

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
Институт водных проблем и гидроэнергетики
Тянь-Шанский высокогорный научный центр

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии

Таджикский национальный университет

Диссертационный совет Д 25.20.613

На правах рукописи
УДК: 556.51:551.583(282)(575.23)

Сатылканов Рысбек Абылаевич

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В
ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЕ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВОДНЫЕ
РЕСУРСЫ И РАЗРАБОТКА МЕР К ИХ АДАПТАЦИИ

25.00.27 - Гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек - 2021

Работа выполнена в Тянь-Шанском высокогорном научном центре при Институте водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики

Научный руководитель: **Маматканов Дюшен Маматканович**,
доктор технических наук, заслуженный деятель науки КР, академик НАН КР и АН РТ, главный научный сотрудник ИВПиГЭ НАН КР (25.00.27, 25.00.08)

Официальные оппоненты: **Чембарисов Эльмир Исмаилович**,
доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан (25.00.27);
Кодиров Анвар Саидкулович,
кандидат технических наук, директор Центра инновационного развития науки и новых технологий Национальной академии наук Республики Таджикистана (25.00.27).

Ведущая организация: Кафедра криолитологии и гляциологии Географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, 119991, Российская Федерация, г.Москва, ГСП- 1, Ленинские горы, МГУ, Географический факультет.

Защита диссертации состоится 29 января 2021 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 25.20.613 при Институте водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Республики Таджикистан и Таджикском национальном университете, в режиме он-лайн, по адресам: г.Бишкек, ул.Фрунзе, 533; г.Душанбе, ул.Айни, 14А.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, по адресу: 720033, Кыргызская Республика, г.Бишкек, ул.Фрунзе, 533, тел. +996 312 323728, E-mail: zagivit@mail.ru; г.Душанбе, ул.Айни, 14А. E-mail: owp@tojikiston.com; тел.: +992 (372) 2222320 и на сайте <http://www/vak.kg>.

Автореферат разослан 28 декабря 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета Д25.20.613,
кандидат технических наук



В.В.Загинаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Иссык-Кульская котловина благодаря своему физико-географическому расположению и уникальности озера является стратегически важной для народного хозяйства Кыргызской Республики (КР). Рекреация и интенсификация хозяйственной деятельности на побережье озера и на его водосборе во многом зависят от воздействия изменений климата на водные ресурсы Иссык-Кульской котловины, на водный баланс озера и на его береговую линию.

Изменения климата и водных ресурсов Иссык-Кульской котловины уже в ближайшем будущем могут создать ряд серьезных проблем, требующих незамедлительного решения. В связи с этим важными задачами на современном этапе являются: установление закономерностей влияния климатических изменений на динамику ледников и водные ресурсы рек с целью разработки рекомендаций к их адаптации и последствиям.

Для устойчивого развития КР в условиях изменяющегося климата и для принятия своевременных адаптационных мер необходимо обобщение данных по изменению современных климатических условий и связанных с ними ледниковых и водных ресурсов. В связи с этим тема диссертационной работы актуальна и значима не только для КР, но и для сопредельных государств ЦА. Актуальность темы исследования определяется большой научной и практической важностью принятия научно обоснованных мер по адаптации к климатическим изменениям в Иссык-Кульской котловине с целью сохранения всех ее природных ресурсов.

Связь работы с научными программами и темами. Диссертационные исследования проведены в 2008-2018 гг. Они связаны с тематикой Института водных проблем и гидроэнергетики (ИВПиГЭ) НАН КР по государственным программам "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов", "Стратегия развития Кыргызской Республики до 2020 г." и Закону Кыргызской Республики "Об устойчивом развитии эколого-экономической системы «Иссык-Куль», а также тематикой исследований Тянь-Шанского высокогорного научного центра (ТШВНЦ).

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы – выявить влияние климатических изменений, происходящих в Иссык-Кульской котловине, на водные и ледовые ресурсы и выработать меры к их адаптации.

1. Обобщить имеющиеся сведения по гидрометеорологическим и гляциологическим параметрам Иссык-Кульской котловины и восстановить прерванные ряды наблюдений для установления динамики изменений климата в Иссык-Кульской котловине.
2. На примере многолетнего мониторинга опорного ледника Кара-Баткак (бассейн р. Чон-Кызыл-Суу) установить влияние современных изменений климата на деградацию оледенения, окружающего Иссык-Кульскую котловину.

3. Оценить влияние современных изменений климата на речной сток Иссык-Кульской котловины.
4. Изучить влияние современных изменений климата на уровень озера Иссык-Куль.
5. На примере бассейнов рек Чон-Кызыл-Суу и Жууку дать оценку негативного воздействия изменений климата и выработать адаптационные меры к современным климатическим изменениям.

Научная новизна полученных результатов. В работе проведен комплексный анализ и установлен тренд современных климатических изменений Иссык-Кульской котловины и связанных с ними изменений водных и ледовых ресурсов, в частности:

- Впервые обобщены и проанализированы основные климатические характеристики (температура и влажность воздуха, атмосферные осадки) по результатам восстановленных 70-летних рядов метеорологических наблюдений и установлены их временные тренды.
- На примере ледника Кара-Баткак изучена динамика ледниковых изменений в Иссык-Кульской котловине: абляция, аккумуляция, снегонакопление, баланс массы ледников и их отступление.
- Изучено изменение водности рек на примере бассейна р.Чон-Кызыл-Суу;
- Установлены закономерности колебания уровня озера Иссык-Куль за весь период наблюдений;
- На примере бассейна р.Жууку выработаны адаптационные меры к изменению водных ресурсов Иссык-Кульской котловины.

Практическая значимость результатов. Полученные результаты исследования рекомендованы при разработке народнохозяйственных проектов по рациональному использованию природных ресурсов Иссык-Кульской котловины.

Экономическая значимость результатов.

Разработанные адаптационные меры к изменению климатических условий Иссык-Кульской котловины могут быть полезны при проведении природоохранных мер и позволят сэкономить средства при проектировании строительства рекреационных сооружений.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Восстановление пропущенных гидрометеорологических рядов для обеспечения статистической непрерывности при гидрологических и балансовых расчетах.
2. Результаты анализа выявленных трендов изменчивости климатических, гляциологических и гидрологических характеристик и оценка их влияния на водные и ледовые ресурсы Иссык-Кульской котловины.
3. Связь деградации оледенения с изменением стока рек.
4. Связь изменения уровня озера Иссык-Куль с деградацией оледенения, стоком рек и изменением климата.
5. Адаптационные меры Иссык-Кульского региона к ожидаемым изменениям климата.

Личный вклад соискателя. Диссертационная работа выполнена автором единолично на основе проведения многолетних исследований. Проведенные соискателем исследования базируются на данных наблюдений сети станций Иссык-Кульской котловины, на многочисленных архивных материалах Тянь-Шанской физико-географической станции (1948-2006г.), а также на полученных инструментальными методами и обработанных автором данных Тянь-Шанского высокогорного научного центра, сотрудником и руководителем которого он является с 2007 г.

