

**Центрально-Азиатский институт прикладных исследований
Земли (ЦАИИЗ)**

Материалы

**Международной научной конференции, посвященной
15-летию со дня образования ЦАИИЗ**

**ДИСТАНЦИОННЫЕ И НАЗЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ В
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

Бишкек, КЫРГЫЗСТАН,

17-18 сентября 2019

Central-Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG)

Materials

**International Jubilee Scientific Conference dedicated to the 15th
anniversary of the foundation of CAIAG**

**REMOTE AND TERRESTRIAL RESEARCHES OF THE LAND
IN CENTRAL ASIA**

Bishkek, KYRGYZSTAN,

September 17-18, 2019

УДК 528
ББК 26.323
Д 48

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ)
Германский Центр Исследования Земли (ЦИЗ)
Central-Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG)
German Research Center for Geosciences (GFZ)

Печать сборника осуществлена региональным проектом "Экосистемный подход для адаптации к изменению климата в высокогорных регионах Центральной Азии" Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (Германского общества по международному сотрудничеству) из средств Правительства Германии. Содержание сборника является исключительной ответственностью авторов и может не отражать официальное мнение GIZ.

Д 48 Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии: материалы междунар. Конф. = Remote and Ground-Based Earth Observation in Central Asia: Materials of International Conference. – Б.: МоЮР, 2019. – 268с.

ISBN 978-9967-12-834-7

В сборнике содержатся доклады и материалы участников Международной научной конференции, посвященной 15-летию со дня образования ЦАИИЗ, состоявшейся с 17 по 18 сентября 2019 г. в Центрально-Азиатском Институте прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ), Бишкек, Кыргызстан.

Материалы конференции содержат современные данные о междисциплинарном мониторинге исследования геодинамических процессов Земли и комплексном изучении водных ресурсов и влияния изменений климатических условий для снижения георисков и адаптации населения.

В сборник включены труды ученых, производственников, экспертов, магистрантов, аспирантов в области высокоточного дистанционного зондирования и современных технологий наземных исследований Земли.

Для специалистов, исследующих геодинамику и катастрофы, изменение климата, гляциологию, водные и экологические проблемы, геоэкологию, мониторинг георисков, создание геобазы данных и ИТ инфраструктуру.

The collection contains reports and materials from the participants of the International Scientific Conference dedicated to the 15th anniversary of the establishment of CAIAG, which was held from September 17 to September 18, 2019 at the Central Asian Institute of Applied Geosciences (CAIAG), Bishkek, Kyrgyzstan.

The conference materials contain up-to-date data on interdisciplinary monitoring of the study of the geodynamic processes of the Earth and the comprehensive study of water resources and the impact of changes in climatic conditions in order to reduce geo-risks and adapt the population.

The collection includes the works of scientists, industrialists, experts, students of Master's programs, graduate students in the field of high-precision remote sensing and modern technologies for ground-based Earth exploration.

For specialists studying geodynamics and disasters, climate change, glaciology, water and environmental problems, geo-ecology, geo-risk monitoring, and creating of geo-database and IT infrastructure.

Редакционная коллегия: Др. Б.Молдобеков (ответственный редактор), Др. Й.Лаутерюнг, Ч.Жапаркулова, Др. К.Узакбаев, Проф. Ш.Усупаев, Др. А.Зубович, Др. Р.Усубалиев.
Техническая редакция: Э. Мамбеталиев.

Д 1804040000-19
ISBN 978-9967-12-834-7

УДК 528
ББК 26.323

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие / Preface	7
Молдобеков Б.Д. Лаутерюнг Й. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЦАИИЗ ЗА 2015-2019 ГОДЫ	8
SESSION 1 / СЕКЦИЯ 1 МОНИТОРИНГ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЛИ	18
Pilz Marco, Fleming Kevin, Pittore Massimiliano, Orunbaev Sagynbek STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF THE KURPSAI DAM IN THE KYRGYZ REPUBLIC USING LOW-COST SEISMIC SENSORS	18
Phratharine Sopitthammakul, Malcolm Whitworth, Peter Redshaw LANDSLIDE INVENTORY MAPPING AT THE PAMIR MOUNTAINS SOUTHEAST TAJIKISTAN	19
Деев Е.В, Турова И.В., Позднякова Н.И. ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ	24
Курскеев А.К., Амиров Н.Б. ГРАВИТАЦИОННОЕ ВЛИЯНИЕ ЛУНЫ НА ЗЕМЛЮ КАК ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРЕДИКТОР СЕЙСМИЧНОСТИ	30
Литовченко И.Н., Лютикова В.С. ВЫЯВЛЕНИЕ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕЙСМОАКТИВНОМ РЕГИОНЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ	35
Минаев В., Оймухаммадзода И., Гадоев М. АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ РАЙОНОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ (ПАМИРСКИЙ ОПЫТ)	39
Минченко В.Д. ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИЙ В УЗБЕКИСТАНЕ	43
Нуртаев Б.С, Цай О.Г, Курбанова Д.У. РОЛЬ ДИСЛОКАЦИЙ ТРАНСФОРМНОГО ТИПА В РАЗМЕЩЕНИИ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ КЫЗЫЛКУМАХ	51
Ню В.А., Арифлулова И.И., Суровцева Н.В. МОНИТОРИНГ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ВОЛНИСТЫХ ПОПУГАЙЧИКОВ В ЗОНЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА Г. АЛМАТЫ	55
Позднякова Н.И., Деев Е.В., Дублянский Ю.В., Сокол Э.В., Кох С.Н., Турова И.В., Русанов Г.Г. ТРАВЕРТИНЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ: СВЯЗЬ С ПОДВИЖКАМИ ПО РАЗЛОМАМ И ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ	59

