованию мощных селевых паводков с большим материальным ущербом народному хозяйству [24].

В исследуемом районе сконцентрировано большое количество потенциально опасных озер, прорыв которых может привести к формированию разрушительных гляциальных селей, в связи с этим рекомендуется регулярный мониторинг этих озер.

Литература

- 1 Каталог ледников СССР. – Т.13. – Вып.2. – Часть 5. Бассейн р. Каратала. – Л.: Гидрометеиздат. – 1980. – 100 с.
- 2 Вилесов Е.Н., Морозова В.И., Северский И.В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее. – Алматы, 2013. – 244 с.
- 3 Черкасов П.А. Расчет составляющих водно-ледового баланса внутриконтинентальной ледниковой системы. – Алматы: Каганат, 2004. – 334 с.
- 4 Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш / под редакцией Т.К. Кудекова. – Алматы, 2002. – 388 с.
- 5 Kääh, A., Huggel, C., Paul F., et al. Glacier Monitoring from ASTER Imagery: Accuracy and Applications //EARSel eProceedings No. 2, 2002, – p. 43- 53.
- 6 T. Bolch Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote sensing data // Global and Planetary Change 56 (2007) – P. 1–12.
- 7 Bolch, T., Buchroithner, M. F., Peters, J., Baessler, M., and Bajracharya, S. // Identification of glacier motion and potentially dangerous glacial lakes in the Mt. Everest region/Nepal using spaceborne imagery, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, – 2008. – P. 1329-1340.
- 8 Shahgedanova, M., G. Nosenko, T. Khromova, and A. Muraveyev Glacier shrinkage and climatic change in the Russian Altai from the mid-20th century: An assessment using remote sensing and PRECIS regional climate model // Journal of geophysical research, vol. 115, D16107, 2010.

- 9 T. Bolch et al. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan // *Natural Hazards* 59, – 2011. – P. 1691–1714
- 10 A. Osmonov et al. Glacier characteristics and changes in the Sary-Jaz River Basin (Central Tien Shan, Kyrgyzstan) – 1990. – 2010 // *Remote Sensing Letters*, Vol. 4, No. 8, – 2013. – P. 725–734.
- 11 F. Paul et al. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data // *Annals of Glaciology* 54(63) – 2013. – P. 171- 182.
- 12 J.I. López-Moreno et al. Recent glacier retreat and climate trends in Cordillera Huaytapallana, Peru // *Global and Planetary Change* 112, – 2014. – P. 1–11.
- 13 Вилесов Е.Н., Северский И.В. Деградация оледенения Джунгарского (Жетысу) Алатау во второй половине XX в. // *Лед и снег*. – 2013. – № 2 (122) – С. 12-20
- 14 Huggel C., Haeberli W., Käb A., Bieri D., Richardson S. Assessment procedures for glacial hazards in the Swiss Alps. // *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 41, No. 6. – 2004. – P. 1068-1083.
- 15 Петраков Д.А. Селевая опасность ледниковых озер и оценка вероятности их прорыва // *Труды международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» Институт «Севкавгипроводхоз»*. – Пятигорск, 2008. – С. 309-312.
- 16 Попов Н.В. Исследование озер гляциальной зоны юго-востока Казахстана с целью оценки возможности их прорывов и мониторинга селеопасности // *Автореферат диссертации кандидата наук*. – М., 1986. – 25 с.
- 17 Благовещенский В.П., Капица В.П., Касаткин Н.Е. Составление каталога приледниковых озер в Иле (Заилийском) Алатау // *Материалы международной конференции: «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии»*. – Бишкек, Кыргызстан 8-9 сентября, 2014. – С. 296-299.
- 18 Бижанов Н.К., Виноходов В.Н., Кулмаханов Ш.К., Нурланов М.Т., Попов Н.В. Безопасность и контроль гляциальных селей в Казахстане. – Алматы, 1998. – 101 с.
- 19 Kaldybayev et al. Glacier change in the Karatal river basin, Zhetysu (Dzhungar) Alatau, Kazakhstan // *Annals of Glaciology* 57(71). – 2016. – P. 11-19 (in print)
- 20 Медеу А.Р., Токмагамбетов Т.Г., Кокарев А.Л., Плеханов П.А., Плеханова Н.С. Гляциальные озера бассейна реки Хоргос и оценка опасности их прорывов // *Лед и снег*. – 2013. – № 3 (123). – С. 99-106
- 21 Stokes C. R., et al. Recent glacier retreat in the Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-/proglacial lake development // *Annals of Glaciology* 46, – 2007. – P. 195-203.
- 22 Wang X. Et al. Changes of glacial lakes and implications in Tian Shan, central Asia, based on remote sensing data from 1990 to 2010 // *Environmental Research Letters* 8, – 2013.
- 23 Fujita K. et al. Potential flood volume of Himalayan glacial lakes // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13. – 2013. – P. 1827–1839.
- 24 Тихомиров Ю.П., Шевырталов Е.П. Некоторые характеристики гляциального селя, прошедшего в бассейне реки Сарканд КазНИИ Госкомгидромета. Сб.9. «Селевые потоки». 1985. – С. 132-138.