Апробация результатов исследования. Результаты работы докладывались ежегодно на ученых советах ИВПиГЭ. Материалы диссертации были доложены и одобрены на следующих Международных научно-практических конференциях и семинарах: проекта CHARIS «Вклад льда и снега в сток Высокой Азии по изучению водно-ледовых ресурсов высокогорных районов»: Непал, 2013; Индия, 2014; Казахстан, 2016; Непал, 2017 г.; Бутан, 2018 г.; «Экология и охрана окружающей среды аридной зоны Центральной Азии-2014», Китай; "Изменение климата и управление водными ресурсами в международной перспективе", проект INCO-NET SA, Париж, 2015; Доклад "Тянь-Шанский высокогорный научный центр, его деятельность и результаты" в Университете Киото, Япония, 2018; Глобальные вызовы «Озеленение Гималаев - последствия таяния льда», Университет Бристоль, 2018; Всемирный день воды и Международное десятилетие действий «Вода для устойчивого развития 2018–2028 гг.», Бишкек, 2018, 2019.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликовано 17 научных статей в научных изданиях КР и за рубежом, рекомендованных ВАК КР, с общим Impact factor 26,067 и РИНЦ - 551 баллов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы из 203 названий и 3-х приложений. Объем диссертации 186 страниц, включая 15 таблиц и 51 рисунок.

Благодарности. Автор выражает свою признательность и благодарность за помощь в подготовке работы к защите своему научному руководителю академику НАН КР и АН РТ д.т.н. Маматканову Д.М.; сотрудникам ТШВНЦ и ИВПиГЭ; Романовскому В.В., Кузьмиченку В.А.; доценту МГУ Поповнину В.В.; д.ф.-м.н. Рыбаку О.О.; проф. Ричарду Армстронгу и его команде из Университета Колорадо; проф. Ф. Хёхбрехтсу и его команде из Свободного университета, Бельгия; сотрудникам лаборатории Legos; гидрологам лаборатории Hydroscienses; ученым Института экологии и географии АН КНР, Института метеорологии пустынь Администрации Метеорологии КНР; проф. Кенже Танака и его команде из Университета Киото.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, определены объект и предмет исследований, цель и задачи; сформулированы основные защищаемые положения, практическая и экономическая значимость полученных результатов и изложена структура диссертации.

В первой главе приведен критический анализ опубликованных материалов, использованных при выполнении исследований. Изучению озера Иссык-Куль и его котловины посвящены многочисленные научные исследования и публикации: Л.С. Берг (1930), В.П. Матвеев (1935), С.С.Шульц (1949), Р.Д.Забиров (1978), В.В.Романовский (1990) и многие другие. С 2005 г. исследования уровня оз. Иссык-Куль с помощью спутниковой альтиметрии проводят французские ученые из Лаборатории геофизики океана Обсерватории Средних Перинеев под руководством др. Жан-Франсуа Крето.

Соискателем проанализированы изменения наиболее важных климатических переменных, используемых как индикаторы изменения климата: температура воздуха у поверхности земли и атмосферные осадки по действующим метеостанциям (МС) Балыкчы, Чолпон-Ата, Кызыл-Суу, Чон-Кызыл-Суу и Кара-Баткак. Иссык-Кульская котловина находится в различных ландшафтных зонах, отличающихся величиной увлажненности. Современный этап развития оледенения Внутреннего Тянь-Шаня характеризуется отступанием краевых частей ледников и уменьшением их объема. Эта тенденция (V.V.Aizen et al., 2006) значительно ускорилась с 1977 г. По современным оценкам (Маматканов Д.М., 2006, Кузьмиченок В.А., 2003), после 1972 г объем речного стока в пределах Кыргызстана увеличился в среднем на 6,2%. Хотя сокращение масштабов горного оледенения в ЦА показано в работах V.V.Aizen и др. (2007), T.Bolch (2007), M.Dyurgerov (2010), A.Sorg et al., (2008). S.Kutuzov et al.(2009), W.Hagg et al. (2016), D.Petrakov et al. (2016), динамика деградации оледенения Прииссыккулья изучена далеко недостаточно.

Выполненный критический обзор показал недостаточную изученность деградации оледенения ЦА в условиях изменяющегося климата. Обоснована актуальность выполнения детальных исследований для установления влияния климатических изменений на динамику оледенения, водных ресурсов и уровня озера Иссык-Куль.

Во второй главе изложены как классические методы оценок влияния климатических изменения на природные процессы, протекающие в Иссык-Кульской котловине, так и инициированные автором инновации, разработанные в процессе выполнения исследований. Методическая поддержка и научные консультации по гляциологии, гидрологии, геофизике и моделированию динамики ледников были оказаны ведущими российскими и европейскими учеными. Для обнаружения изменений климата использован статистический анализ всех накопленных за исторический период данных. Из-за отсутствия наблюдений на имеющихся метеостанциях и гидропостах за

ряд лет их пришлось либо восстанавливать классическими методами по рекам-аналогам, либо рассматривать отдельно разные периоды наблюдений.

В ТШВНЦ с 2007 г. проводятся под руководством соискателя комплексные гляциологические и гидрометеорологические исследования в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу (северный склон хребта Тескей-Ала-Тоо), позволяющие изучить процессы формирования стока с ледника Кара-Баткак, принятого в качестве опорного, и определить генетические составляющие стока, увязав их с метеорологическими условиями каждого конкретного года. Длительные наблюдения в бассейне р. Чон-Кызыл-Суу за метеорологическими параметрами и атмосферными явлениями проводятся с помощью специальных приборов на метеорологических площадках: МС Кызыл-Суу (1740 м, с 1951 г.); Чон-Кызыл-Суу (2550 м, с 1948 г.); Кара-Баткак (3300 м, с 1956 г.) и Кара-Баткак (3415 м, с 1956 г.). Метеорологические наблюдения проводятся параллельно как с помощью классической аналоговой аппаратуры, так и автоматическими метеостанциями (АМС): Кара-Баткак на высотах 3300, 3420 и 3460 м; Чон-Кызыл-Суу, 2555 м; Кара-Булун, 1609 м. Точность и достоверность наблюдаемых величин достигалось путем использования однотипных установленных одинаково на всех пунктах приборов, проведением наблюдений по единой методике, в строго определенные сроки и в определенной последовательности. Накопленные очень большие объемы данных обрабатывались с помощью статистических пакетов «Statistica» и табличного процессора «Microsoft Excel».

В 2013 году полностью восстановлен мониторинг современных изменений климата в 3-х разновысотных пунктах бассейна р. Чон-Кызыл-Суу: Озерный стационар Кара-Булун, приозерная зона, 1609 м; Гидрометеорологический стационар Чон-Кызыл-Суу, лесная зона, 2555 м; Гляциологический стационар Кара-Баткак, нивально-гляциальная зона, 3300 м.