Серазетдинова Б.З. БИОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ АКТИВНОСТИ ЖИВОТНЫХ В ЗОНЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ КАК ОТРАЖЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	64
Серазетдинова Б.З., Амиржанова А.Р. ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ СЕЙСМОБИОМОНИТОРИНГА	68
Силачева Н.В., Кулбаева У.К., Кравченко Н.А. СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОЗОНИРОВАНИЕ Г. АЛМАТЫ В УСКОРЕНИЯХ ГРУНТА	72
Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К. МОДЕЛЬ ОБЪЕМНОГО ОЧАГА И МЕХАНИЗМА ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	78
Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г. АНАЛИЗ РИСКА ОПОЛЗНЯ КОЙ-ТАШ В МАЙЛУУ-СУУ, КЫРГЫЗСТАН	84
Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г. ОПОЛЗНЕВОЙ РИСК В УРОЧИЩЕ КУЛЬМЕН-САЙ (МАЙЛУУ-СУУ)	88
Турова И.В., Деев Е.В., Позднякова Н.И. РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КУРАЙСКОЙ ВПАДИНЫ (КУРАЙСКАЯ ЗОНА РАЗЛОМОВ, ГОРНЫЙ АЛТАЙ)	92
Умурзаков Р.К. ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА ГИДРОГЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЮГО-ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА	97
Усупаев Ш. Э. КАТАСТРОФОВЕДЕНИЕ ПЛАНЕТОСФЕР ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И КЫРГЫЗСТАНА	100
Усупаев Ш. Э. ПРИКЛАДНАЯ НООСФЕРНАЯ ЕДИНАЯ ТЕОРИИ ПОЛЯ ПАЛЕОПРОЧНОСТИ ЗЕМЛИ	116
SESSION 2 / СЕКЦИЯ 2 МОНИТОРИНГ, ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ВЛИЯНИЯ НА НИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ	137
Daiyrov Mirlan, Narama Chiyuki TIMING OF APPEARANCE OF SHORT-LIVED LAKES IN THE NORTHERN PART OF THE TESKEY RANGE	137

- Bolch.T.**
CHARACTERISTICS AND EVOLUTION OF ROCK GLACIERS AND ICE-DEBRIS
LANDFORMS IN THE TIEN SHAN 142
- Saks T., Azisov E., Barandun M., Gafurov A., Hoelzle M., Kabutov X., Kayumov A., Kenzhebaev R., Kronenberg M., Mammairov N., Moldobekov B., Petrov M., Toshpulatov H., Umirzakov G., Usubaliev R.**
PROJECT CICADA (CRYOSPHERIC CLIMATE SERVICES FOR IMPROVED
ADAPATION) 143
- Абдуллаев Б.Д., Умарова З.М., Андреев Д.Н.**
МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН: ДОСТИЖЕ-
НИЯ, ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ 145
- Айдаралиев А.А., Хенебри Ж.М., Чы К., Гройсман П., Томашевска М., Байхо-
джоев М.С., Кельгенбаева К.А.**
ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СООБЩЕСТВА, НАСЕЛЯЮЩИЕ
ВЫСОКОГОРНЫЕ РАЙОНЫ КЫРГЫЗСТАНА 148
- Боконбаев К. Дж. Айдаралиев А. А., Подгорски Д.**
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ В КЫРГЫЗСТАНЕ СОВРЕМЕННЫХ
СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЗА КАЧЕСТВОМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 154
- Боконбаев К. Дж.**
О ПРИРОДНЫХ РЕСУРСАХ И ДЕМОГРАФИИ 159
- Исаев Э.К., Омурзакова Ш.А.**
ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ЗАСУХ И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗ-
СТАНА 164
- Исаев Э.К.**
ОЦЕНКА МОДИФИЦИРОВАННОЙ СХЕМЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПОГРАНИЧ-
НОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ 168
- Кожобаев К.А., Оторова С.Т., Тотубаева Н.Э., Асанов Б.Д.**
МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В
ВОДАХ РЕК НАРЫН, МАЛЫЙ И БОЛЬШОЙ НАРЫН. 173
- Ниязов Дж.Б., Калашникова О.Ю., Мирзохонова С.О.,
Наврузшоев Х.Д.**
ВЛИЯНИЕ МЕТЕОПАРАМЕТРОВ НА СТОК И ПРОГНОЗ ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКЕ
ГУНТ (ПРИТОК РЕКИ ПЯНДЖ, БАССЕЙН РЕКИ АМУДАРЬЯ, ТАДЖИКИСТАН). 178
- Михайлюкова П.Г., Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Азисов Э.А., Усубалиев
Р.А., Коваленко Н.В.**
АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ АЛЬБЕДО ЛЕДНИКОВ КИРГИЗИИ ПО КОСМИЧЕСКИМ
СНИМКАМ SENTINEL-2 MSI 186