References

- 1 Katalog lednikov SSSR. – Т.13. – Вып.2. – Част' 5. Basseje r. Karatala. – Л.: Гидрометеоздат. – 1980. – 100 s.
- 2 Vilesov E.N., Morozova V.I., Severskij I.V. Oledenenie Dzhungarskogo (Zhetysu) Alatau: proshloe, nastojashhee, budushhee. – Алматы, 2013. – 244 s.
- 3 Cherkasov P.A. Raschet sostavljajushhih vodno-ledovogo balansa vnutrikontinental'noj lednikovoj sistemy. – Алматы: Kaganat, 2004. – 334 s.
- 4 Sovremennoe jekologicheskoe sostojanie bassejna ozera Balhash / pod redakciej T.K. Kudekova. – Алматы, 2002. – 388 s.
- 5 Käb, A., Huggel, C., Paul F., et al. Glacier Monitoring from ASTER Imagery: Accuracy and Applications // *EARSeL eProceedings* No. 2, 2002, – p. 43- 53.
- 6 T. Bolch Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote sensing data // *Global and Planetary Change* 56 (2007) – p. 1–12.
- 7 Bolch, T., Buchroithner, M. F., Peters, J., Baessler, M., and Bajracharya, S. // Identification of glacier motion and potentially dangerous glacial lakes in the Mt. Everest region/Nepal using spaceborne imagery, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, – 2008. – p. 1329-1340.
- 8 Shahgedanova, M., G. Nosenko, T. Khromova, and A. Muravejev Glacier shrinkage and climatic change in the Russian Altai from the mid-20th century: An assessment using remote sensing and PRECIS regional climate model // *Journal of geophysical research*, vol. 115, D16107, 2010.
- 9 T. Bolch et al. Identification of potentially dangerous glacial lakes in the northern Tien Shan // *Natural Hazards* 59, – 2011. – p. 1691–1714
- 10 A. Osmonov et al. Glacier characteristics and changes in the Sary-Jaz River Basin (Central Tien Shan, Kyrgyzstan) – 1990. – 2010 // *Remote Sensing Letters*, Vol. 4, No. 8, – 2013. – p. 725–734.
- 11 F. Paul et al. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data // *Annals of Glaciology* 54(63) – 2013. – P. 171- 182.
- 12 J.I. López-Moreno et al. Recent glacier retreat and climate trends in Cordillera Huaytapallana, Peru // *Global and Planetary Change* 112, – 2014. – p. 1–11.
- 13 Vilesov E.N., Severskij I.V. Degradacija oledenjenja Dzhungarskogo (Zhetysu) Alatau vo vtoroj polovine XX v. // *Led i*

sneg. – 2013. – № 2 (122) – S. 12-20

14 Huggel C., Haeblerli W., Käab A., Bieri D., Richardson S. Assessment procedures for glacial hazards in the Swiss Alps. // Canadian Geotechnical Journal, vol. 41, No. 6. – 2004. – p. 1068-1083.

15 Petrakov D.A. Selevaja opasnost' lednikovyh ozer i ocenka verojatnosti ih proryva // Trudy mezhdunarodnoj konferencii «Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashhita» Institut «Sevkavgioprovdhoz». – Pjatigorsk, 2008. – С. 309-312.

16 Popov N.V. Issledovanie ozer gljacial'noj zony jugo-vostoka Kazahstana s cel'ju ocenki vozmozhnosti ih proryvov i monitoringa seleopasnosti // Avtoreferat dissertacii kandidata nauk. – M., 1986. – 25 s.

17 Blagoveshhenskij V.P., Kapica V.P., Kasatkin N.E. Sostavlenie kataloga prilednikovyh ozer v Ile (Zailijskom) Alatau // Materialy mezhdunarodnoj konferencii: «Distancionnye i nazemnye issledovanija Zemli v Central'noj Azii». – Bishkek, Kyrgyzstan 8-9 sentjabrja, 2014. – S. 296-299.

18 Bizhanov N.K., Vinohodov V.N., Kulmahanov Sh.K., Nurlanov M.T., Popov N.V. Bezopasnost' i kontrol' gljacial'nyh selej v Kazahstane. – Almaty, 1998. – 101 s.

19 Kaldybayev et al. Glacier change in the Karatal river basin, Zhetysu (Dzhungar) Alatau, Kazakhstan // Annals of Glaciology 57(71). – 2016. – p. 11-19 (in print)

20 Medeu A.R., Tokmagambetov T.G., Kokarev A.L., Plehanov P.A., Plehanova N.S. Gljacial'nye ozera bassejna reki Horgos i ocenka opasnosti ih proryvov // Led i sneg. – 2013. – № 3 (123). – S. 99-106

21 Stokes C. R., et al. Recent glacier retreat in the Caucasus Mountains, Russia, and associated increase in supraglacial debris cover and supra-/proglacial lake development // Annals of Glaciology 46, – 2007. – p. 195-203.

22 Wang X. Et al. Changes of glacial lakes and implications in Tian Shan, central Asia, based on remote sensing data from 1990 to 2010 // Environmental Research Letters 8, – 2013.

23 Fujita K. et al. Potential flood volume of Himalayan glacial lakes // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13. – 2013. – p. 1827–1839.

24 Tihomirov Ju.P., Shevyrtalov E.P. Nekotorye harakteristiki gljacial'nogo selja, proshedshego v bassejne reki Sarkand Kaznii Goskomgidrometa. Sb.9. «Selevye potoki». 1985. – С. 132-138.