Принятая с 2013 г. методика проведения масс-балансовых расчетов через "зимний" и "летний" балансы - (b_w , b_s) стратиграфической STR отчетной системы основана на наиболее точном методе определения аккумуляции и абляции, предложенном М.Б. Дюргеровым (1986). Он заключается в снегомерной съемке по сети точек и денсиметрии в шурфах в период аккумуляции и в отчетах по рейкам в период абляции. Суммарные за сезон по каждой рейке величины абляции систематизировались по высотным 100-метровым зонам, после чего из массива зональных значений абляции выводилось итоговое значение абляции для всего ледника по принципу средневзвешенного, где в качестве весов выступали площади ортогональной проекции каждой высотной зоны. Положение фронтальной отметки ледника ежегодно в конце балансового года фиксировалось посредством детальной GPS-метрии по маршруту вдоль линии фронта. Для анализа распределения массы по всей площади ледника его разбивают на высотно-морфологические зоны (ВМЗ). Это элементарные участки, которые характеризуются

определенным высотным протяжением и однородностью условий рельефа по крутизне и экспозиции (Г.Н.Голубев, 1971). Измерив аккумуляцию и абляцию в точках поверхности ледника, рассчитывались составляющие баланса для ВМЗ, а затем для всего ледника. Баланс массы b_n равен разнице суммарной аккумуляции A_k и суммарной абляции A_b :

$$b_n = A_k - (A_b - F), \quad (1)$$

где F – поправка на внутреннее питание. Для холодных внутриконтинентальных ледников внутреннее питание и наложенный лед играют заметную роль. Если b_n положителен, то возрастает значение наложенного льда (идет инфильтрационно-конжеляционное льдообразование). В годы с отрицательными значениями баланса массы возрастает роль внутреннего питания, достигая величин 30-40% от чистой аккумуляции (В.М.Котляков и др., 1992).

Гидрологический режим изучался в анализе суточных, сезонных и многолетних колебаний уровня, расходов и температуры воды. На створах установлены автоматические датчики уровня воды (логгеры), а параллельно продолжаются наблюдения за уровнем по сваям. Частота измерений расходов воды зависит от амплитуды изменения уровня воды в реке и фиксирует каждые 2-3 см роста или спада уровня. Результаты наблюдений на этих гидрометрических створах были использованы для построения гидрографов стока реки. Для генетического вертикального расчленения гидрографа стока на источники формирования жидкой фазы была заимствована расчётная методика Г.Н.Голубева (1971). Величина каждого источника питания определена в слое стока (мм) с поверхности (площади) ледника. Среднесуточный расход воды переведен в слой стока по формуле:

$$h = \frac{Q * T}{F * 10^3}, \quad (2)$$

где Q – среднесуточный расход воды, м³/с; T – число секунд в расчетном периоде; F – площадь водосбора, км². Затем рассчитанный слой стока по среднесуточным расходам воды суммировался за периоды снегового и ледникового половодья – июль-сентябрь. Дождевое питание определялось как сумма всех осадков, выпавших на поверхность ледника за июнь-сентябрь. Установление аналитических связей между ледниковым стоком и расходной составляющей вещественного баланса ледника Кара-Баткак являлось одной из главных целей данной работы.

Для изучения влияния глобального потепления на температуру воздуха в разновысотных поясах была восстановлена температура воздуха по уравнениям связи МС Кызыл-Суу, Чон-Кызыл-Суу и Кара-Баткак. Для восстановления пропущенных данных по МС Кара-Баткак (3300 м) были построены графики и рассчитаны уравнения связи среднемесячных и годовых температур воздуха с МС Чон-Кызыл-Суу (2550 м). Пропущенные данные для МС Чон-Кызыл-Суу восстановлены по уравнениям связи с использованием длинного ряда наблюдений на МС Кызыл-Суу (1740 м), которая действует с 1951 года.

Мониторинг уровня озера Иссык-Куль проводился с помощью спутниковой альтиметрии путем калибровки показаний спутниковых радаров (François Crétaux et al., 2009), GPS-измерения положения уровня с борта научно-исследовательского судна «Молтур», определение поправок на состояние атмосферы (температура и влажность воздуха, скорость ветра), определение поправок на состояние атмосферы по показаниям стационарной GPS-станции, установленной в офисе ТШВНЦ.

На примере бассейна р.Чон-Кызыл-Суу показано, что для сохранения однородности рядов метеонаблюдений рационально выполнять параллельные наблюдения на аналоговых и автоматических МС.

Третья глава содержит собственные результаты наблюдений соискателя за 2013-2018 гг. и их сравнение с данными аналогичных наблюдений за прошлые годы, чтобы установить изменение детерминирующих метеорологических параметров (температуры, осадков) и компонентов внешнего массоэнергообмена ледника, динамики его пространственного положения и изменения стока р.Кашка-Тор (бассейн р.Чон-Кызыл-Суу).

Установлено, что за последнее десятилетие на ледник Кара-Баткак выпало сезонного снега на 10% меньше, нежели в самый начальный период наблюдений 1958-1968 гг. Изменение атмосферных осадков за 65 лет наблюдений было не столь существенным, однако в целом тоже был выявлен положительный тренд: приrost составил около 25 мм. При этом отмечается значительная вариация количества осадков по годам.

Повышение годовой температуры воздуха на МС Кызыл-Суу (1740 м над уровнем моря) с 1951 по 2015 гг. составило $1,3^{\circ}\text{C}$ ($0,020^{\circ}\text{C}/\text{год}$), на МС Чон-Кызыл-Суу (2555 м) с 1948 по 2015 гг. - $+0,9^{\circ}\text{C}$ ($0,014^{\circ}\text{C}/\text{год}$), на МС Кара-Баткак (3300 м) с 1961 по 2015 гг. - $+1,0^{\circ}\text{C}$, ($0,018^{\circ}\text{C}/\text{год}$). Среднегодовая температура на Кара-Баткаке в 1961-1968 гг. составляла $-3,8^{\circ}\text{C}$, в 2013-2018 гг. $-2,9^{\circ}\text{C}$, т.е. стало теплее на $0,9^{\circ}\text{C}$. Исходя из тенденции изменения температуры воздуха на МС Кара-Баткак, и экстраполируя на будущее тот же линейный тренд, можно предположить, что в нивально-гляциальной зоне бассейна р.Чон-Кызыл-Суу средняя годовая температура воздуха к 2050 г. может повыситься еще на $0,7^{\circ}\text{C}$, а к 2100 г. – на $1,7^{\circ}\text{C}$. Таким образом, температурный режим за анализируемые годы свидетельствует и подтверждает тенденцию к потеплению нивально-гляциальной зоны Тескей-Ала-Тоо.

По данным измерений в 2014-2016 гг. на леднике Кара-Баткак на высоте 3400 м для снега этот коэффициент составил $7,1 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$, для льда - $8,0 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$, а на высоте 3500 м - $6,2 \text{ мм}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$, что несколько выше, чем по А.П.Волошиной (2006). Средняя температура воздуха в период абляции (июнь- сентябрь) в 1961-1968 гг. составила $2,8^{\circ}\text{C}$, а в 2013-2018 гг. $4,9^{\circ}\text{C}$. В среднем период абляции льда в 1961-1968 гг. длился 73 дня (А.Н.Диких и др., 1976), а в 2013-2018 гг. - 100 дней. Это привело к тому, что величина абляции

льда на Кара-Баткак в 2010-2018 гг. (2639 мм вод.экв.) оказалась в среднем на 66% больше, чем в 1956-1968 гг. (1593 мм вод.экв.).

Среднесуточное стаивание льда на языке ледника Кара-Баткак в 1956-1968 гг. составляло 2,5 см (Р.Д. Забиров, 1975); в 2013-2017 гг. - 3,2 см, т.е. увеличилось на 20%. Это объясняется повышением среднегодовой температуры воздуха и увеличением периода абляции. По изменению абляции с высотой в 2015-2017 гг. выявлены четкие отличия вертикальных градиентов - от 0,12 до 0,63 м на каждые 100 м. Они обусловлены различиями в фазах выпадающих летних осадков по высотным зонам: в то время как в нижних частях ледника идет дождь, усиливающий абляцию, в верхних отлагается снег, парализующий таяние. В абляционный период наблюдается тесная связь таяния ледника со средней месячной температурой воздуха, что позволило восстановить ледниковую составляющую стока р. Кашка-Тор за годы отсутствия наблюдений и рассчитать баланс массы ледника.