- Осмонов А. Т., Азисов Э., Нарама Ч.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИМИ СНИМКАМИ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ТЕРСКОЙ АЛА-ТОО: КАРТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЗА ПЕРИОД 1975-2018. 190
- Подрезова Ю.А., Павлова И.А.**
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ЮГО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА (ТЕМПЕРАТУРА И ОСАДКИ 1930-2017 ГГ.) 194
- Рец Е.П., Белозеров Е.В., Петраков Д.А., Шпунтова А.М.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТАЛОГО СТОКА В ВЫСОКОГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВНУТРЕННЕГО ТЯНЬ-ШАНЯ. 200
- Рыскаль М.О.**
СПУТНИКОВЫЕ КАРТЫ ГОДОВЫХ И СЕЗОННЫХ СУММ ОСАДКОВ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА 206
- Саидов М. С., Фазылов А. Р., Саидов С. М.**
РИСКИ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ СВЯЗАННЫЕ С ДЕГЛЯЦИАЦИЕЙ (ПАМИР) 214
- Турчанинова А.С., Башкова Е.И., Лазарев А.В., Петраков Д.А.
РОЛЬ СНЕЖНЫХ ЛАВИН В ПИТАНИИ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ 219
- Умарова З.М., Ташматов К.А.**
ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ЗАСОЛЕННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В АХАНГАРАНСКОЙ ДОЛИНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ERDAS IMAGINE 226
- Усубалиев Р.А., Осмонов А.Т., Азисов Э. А., Мандычев А.Н., Шабунин А.Г., Калашникова О.Ю., Подрезова Ю.А.**
РЕЖИМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДНИКА ЮЖНЫЙ ЕНЫЛЬЧЕК ПО СОСТОЯНИЮ НА 2018 ГОД. 230
- Чембарисов Э.И., Рахимова М.Н., Мирзокобулов Ж.Б.**
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОРОСИТЕЛЬНЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА 248
- Шпунтова А.М., Усубалиев Р.А., Петраков Д.А.**
СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОЛЕДЕНЕНИЯ МАССИВА АКШЫЙРАК (ВНУТРЕННИЙ ТЯНЬ-ШАНЬ) 252
- Юсупов Ш.С., Шин Л.Ю.**
ОСОБЕННОСТИ РАСПРОТРАНЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПОДЗЕМНЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА 259
- Юсупов Ш.С.**
ВАРИАЦИИ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА CO₂ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗАВИСИМОСТИ ЛУННЫХ ФАЗ И ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 263

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОЛЕДЕНЕНИЯ МАССИВА АК-ШЫЙРАК (ВНУТРЕННИЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

Шпунтова А.М., Усубалиев Р.А., Петраков Д.А.

MODERN CHANGE OF GLACIER COVERED AREA IN THE AK-SHYIRAK MASSIF, INNER TIEN SHAN

Shpuntova A.M., Usubaliev R.A., Petrakov D.A.

Аннотация. Основываясь на интерпретации многовременных спутниковых изображений, мы предположили изменение площади покрытия ледников в массиве Ак-Шырак (Внутренний Тянь-Шань) в последние годы. Темпы потери площади ледников значительно увеличились в начале XXI века. Небольшие ледники отступают быстрее, чем крупные ледники в водосборных бассейнах Кумтора и Карасая. Основной причиной ускорения усадки ледников является статистически значимое повышение температуры воздуха до 1,5 °С с середины XX века во время абляционного сезона. В 1960-2012 гг. ледники Тянь-Шаня сокращались в 4 раза быстрее, чем в мире. По прогнозам изменения региональной температуры воздуха, ледники массива Ак-Шыйрак продолжают свое быстрое сокращение.

Ключевые слова: Тянь-Шань, массив Ак-Шырак, смена ледника, дистанционное зондирование, температура воздуха, абляционный сезон, дешифрирование.

Abstract. Basing on interpretation of multi-temporal satellite images we assessed change of glacier covered area in the Ak-Shyirak massif (Inner Tien Shan) during recent years. Rate of glacier area loss significantly increased in early 21st century. Small glaciers retreat more rapidly in comparison to large glaciers in Kumtor and Karasai catchments. Main reason of accelerating glacier shrinkage is statistically significant increase of air temperature up to 1,5°C since mid-20th century during ablation season. In 1960-2012. Tien Shan glaciers shrank 4 times faster than in the world. According to forecasts of changes in regional air temperature, the Ak-Shyyrak glaciers will continue their rapid decline.

Keywords: Tien Shan, the Ak-Shyirak massif, glacier change, remote sensing, air temperature, ablation season, decryption.

Введение. Современные изменения климата способствуют быстрому и ускоряющемуся сокращению ледников в большинстве горных систем Земли [1], [2]. Многочисленные исследования показывают, что в последние десятилетия схожая ситуация отмечается и на Тянь-Шане, где происходит быстрое сокращение оледенения [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13].

Большинство проведённых оценок было основано на анализе Каталога ледников СССР и данных дистанционного зондирования среднего разрешения (Terra ASTER, Landsat ETM+). Сокращение оледенения было вызвано ростом летних температур воздуха, в некоторых районах совпадающим с уменьшением количества выпадающих осадков [13]. К числу таких районов относится и массив Ак-Шыйрак. Помимо изменений климата, в последние годы на оледенение некоторых ледников массива Ак-Шыйрак воздействует золотодобывающее производство Кумтор Голд Компани. Прямое воздействие горных работ на ледник в зоне карьера заключается в перемещении льда ледника Давыдова, косвенное – в эмиссии пыли, осаждающейся, в том числе, и на поверхности ледников. Степень промышленного воздействия КГК на ледники нередко переоценивается. Отдельные научные исследования, основанные на детальном натурных данных, доказывают незначительность влияния производственной деятельности на запыленность прилегающих к карьере ледников [14].

В данный момент оледенение массива Ак-Шыйрак находится в стадии быстрого сокращения - ежегодные потери площади существенно превышают потери площади в 1977-2003 гг.

Район исследований. Массив Ак-Шыйрак (рис.1) относится к числу 6 основных узлов оледенения на Тянь-Шане. Для Ак-Шыйрака характерна высокая концентрация ледников: они занимают 44% от всей площади массива [15]. Массив расположен на водоразделе двух крупных бассейнов Центральной Азии: ледники северо-западной части массива дают сток в бассейн р. Сырдарья, ледники юго-восточной и северо-восточной частей массива – в бассейн р. Тарим.



Рис.1. Положение района исследования.

По данным метеостанции Кумтор-Тянь-Шань исследуемая территория имеет континентальный климат с низкими температурами в январе (в среднем $-21,4^{\circ}\text{C}$) и достаточно теплыми ($+4,5^{\circ}\text{C}$) в июле. Осадки выпадают преимущественно летом (50 мм/месяц в период с мая по август), зима же является самым засушливым периодом – в период с ноября по февраль выпадает менее 10 мм осадков в месяц, что объясняется влиянием Сибирского антициклона. Годовая сумма осадков составляет 317 мм [16]. Такие климатические условия приводят к широкому распространению холодных ледников – ледников, во всей толще которых ниже деятельного слоя господствует отрицательная температура и таяния не бывает. Для массива Ак-Шыйрак характерно равномерное распределение изолированных друг от друга ледников. Ледники сконцентрированы на сравнительно небольшом пространстве. Характерно разнообразие форм оледенения, к тому же, разные типы ледников находятся в зависимости от условий рельефа и экспозиции склонов [15].

Основная площадь оледенения массива сконцентрирована в бассейнах р.Кумтор, Карасай, Коянды и Джаман-Су.

Методика исследований. Изменения оледенения массива Ак-Шыйрак определялись путём сопоставления площадей ледников на нескольких разновременных космических снимков. Для оценки изменений ледников необходимо максимально точное оконтуривание их границ по разновременным материалам. На сегодняшний день наилучшим инструментом для этого является ручное дешифрирование, автоматическое дешифрирование требует проведения ручных корректировок. Границы ледников проводились путём ручного дешифрирования с учетом требований, указанных в Руководстве по составлению Каталога ледников СССР [17].

Были отобраны лишь те космические снимки, которые были сделаны в ясную погоду, с целью минимизировать ошибки дешифрирования из-за наличия облаков

и теней, и в конце сезон абляции, когда высота снежного покрова минимальна, соответственно возможные ошибки, связанные с проблемой отличия льда от сезонного снежного покрова, также минимизированы.

Для оценки площади ледников в 2018 г. были использованы космические снимки с со спутника Sentinel-2 от 22 июля и 16 августа 2018 г.. Более высокое разрешение снимков Sentinel 2 MSI по сравнению с Landsat-8 OLI, особенно в мультиспектральном виде, делает их важным источником гляциологической информации [18]. В данном исследовании также был использован снимок SPOT-5 как базовый для проверки привязки снимков Sentinel-2 с меньшим пространственным разрешением. При оконтуривании границ каждый ледник рассматривался индивидуально. Около 3% от общей площади оледенения массива Ак-Шыйрак покрыто мореной. На отдельных ледниках доля площади заморененного льда достигает 13%. С учетом трудностей однозначного дешифрирования границ заморененного льда и частого перехода ледника в каменный глетчер без выраженных признаков контакта, ошибка определения площади заморененного льда была оценена в 50%. Суммарная ошибка определения площади оледенения массива Ак-Шыйрак по снимку Sentinel 2 MSI 2018 г. составила 9 км² или 2,7%. Максимальная ошибка при проведении границы ледника была оценена в 0,5 пикселя. Фактические значения погрешности существенно уменьшаются за счет взаимной компенсации положительных и отрицательных ошибок.