Возобновленная с 2013/14 балансового года серия наблюдений для расчета баланса массы включала не только итоговую величину вещественного баланса b_n , но и его сезонные составляющие (аккумуляцию b_w и абляцию b_s), распределение этих значений по высотным 100-метровым зонам, а также важные показатели, характеризующие состояние ледника в каждом конкретном году: высоту границы питания ELA и долю области питания AAR. Показано, что ежегодно баланс массы ледника Кара-Баткак принимал отрицательные значения (рис.1), причем компоненты баланса массы тесно коррелируют с

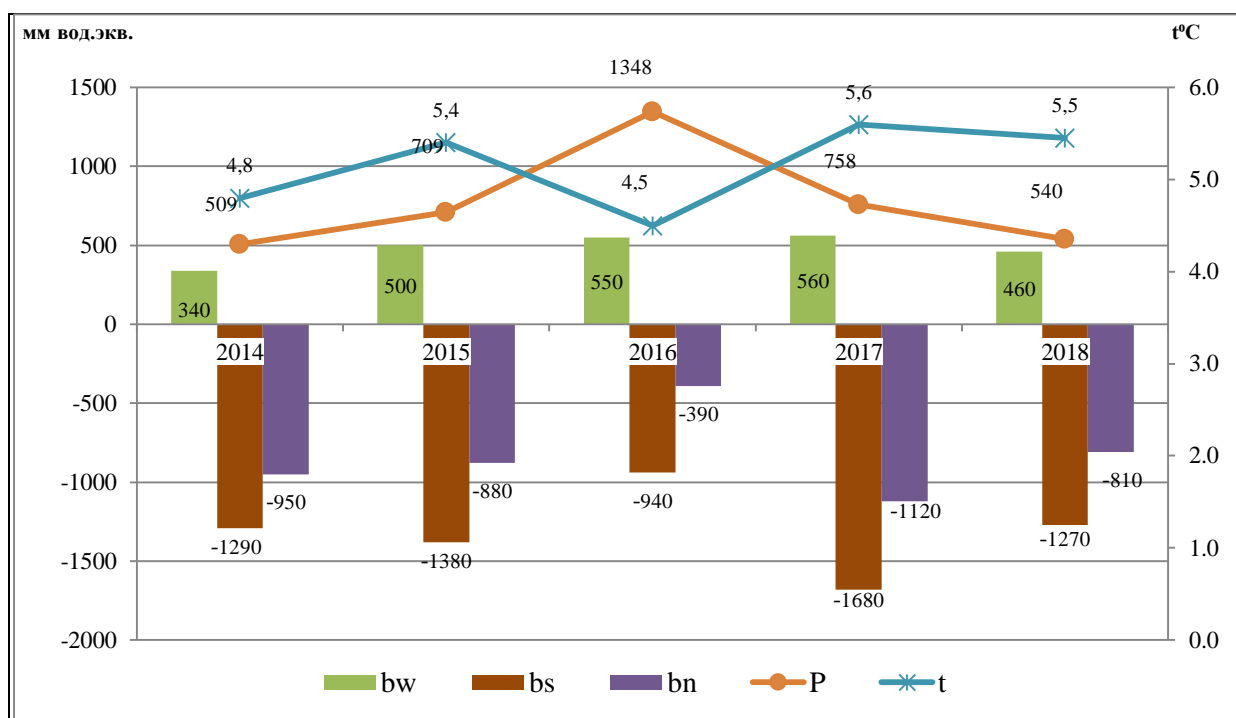


Рисунок 1 - Связь аккумуляции (b_w), абляции (b_s) и баланса массы (b_n) ледника Кара-Баткак в 2013/14-2017/18 балансовые годы с суммой осадков (P, мм) и средней температурой воздуха (t) за период абляции

детерминирующими метеопараметрами - температурой воздуха и осадками. В среднем за пятилетку (2013/14-2017/18) баланс принял отрицательное значение $b_n = -830$ мм вод.экв. при составляющих $b_w = 480$ мм и $b_s = -1310$ мм. Отрицательные значения b_n в последние годы свойственны не только леднику Кара-Баткак, но и другим опорным ледникам Внутреннего Тянь-Шаня – ледникам Сары-Тор и Борду (WGMS, 2020). Отрицательный баланс можно интерпретировать как добавку к речному стоку за счёт деградации оледенения. Однако, при этом происходит и сокращение площади оледенения. Поэтому рост удельной величины "ледниковой добавки" через какое-то время приведёт к уменьшению объема ледникового стока.

Восстановление пропущенных значений баланса массы ледника Кара-Баткака в период 1998-2013 гг. было сделано с использованием гляциологических и климатических данных как до, так и после этого периода (А.С.Губанов, 2017). При восстановлении годовых значений b_n реконструировались лишь его компоненты по выявленным гляциометеорологическим связям между ледником и ближайшей метеостанцией. Для этого использовались метеорологические величины, с помощью которых отдельно вычисляется аккумуляция и абляция (А.Н.Кренке, 1982). На большинстве ледников мира в вариации b_n , как правило главная роль принадлежит абляции.

Надёжным индикатором годового баланса массы ледника служит положение фирновой линии (или границы питания ELA): чем оно гипсометрически ниже, тем благоприятнее для ледника были климатические условия - возрастала снежность и уменьшалось таяние, создавая предпосылки к положительному балансу. Обратную закономерность для ледника Кара-Баткак иллюстрирует ледниковый коэффициент, т.е. отношение площадей аккумуляции и абляции. Полученные данные в период наших наблюдений свидетельствуют о тенденции подъема фирновой линии с высоты 3600-3900 м до высот более 4000 м, при которых баланс твердой массы ледника явно отрицательный, а ледниковый коэффициент меньше 1,0. По своей функциональной роли этот показатель эквивалентен параметру AAR, принятому в WGMS и во всей зарубежной гляциологии. Данные по балансу массы опорных ледников Кара-Баткак, Сары-Тор и Борду нами с 2014 г. ежегодно отправляются во Всемирную службу мониторинга ледников WGMS (Цюрих, Швейцария).

Глобальное повышение температуры оказывает не прямое, а опосредованное влияние на состояние ледников через общую циркуляцию атмосферы, облачность, солнечную радиацию и локальную температуру (В.М. Котляков, 2006). Так, в 2015/16 балансовом году, несмотря на высокую летнюю температуру воздуха, модуль отрицательного баланса массы ледника Кара-Баткак оказывается значительно сниженным. Это объясняется тем, что частые и аномально большие летние осадки (1348 мм) снизили итоговую абляцию льда. Напротив, в 1983/84 балансовом году при невысоком значении

летней температуры воздуха (лишь +5,9°C) редкие летние осадки привели к внушительному отрицательному балансу массы. Тем самым демонстрируется роль не только термического фактора, но и летних снегопадов при формировании итоговой годовой абляции ледника.