Результаты исследований. Площадь оледенения массива Ак-Шыйрак, определенная путем дешифрирования разновременных космических снимков, с учетом ледников, отсутствующих в Каталоге ледников СССР составила: в 2003 г. – 373,2±11,2 км², в 2013 г. – 351,2±5,6 км², в 2018 г. – 335,1±9,0 км² (рис.2).

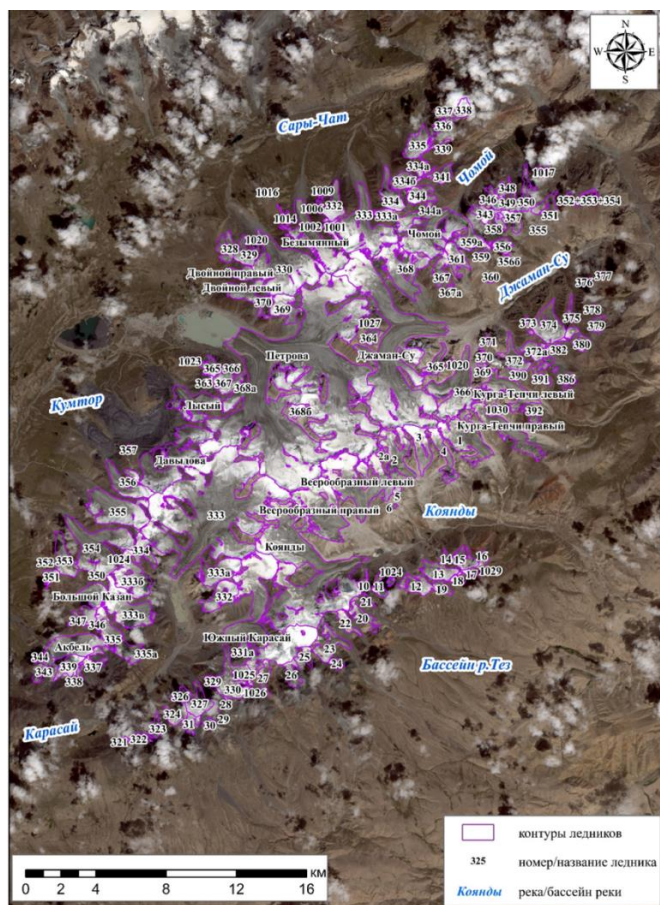


Рис. 2. Оледенение массива Ак-Шыйрак в 2018 г. Контур наложены на космический снимок Sentinel 2 MSI от 16 августа 2018 г.

Площади оледенения массива Ак-Шыйрак в 2003, 2013 и 2018 гг., сгруппированные по речным бассейнам в соответствии с каталогом ледников [19], [20], [21] показаны на рис.3 и в Табл.1. Количество ледников в массиве Ак-Шыйрак закономерно увеличилось со 189 в 2013 г. до 193 в 2018 г. Средний размер ледника уменьшился, соответственно, с 1,86 до 1,74 км².

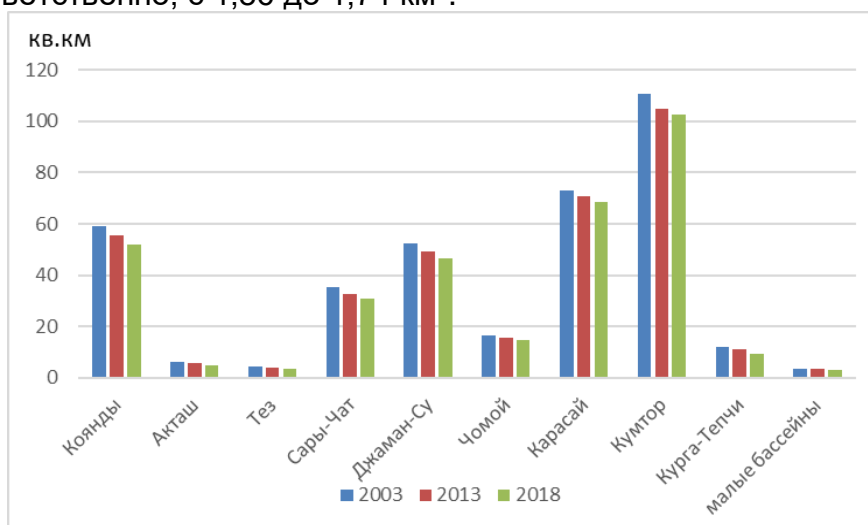


Рис. 3. Площадь оледенения массива Ак-Шыйрак в 2003, 2013 и 2018 гг.