В течение всего периода наблюдений 1956/57-2017/18 гг. кумулята баланса массы ледника Кара-Баткак (рис.2) в целом была направлена вниз. Однако до 1973 г. оледенение испытывало потери вещества относительно умеренными темпами, а начиная с 1973 г. наклон кумулятивной кривой баланса массы ледника резко увеличился, отражая кардинальное ускорение скорости сокращения вековых запасов льда. В унисон указанной закономерности ускорения деградации оледенения вследствие потепления изменялся и расход воды р.Чон-Кызыл-Суу, что также отражено на рис.2. В течение всего интервала времени, начиная с 1977 г., расход демонстрирует безусловную тенденцию к возрастанию от модальных среднегодовых значений порядка 4,2 м³/с в начале периода до 6,5 м³/с в последние годы. При этом начальный, относительно устойчивый квазистационарный этап сменился в 1970-ые гг. стадией прогрессирующего роста водности реки, который особенно ускорился после 1994 г. В отдельные годы расходы стали достигать 8 м³/с, чего не наблюдалось на протяжении последних 90 лет.

В настоящее время ледник Кара-Баткак продолжает сокращаться. Экстраполировав данные по опорному леднику Кара-Баткак на хребет Тескей Ала-Тоо, можно охарактеризовать эволюцию оледенения в целом по хребту.

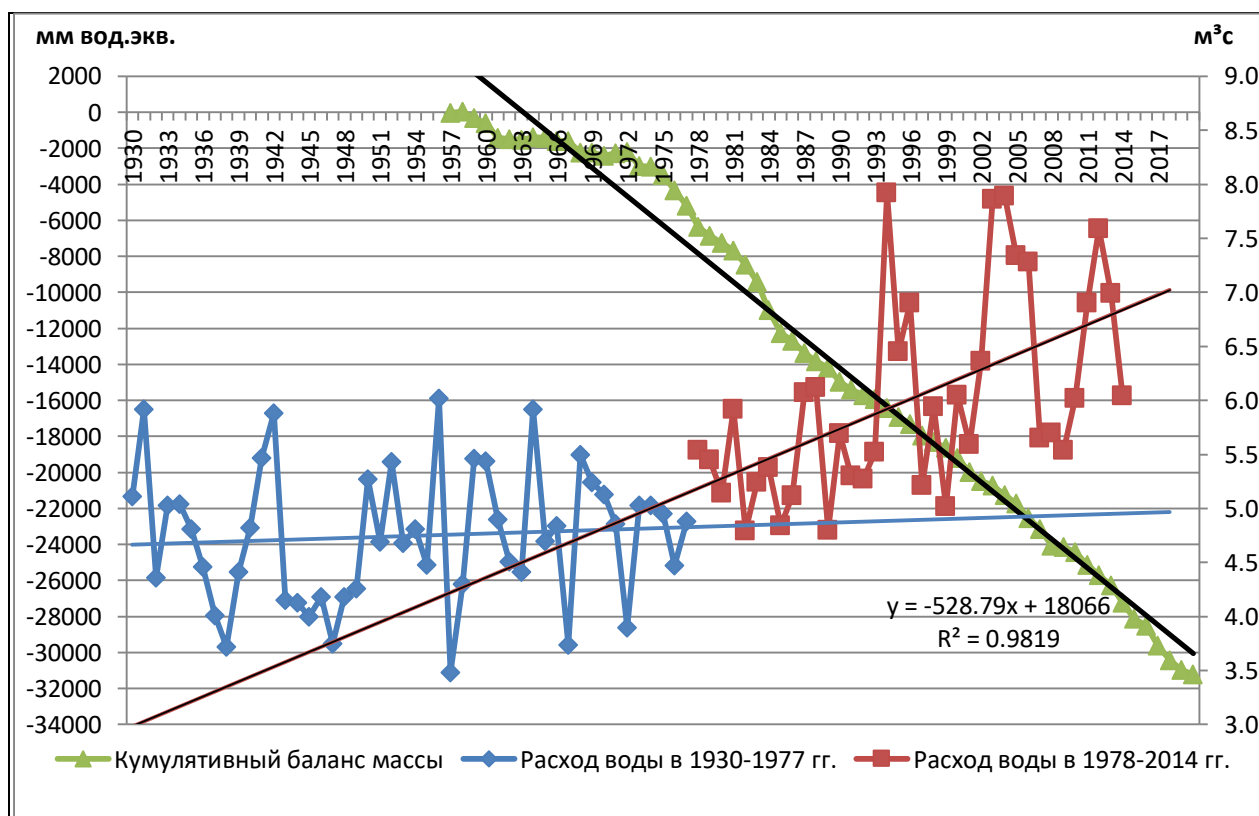


Рисунок 2 - Кумулятивный баланс массы ледника Кара-Баткак и среднегодовые расходы воды р.Чон-Кызыл-Суу

Помимо балансовых характеристик была оценена эволюция размеров опорных ледников, что служит дополнением к масс-балансовым расчетам. Сравнение размеров ледника Кара-Баткак 1947 и 1964 гг. показывает, что конец языка за этот период отступил на 80-100 м (или на 5-6 м ежегодно). По данным GPS-съепок линейное отступление ледника Кара-Баткак за период 1967-2017 гг. составило 450 м, что соответствует осреднённой скорости 9 м/год. Несмотря на то, что планиметрия ледника строго функционально не связана с балансом массы, важно оценить, как современная дегляциация скажется на характеристиках речного стока и водных ресурсах.

Водность ледниковой реки в объёмных единицах зависит от двух переменных: слоя стока (т.е. интенсивности абляции) и действующей площади ледника. Оба этих гидрологических детерминанта влияют на тенденции изменения объёма ледникового стока разнонаправлено. В последнее время слой стока обнаруживает явный тренд к возрастанию из-за представленного выше усиления абляции. А площадь открытой части ледника Кара-Баткак с 1981 г. по 2018 г. сократилась от 3,0 до 2,5 км², т.е. ежегодное уменьшение составляло в этот период 0,014 км². Если открытая часть будет продолжать сокращение теми же темпами, к 2030 г. площадь ледника может уменьшиться до 2,3 км², к 2050 г. – до 2,0 км², а к 2100 г. – уже до 1,3 км².

За 2014-2017 гг. годовой объём ледникового стока составлял в среднем 3452 тыс.м³, т.е. талый сток с 1 км² равнялся 1342 тыс.м³. Ожидания дальнейшего увеличения стока на современном этапе развития оледенения вполне логичны: потепление обеспечивает всё больший и больший слой стаивания снега и льда и, соответственно, больший объём талого стока. Прибавка стока с ледника Кара-Баткак вследствие увеличения слоя стаивания как реакции на повышение летней (июнь-август) температуры воздуха с 2019 г. до 2030 г. может составить 983 тыс.м³. Однако с 2030 г. вектор процесса неминусом должен смениться: эффект убыли ледникового стока вследствие сокращения площади ледника может уже превысить упомянутую прибавку за счет увеличения слоя стаивания. В случае реализации вышеописанного сценария сокращения площади ледника Кара-Баткак и при сохранении существующей тенденции увеличения слоя стока к 2050 г. объём ледникового стока может упасть до 2756 тыс.м³, а к 2100 г. – уже до 1861 тыс.м³. Соответственно, водность ледниковой реки сократится на 12 и 41%.

Результаты расчленения гидрографа стока р.Кашка-Тор за 2013-2017 гг. показали, что генетические составляющие стока изменяются в значительных пределах: сезонная снеговая от 25% до 37% (среднее 29%); ледниковая от 57% до 72% (при среднем 67%); дождевая от 3% до 5,5% (при среднем 4%). Ранее, в 1963-1968 гг., доли этих составляющих в среднем равнялись: снеговая - 45%; ледниковая – 50%; дождевая – 5% (А.Н.Диких, 1982), то есть за истекший период времени доля снегового питания уменьшилась, ледникового – возросла, а дождевого – осталась почти неизменной. Среднегодовой расход воды у истока р.Кашка-Тор увеличился

между сравниваемыми периодами с 0,22 до 0,33 м³/с, водность реки возросла на 50%. В холодное время года с октября по март речной сток формируется главным образом за счет подземных вод, аккумулированных в речных бассейнах за предшествующий теплый период. В створах, расположенных в нижнем течении реки, определённую долю в зимних расходах могут составлять талые ледниковые воды, профильтровавшие сквозь рыхлые аллювиальные отложения уже после выхода за пределы гляциального пояса и задержавшиеся в грунтах до наступления холодов.

В Иссык-Кульской котловине в период 1942-1972 гг. суммарный среднегодовой приток в озеро Иссык-Куль, составлял 118 м³/с, в период 1973-2008 гг. - 128 м³/с (В.В.Романовский и др., 2014), а по нашим данным в период 2011-2017 гг. - 132 м³/с. Увеличение притока в последний период по сравнению с первоначальным периодом с на 14 м³/с или почти на 12% можно отнести на счет увеличения ледникового стока.

Сравнение многолетних годовых расходов р.Чон-Кызыл-Суу (1930-2014 гг.) с ходом уровня оз. Иссык-Куль показывает, что подъемы уровня приходятся на годы с расходами воды более 6,6 м³/с при годовой норме стока 5,3 м³/с (рис. 3). В годы падения уровня озера в 2007-2009 гг. на ГМС Чон-Кызыл-Суу среднемесячная температура воздуха в июнь-август месяцы составили 9,7°С, среднегодовые осадки 572 мм, в годы подъема в 2010-2013 гг., соответственно, 10,6°С и 634 мм.

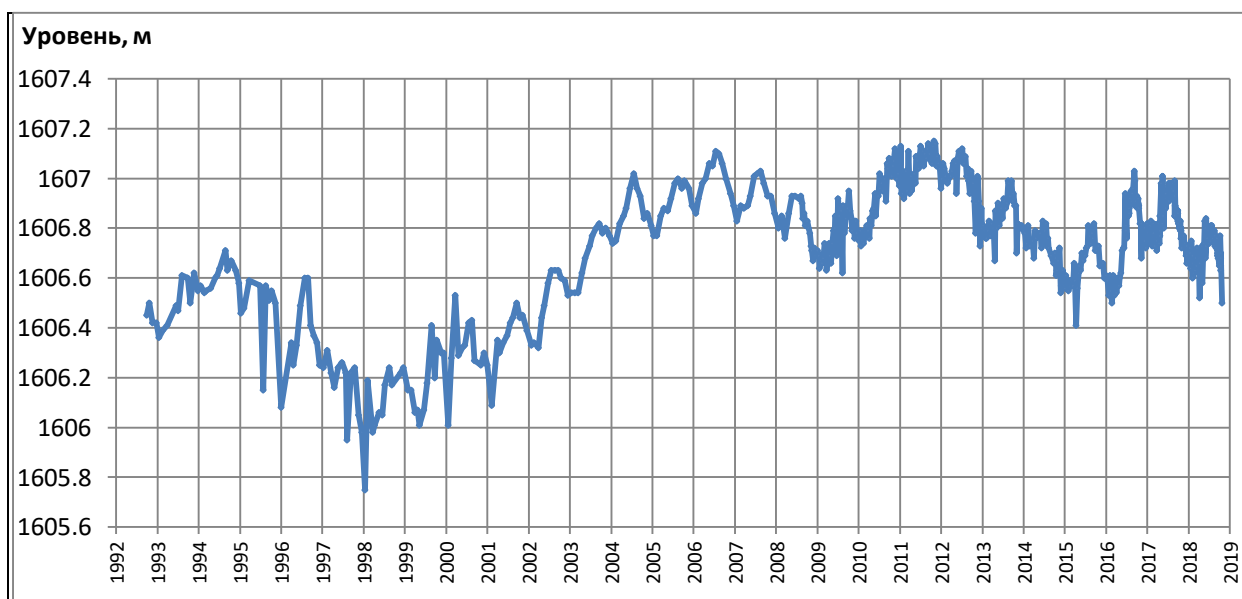


Рисунок 3 - Ход уровня озера Иссык-Куль по дистанционным данным спутников: TOPEX/Poseidon (1992-2005), Jason-1 (2002-2013),-2 (2008-2018),-3 (2016-2018), GFO (1998-2008), ERS-1 (1996-2000),-2 (2003-2011), ENVISAT (2002-2010), SARAL/AltiKa (2013-2018), Sentinel-3a (2016-2018)

Основным потребителем водных ресурсов в Иссык-Кульской котловине является орошаемое земледелие. По состоянию на 2016 г. площадь пашни в Иссык-Кульской котловине была 191600 га. Из-за забора воды на

орошение естественное соотношение между поверхностным и подземным притоком в озеро существенно изменилось. До интенсивного орошения сельхозугодий основными источниками формирования подземных вод в Иссык-Кульской котловине были фильтрационные потери непосредственно из естественных русел рек и за счет подруслового притока.

Однако в общей тенденции в снижении уровня озера существенная роль и антропогенного фактора, связанного с нерациональным использованием водных ресурсов рек, впадающих в озеро. Поступающая в Иссык-Куль вода расходуется также на испарение с его поверхности. Естественный сток, включая подрусловые воды, оценен в 3,86 км³/год (Д.Я. Раткович, 1977). Сезонные колебания уровня с подъемом летом и осенью и падением зимой составляли в этот период 10 см. После подъема уровня оз. Иссык-Куль в июле-августе 2013 г. до 1607 м в апреле 2015 г. последовал его спад до 1606,4 м (рис.3), что объясняется тем, что в 2014 г., как было отмечено выше, на леднике Кара-Баткак наблюдался очень небольшой запас воды в сезонном снеге (273 мм вод.экв.); осадков (442 мм) было на 47% меньше и сравнительно невысокая летняя температура воздуха 4,8°С (при средней температуре воздуха +5,1°С в период абляции 2013-2017 гг.). Значительный подъем уровня озера Иссык-Куль в августе 2016 г. до отметки 1607,05 м следует связать с аномально большим количеством осадков в это время.

Амплитуда колебаний уровня озера обусловлена реактивным фактором, воздействие которого проявляется в том, что при повышении или понижении уровня соответственно увеличивается или уменьшается объем потерь воды из озера за счет испарения. Поэтому высокие уровни стремятся понизиться, а низкие повыситься. Исходя из этого, можно прогнозировать уровень озера при сохранении или сокращении современного объема потерь, связанных с изменением метеорологических условий в котловине и с забором воды на орошение.