Хотелось бы отметить, что доля ледников бассейнов р.Кумтор и Карасай в общей площади оледенения массива возрастает: если раньше [19], [20], [21] она составляла 48%, то в 2003 г. – 49%, в 2013 г. – 50%, а в 2018 г. – 51%.

Таблица 1. Площадь оледенения и количество ледников основных речных бассейнов массива Ак-Шыйрак

	Количество ледников			Площадь ледников, км ²		
	2003	2013	2018	2003	2013	2018
Коянды	8	8	18	59.1±1.7	55.4±1.0	52,0±1.3
Акташ			8	6.3±0.3	5.5±0.1	4,9±0.3
Тез			9	4.2±0.2	3.8±0.1	3,2±0.2
Сары-Чат	9	1	31	35.1±1.1	32.5±0.4	30,8±0.7
Джаман-Су	8	8	29	52.6±2.0	49.1±1.3	46,4±1.4
Чомой	4	4	15	15.7±0.2	16.6±0.7	14,7±0.6
Карасай	4	6	26	70.6±0.7	73.2±1.8	68,4±1.7
Кумтор	2	5	37	104.5±1.5	110.7±2.6	102,5±2.1
Курга-Тепчи	5	6	16	11.1±0.4	12.2±0.6	9,4±0.4
малые бассейны			4	3.4±0.2	3.0±0.1	2,8±0.2
Ак-Шыйрак	81	89	193	373.2±11.2	351.2±5.6	335,1±9.0

На фоне сокращения площади оледенения происходило увеличение количества ледников. Рост количества ледников объясняется распадом более крупных ледников. В будущем рост количества ледников может прекратиться вследствие исчезновения малых ледников. В 2013-2018 гг. зафиксировано полное исчезновение лишь одного малого ледника: №360 в бассейне р. Кумтор.

В 2013-2018 гг. наибольшее сокращение площади произошло в бассейне Коянды (3,5 км²) и Джаман-Су (2,7 км²); ледники Кумтора потеряли 2,5 км², а Карасая – 2,2 км². Особый интерес вызывают потери площади ледников, подвергнувшихся техногенному воздействию, а это 0,36 км² или 0,1% от общей площади оледенения массива Ак-Шыйрак. Таким образом, потери площади ледников в 2013-2018 гг. за счет техногенного воздействия резко сократились по сравнению с 2003-2013 гг. Темпы сокращения площади ледников (рис.4) в процентах распределились совершенно иначе. Скорость сокращения площади оледенения массива выросла с 0,59% в год в 2003-2013 гг. до 0,93% в год в 2013-2018 гг. В 1977-2003 гг. она составляла 0,33% в год, а в 1943-1977 гг. 0,12% в год [4]. Следует отметить, что столь высокие темпы сокращения площади ледников в последние десятилетия характерны для ряда районов Тянь-Шаня. В оба периода наиболее низкие темпы сокращения площади оледенения наблюдались в бассейнах рек Карасай и Кумтор.

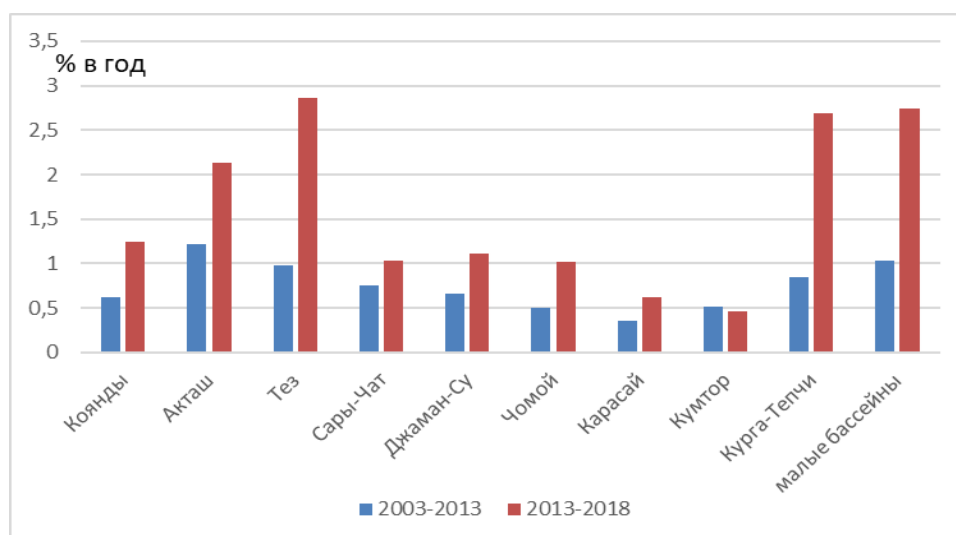


Рис.4. Сокращение площади оледенения массива Ак-Шыйрак в 2003-2013 и 2013-2018 гг. в % в год по основным речным бассейнам

Наиболее высокие относительные темпы сокращения оледенения отмечались в бассейнах с малым размером ледников: Тез, малые бассейны восточного склона массива Ак-Шыйрак, Курга-Тепчи и Акташ. Помимо малых размеров ледников, все эти бассейны объединяет южная и юго-восточная экспозиция.