Четвертая глава посвящена разработке адаптаций к негативным последствиям, связанными с изменениями климата в Иссык-Кульской котловине на примере бассейна р.Жууку. Для Иссык-Кульской котловины важно то, что ледники котловины, являясь возобновляемым источником пресной воды, выступают в качестве долгосрочного резерва, и поэтому они могут обеспечить водой котловину во время сухих сезонов и лет. Принятие мер по минимизации потерь воды путем эффективного управления и способа полива посевных площадей зерновых культур и многолетних трав Иссык-Кульской области только до 30% позволило бы увеличить в вегетационный период сброс воды в оз.Иссык-Куль на 1,25 км³. По нашим расчетам такие мероприятия по всем посевным площадям зерновых и многолетних культур котловины способствовали бы ежегодному росту уровня в озера на 202 мм. Поскольку основной расходной статьёй баланса подземных вод в Иссык-Кульском бассейне является подземный отток в озеро, в основу управления режимом подземных вод и стабилизации уровня оз.Иссык-Куль должно быть

положено регулирование поверхностного стока рек и организация оптимального орошения полей путем модернизации технологий полива сельхозкультур.

Наиболее серьезная угроза изменения климата для Иссык-Кульского бассейна – сокращение стока рек, вызванное дальнейшим сокращением оледенения в Иссык-Кульской котловине. Экономия поверхностного стока за счет повышения КПД оросительных систем приведет к уменьшению питания подземных вод, что со временем также уменьшит приток в озеро. Последствия сокращения речного стока могут смягчаться путем уменьшения безвозвратных потерь и задержкой во времени процесса уменьшения притока подземных вод в озеро. В работе предлагается математическая модель для количественных оценок влияния ирригационных систем на подземный приток в оз. Иссык-Куль. На основе предложенной модели рассматриваются 3 сценария развития орошения в бассейне реки Чон-Кызыл-Суу: 1) Увеличение КПД оросительной системы с 0,38 до 0,6 при сохранении прежней вододачи; 2) Использование капельного орошения на всей орошаемой территории системы реки Чон-Кызыл-Суу; 3) При сокращении речного стока недостаток воды покрывается водозабором подземных вод из резервных скважин. С экологической точки зрения наиболее перспективен сценарий 2, который минимизирует безвозвратные потери и водозабор поверхностных вод. Но этот сценарий требует больших капитальных затрат. Значительно меньшие капитальные затраты требуются для бурения и оборудования резервных водозаборных скважин, но этот подход не может обеспечить минимальных безвозвратных потерь водных ресурсов. Использование предлагаемой методики позволяет определять задержку изменений притока подземных вод в озеро Иссык-Куль для разных зон. При этом могут быть рассмотрены различные сценарии смягчения последствий изменения климата.

В целях обеспечения земель нового орошения 1460 га в долгосрочной перспективе поливной водой посевных площадей и частных земельных наделов жителей сёл Саруйского, Дарханского и Жаргылчакского айыльных аймаков Жети-Огузского района Иссык-Кульской области, а также для освоения гидроэнергетического потенциала реки ОАО «Кыргызсуудолбоор» при участии соискателя разработано ТЭО проекта "Строительство бассейна сезонного регулирования на реке Жууку". Проектом планируется строительство бассейна сезонного регулирования (БСР) с полезным объемом 16 млн.м³ на реке Жууку.

Потребление электроэнергии в Жети-Огузском районе в 2018 г. увеличилось на 50% по сравнению с 2001 г. Поэтому для устойчивого обеспечения спроса электроэнергии района и при имеющемся пока гидроэнергетическом потенциале предлагается в ближайшей перспективе построить малые ГЭС (МГЭС) в районе. Технический гидроэнергетический потенциал р.Жууку определялся по результатам инструментального обследования реки в среднем и нижнем её течении. Принимая расход воды

для этих МГЭС равным 0,75 от общего расхода на гидропосту р.Жууку были определены установленные мощности МГЭС: Жууку-1 - 400 кВт; Жууку-2 - 1800 кВт; Жууку-3 - 2100 кВт. Каскад этих МГЭС Жууку с общей установленной мощностью 4300 кВт может выработать в течение года около 21,5 млн. кВт-час электроэнергии, что составляет 21% потребность района в электроэнергии.

Строительство малых ГЭС на этой реке необходимо начать в ближайшие годы, чтобы максимально использовать гидроэнергетический потенциал до наступления прогнозного сценария уменьшения стока реки.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа климатических предикторов на действующих МС Иссык-Кульской котловины установлен положительный тренд температуры воздуха на 1,0-1,3⁰С по всем высотным зонам за последние 70 лет при квазистационарном состоянии атмосферных осадков.
2. По модернизированной принятой ныне методике оценки баланса массы опорного ледника Кара-Баткак установлена его деградация с 1956 г. по 2018 г. Объем ледника за этот период уменьшился почти на 86 млн. м³, что эквивалентно 30 м слоя стока со всей поверхности. Площадь открытой части ледника Кара-Баткак с 1981 по 2018 г. сократилась на 17%; фирновая линия поднялась с высоты 3600-3900 м до более 4000 м.
3. Разницу в изменении баланса массы ледника Кара-Баткак за последние десятилетия предложено интерпретировать как добавку к речном стоку за счёт деградации оледенения. Этим обусловлено увеличение расходов воды в р.Чон-Кызыл-Суу от модальных среднегодовых значений 4,2 м³/с до 6,5 м³/с в период 1936-2015 гг. Предложено экстраполировать данные ледниковой составляющей стока исследованного бассейна на другие реки ледниково-снегового типа.
4. Установлена взаимосвязь временного хода уровня оз.Иссык-Куль с ростом температуры воздуха, расходом воды в реках и водозабором на орошение. Подъем уровня озера на 1,0 м с 1998 по 2012 г. объясняется повышением на 0,6⁰С среднемесячной температуры воздуха в период абляции ледников; заметным увеличением речного стока за счет талых вод; выпадением осадков среднем на 35 мм выше нормы; снижением в 2 раза объема забора воды на орошение по сравнению с 1970-1980 гг.
5. Для адаптации к изменяющемуся климату в основу управления режимом подземных вод и стабилизации уровня оз.Иссык-Куль рекомендован эффективное регулирование поверхностного стока рек и организация оптимального орошения полей путем модернизации технологий полива. Разработаны теоретические модели оценки изменений притока подземных вод в оз.Иссык-Куль. С экологической точки зрения рекомендован наиболее перспективный сценарий капельного орошения, который минимизирует безвозвратные потери и водозабор поверхностных вод.