Следует отметить, что малые ледники южной экспозиции на современном этапе эволюции оледенения находятся в наименее благоприятных условиях из-за большого вклада длинноволновой радиации в энергетический баланс ледников. Основной вклад в сокращение площади оледенения как в 2003-2013, так и в 2013-2018 гг. внесло отступление языков ледников.

В среднем за 2003-2013 ледники Ак-Шыйрака отступили на 110 м, или на 11 м/год, а в 2013-2018 гг. – на 93 м или на 19 м/год. Как и темпы сокращения площади, темпы отступления ледников выросли практически вдвое.

Судя по изменению площади/количества ледников, в 2013-2018 гг. оледенение массива Ак-Шыйрак находилось на этапе интенсивного сокращения. Ежегодные потери площади составляли 0,93%.

Выводы

1. Сокращение горных ледников является глобальной тенденцией, обусловленной направленными изменениями климата. В последние годы в большинстве горных районов отмечается ускорение темпов сокращения ледников. К таким районам относится и массив Ак-Шыйрак.

2. В 2013-2018 гг. оледенение массива Ак-Шыйрак сократилось на 15 км² или 0,93% в год. Сокращение площади сопровождалось отступанием ледников, составившим в 2003-2013 гг. 11 м/год, а в 2013-2018 гг. 19 м/год в среднем для всех ледников массива. Как темпы сокращения площади, так и скорость отступления языков ледников массива Ак-Шыйрак в последние годы резко выросли. Это объясняется быстрым, статистически значимым, ростом температуры воздуха теплого периода (май-сентябрь): если в 1930-1977 гг. она составляла +1,7°C, то в 1977-2003 +2,4°C, в 2003-2013 +3,0°C, а в 2013-2018 гг. +3,2°C. Наиболее быстро сокращаются малые ледники, расположенные на склонах южной экспозиции. Более быстрое сокращение малых ледников по сравнению с большими отмечается по всей высокогорной Азии [7], [22], [23], [24], [25]. Наибольшее сокращение испытали ледники бассейнов Тез, Акташ и Курга-Тепчи, наименьшее – Кумтор и Карасай. Зависимости между темпами сокращения площади ледников и расстоянием до зоны техногенного воздействия не выявлено, ледники Лысый, Сары-Тор и Давыдова в 2013-2018 гг. сокращались чуть медленнее, чем все оледенение массива Ак-Шыйрак.

3. Потери площади ледников за счет прямого техногенного воздействия, т.е. перемещения и перекрытия льда в 2013-2018 гг. уменьшились по сравнению с периодом 2003-2013 гг. В 2003-2013 гг. они составили 1,5 км², в 2013-2018 гг. 0,36 км², т.е. уменьшились в 4 раза. В 2013-2018 гг. за счет прямого техногенного воздействия было потеряно 0,1% от общей площади оледенения массива Ак-Шыйрак или 2,4% от климатически обусловленных потерь льда. Потери массы льда ледников в 2013-2018 гг. составили 4% от климатически обусловленных потерь массы ледников. Перемещенный лед не был потерян, а вошел в состав быстро растущих техногенных каменных глетчеров, расположенных в долинах ледников Лысый и Давыдова. В 2013-2018 гг. площадь этих глетчеров выросла на 1,4 км², что существенно больше сокращения площади ледников Лысый и Давыдова и на 40% меньше сокращения площади оледенения бассейна р.Кумтор.

4. На Тянь-Шане темпы сокращения ледников зависят от их географического положения. В конце XX века наиболее быстро сокращаются ледники Центрального Тянь-Шаня, наиболее быстро – ледники относительно невысоких хребтов по окраинам горной страны [26]. К настоящему моменту скорость сокращения ледников Ак-Шыйрака практически сравнялась со скоростью сокращения ледников Северного и Восточного Тянь-Шаня. В 1960-2012 гг. ледники Тянь-Шаня сокращались в 4 раза быстрее, чем в мире [27]. Судя по существующим тенденциям и прогнозам изменения региональной температуры воздуха, ледники массива Ак-Шыйрак продолжат свое быстрое сокращение.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00520. Авторы благодарны Кумтор Голд Компани за предоставление метеоданных.

Список литературы

- [1]. IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M.C. Marquis, K. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge and New York, 2007, 996 pp.
- [2]. Zemp M., van Woerden, J. (eds.). 2008. Global Glacier Changes: facts and figures. UNEP-WGMS, 88 p.

- [3]. Aizen, V.B., Kuzmichenok, V. A., Surazakov, A.B., Aizen, E.M. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data. *Annals of Glaciology*, 43, 2006, p. 202-213.
- [4]. Aizen, V.B., Kuzmichenok V.A., Surazakov, A.B., Aizen, E.M. Glacier changes in the Tien Shan as determined from topographic and remotely sensed data. *Global and Planetary Change*, 56, 2007, p. 328-340.
- [5]. Bolch T. Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote sensing data: *Global and Planetary Change* 56, 2007, p.1-12.
- [6]. Dyurgerov M.B., 2010. Reanalysis of Glacier Changes: From the IGY to the IPY, 1960-2008. *Data of Glaciological Studies*, publ. 108, p.6-115
- [7]. Hagg W., Mayer C., Lambrecht A., Kriegel D., Azizov E. Glacier changes in the Big Naryn basin, Central Tien Shan. *Global and Planetary Change*, 2012, DOI:10.1016/j.gloplacha.2012.07.010, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.07.010>
- [8]. Kutuzov S., Shahgedanova M. (2009). Glacier retreat and climatic variability in the eastern Terskey-Alatau, inner Tien Shan between the middle of the 19th century and beginning of the 21st century. *Global and Planetary Change* 69, p.59-70
- [9]. Li, B., Zhu, A., Zhang, Y., Pei, T., Qin, C., Zhou, C. Glacier change over the past four decades in the middle Chinese Tien Shan. *Journal of Glaciology* 52, 2007, p.425–432
- [10]. Narama, C., Shimamura, Y., Nakayama, D., Abdrakhmatov, K. Recent changes of glacier coverage in the western Terskey-Alatau range, Kyrgyz Republic, using Corona and Landsat: *Annals of Glaciology*, 43, 2006, p. 223-229
- [11]. Narama, C., Kääh, A., Duishonakulov M., Abdrakhmatov K. Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data. *Global and Planetary Change*, 71, 2010, p.42-54
- [12]. Sorg A., Bolch T., Stoffel M., Solomina O., Beniston M. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Climate Change* 2, 2012, p.725–731
- [13]. Кутузов С.С. Изменение площади и объёма ледников хр. Терской Ала-Тоо во второй половине XX в. // *Лед и Снег*, 2012, вып. 1 (117), с. 5-14.
- [14]. Кузьмиченок В.А. Запыленность атмосферы и ледников в районе месторождения Кумтор (хр. Акшыйрак, Тянь-Шань). // *Лед и снег*, №2, 2012б, с.131-140
- [15]. Бондарев Л. Г. Очерки по оледенению массива Ак-Шыйрак. Фрунзе: Изд-во АН Кирг. ССР. 1963.- 203 с.
- [16]. Петраков Д.А., Лаврентьев И.И., Коваленко Н.В., Усубалиев Р.А. Толщина льда, объём и современные изменения площади ледника Сары-Тор (массив Ак-Шыйрак, Внутренний Тянь-Шань) // *Криосфера Земли*, 2014, т. XVIII, № 3, с. 91–100.
- [17]. Руководство по составлению Каталога ледников СССР. Л., ГИМИЗ, 1966, 154 с.
- [18]. Paul, F.; Winsvold, S.; Kääh, A.; Nagler, T.; Schwaizer, G. Glacier Remote Sensing Using Sentinel-2. Part II: Mapping Glacier Extents and Surface Facies, and Comparison to Landsat 8. *Remote Sens.* 2016, 8, 575
- [19]. Каталог ледников СССР. Т.14 Средняя Азия, вып.1, часть, Л., ГИМИЗ, 1977, 79 с.
- [20]. Каталог ледников СССР. Т.14 Средняя Азия, вып.2, часть6, Л., ГИМИЗ, 1970, 54 с.
- [21]. Каталог ледников СССР. Т.14 Средняя Азия, вып.2, часть 7, Л., ГИМИЗ, 1969, 57 с.
- [22]. Li, B., Zhu, A., Zhang, Y., Pei, T., Qin, C., Zhou, C. Glacier change over the past four decades in the middle Chinese Tien Shan. *Journal of Glaciology* 52, 2007, p.425–432
- [23]. Li, Z., Li, K., Wang, L., 2010. Study on recent glacier changes and their impact on water resources in Xinjiang, north western China. *Quat. Sci.* 30 (1), 96–106
- [24]. Wang, L., Li, Z., Wang, F., Edwards, R., 2014a. Glacier shrinkage in the Ebinur lake basin, Tien Shan, China, during the past 40 years. *J. Glaciol.* 60 (220), 245–254.
- [25]. Wang, L., Li, Z., Wang, F., Li, H., Wang, P., 2014b. Glacier changes from 1964 to 2004 in the Jinghe River basin, Tien Shan. *Cold Reg. Sci. Technol.* 102, 78–83.
- [26]. Sorg A., Bolch T., Stoffel M., Solomina O., Beniston M. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Climate Change* 2, 2012, p.725–731
- [27]. Farinotti D. and 6 others (2015). Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years. *Nature Geosciences*, 7 pp., DOI: 10.1038/NCEO2513