6. В условиях увеличения ледниковой составляющей стока рек на примере р.Жууку рекомендовано строительство малых ГЭС для максимального использования гидроэнергетического потенциала до наступления прогнозного сценария уменьшения стока.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Влияние изменений климата на горную экосистему Тянь-Шаня (на примере Иссык-Кульского и Чуйского басс.) [Текст] / –Бишкек: Ас-Нур, 2014.– 558 с.
2. Satylkanov, Rysbek. "Hydrologic Controls and Water Vulnerabilities in the Naryn River Basin, Kyrgyzstan: A Socio-Hydro Case Study of Water Stressors in Central Asia". [Текст] / Hill, Alice F., Satylkanov, Rysbek et al. // *Water* 9, 2017, no. 5: 325. <http://www.mdpi.com/2073-4441/9/5/325>. pp.165–181.
3. Satylkanov Rysbek. Comparison of drought-sensitive tree-ring records from the Tien Shan of Kyrgyzstan and Xinjiang (China) during the last six centuries. [Текст] / Hui-Qin Wang, Satylkanov Rysbek et al. // *Advances in Climate Change Research*. 2017. Beijing, China. DOI: 10.1016/j.accre.2017.03.004. pp.18–25.
4. Satylkanov, Rysbek. Ablation of Ice and Snow of Kara-Batkak Glacier and Its Impact on River Flow. [Текст] / Satylkanov, R. // *Journal of Climate Change*, Vol. 4, No. 2 (2018), pp.1–14.
5. Satylkanov, Rysbek. Absolute Calibration or Validation of the Altimeters on the Sentinel-3A and the Jason-3 over Lake Issykkul (Kyrgyzstan)[Текст] / Jean-François Crétaux, Muriel Bergé-Nguyen, Rysbek Satylkanov et al. // *Remote Sens*. 2018, 10, 1679. pp.189–206.
6. Satylkanov, Rysbek. The Radial Growth of Schrenk Spruce (*Picea schrenkiana* Fisch. et Mey.) Records the Hydroclimatic Changes in the Chu River Basin over the Past 175 Years [Текст] / Ruibo Zhang, Rysbek Satylkanov et al. // *Forests* 2019, 10, 223, doi:10.3390/f10030223. pp.152–163.
7. Satylkanov, Rysbek. August–September runoff variation in the Kara Darya River from juniper (*Juniperus turkestanica*) tree rings in the Pamirs-Alai Mountains, Kyrgyzstan, back to 1411 CE [Текст] / Heli Zhang, Rysbek Satylkanov et al. *ACTA GEOLOGICA SINICA (ENGLISH EDITION)* Издательство: Geological Publishing House (Китай) 2020, Том 94, Выпуск 3, С. 682-689.
8. Satylkanov, Rysbek. Measuring and inferring the ice thickness distribution of four glaciers in the Tien Shan, Kyrgyzstan [Текст] / Lander Van Tricht, Philippe Huybrechts, Rysbek Satylkanov et al. *Journal of Glaciology* 2020, DOI: 10.1017/jog.2020.104. pp. 1-18.
9. Сатылканов, Р.А. Временная изменчивость атмосферных осадков Иссык-Кульской котловины [Текст] / Сатылканов Р.А. // Вестник Забайкальского государственного университета № 10, 2017. Чита, РФ. с. 29-37.
10. Сатылканов, Р.А. Модельные исследования эволюции горных ледников на примере ледника Сары-Топ (Внутренний Тянь-Шань) [Текст] / О.О.

- Рыбак, Р. Сатылканов и др. // Криосфера Земли, 2019, т. XXIII, № 3, с. 33–51.
11. Сатылканов, Р.А. Современная динамика основных параметров климата Иссык-Кульской котловины. [Текст] / Сатылканов, Р.А. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана № 9, 2016. с. 23-34.
 12. Сатылканов, Р.А. Динамика оледенения в условиях современного изменения климата на примере ледника Кара-Баткак, хребет Тескей Ала-Тоо. [Текст] / Бажанова Л.В., Сатылканов Р.А., Эрменбаев Б.О. // Вестник КРСУ № 5, Бишкек, 2017. с. 189-194.
 13. Сатылканов, Р.А. Ледовые ресурсы Тянь-Шаня в забронированных ледниках. [Текст] / Шатравин В.И., Маматканов Д.М., Сатылканов Р.А. и др. // Журнал Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 3, 2018, с. 113-119.
 14. Satylkanov, R. Uranium isotopes in ice's and waters of the upstream of the Naryn river. [Текст] / Tuzova T.V., Satylkanov R., Shatravin V., Watkins D. // Science, New Technology and Innovations of Kyrgyzstan. 2018, № 3. pg. 125-130.
 15. Сатылканов, Р.А. Связь уровня озера Иссык-Куль с его испаряемостью и влажностью воздуха. [Текст] / Сатылканов Р.А., Маматканов Д.М., Чонтоев Д.Т. // Журнал Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 4, 2019, с. 65-74.
 16. Сатылканов, Р.А. Анализ изменения запасов воды в сезонном снеге на опорном леднике Кара-Баткак. [Текст] / Саякбаев Д.Д., Сатылканов Р.А., Шатравин В.И. // Журнал Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 4, 2019, с. 75 – 80.
 17. Сатылканов, Р.А. Изменение подходов к расчету баланса масс ледников Внутреннего Тянь-Шаня. [Текст] / Эрменбаев Б., Маматканов Д., Сатылканов Р., Поповнин В.В. // Журнал Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 4, 2019, с. 116-121.
 18. Сатылканов, Р.А. Оценка изменений притока подземных вод в озеро Иссык-Куль под действием изменений климата. [Текст] / Маматканов Д., Литвак Р.Г., Сатылканов Р.А., Немальцева Е.И. // Интернет-журнал ВАК Кыргызской Республики, 2020.

РЕЗЮМЕ

Сатылканов Рысбек Абылаевичтин диссертациясынын темасы: "Ысык-Көл ойдуңун азыркы климаттык өзгөрүүлөр, анын суу ресурстарына таасири жана ылайыкташуу чараларын иштеп чыгуу", техникалык илимдердин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн 25.00.27 - Кургак жердеги гидрология, суу ресурстары, гидрохимия адистиги боюнча

Ачкыч сөздөр: климаттык өзгөрүүлөр, Ысык-Көл ойдуңу, мөңгүлөрдүн деградациясы, мөңгүнүн агып чыгышы, топтолуу, абляция, массалык тең салмактуулук, көл деңгээли, климаттын өзгөрүшүнө адаптация.

Изилдөөнүн объектиси - Ысык-Көлойдуну.

Изилдөө предметтери - суужана муз ресурстары, метеорологиялык шарттар.

Диссертациялык изилдөөнүн негизги максаты - Ысык-Көл ойдуңунда болуп жаткан климаттык өзгөрүүлөрдүн суу жана муз ресурстарына тийгизген таасирин аныктоо жана аларды адаптациялоо боюнча иш-чараларды иштеп чыгуу.

Изилдөө методдору: инструменталдык, талаа, гляциогидрометеорологиялык өлчөөлөр, СТР стратиграфиялык тутумун колдонуп мөңгүлөрдүн массалык балансын баалоо, математикалык моделдөө жана статистикалык иштеп чыгуу.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы:

1. Биринчи жолу климаттын негизги мүнөздөмөлөрү (абанын температурасы жана нымдуулук, атмосфералык жаан-чачын) жалпыланып, метеорологиялык байкоолордун калыбына келтирилген 65 жылдык сериясынын натыйжалары боюнча талданды, алардын өзгөрүү тенденциясы белгиленди;
2. Кара-Баткак мөңгүсүнүн мисалында 1956-2018-жылдар аралыгында Ысык-Көл ойдуңундагы мөңгүлөрдүн деградациясы аныкталды;
3. Чоң-Кызыл-Суу жана Жууку дарыяларынын мисалында тоо суулары менен мөңгүлөрдүн динамикасынын ортосундагы байланыш аныкталды;
4. Бүткүл байкоо жүргүзүү мезгилинде Ысык-Көлдүн деңгээлинин термелүүсүнүн мыйзам ченемдүүлүктөрү белгиленди;

5. Жууку дарыясынын бассейнинин мисалында, Ысык-Көл ойдуңунун суу ресурстарына климаттын өзгөрүшүнүн терс таасирине адаптациялоо иш-чаралары иштелип чыккан;
6. Математикалык моделдөөнүн жардамы менен жер астындагы суулардын режимин башкаруунун жана Ысык-Көлдүн деңгээлин турукташтыруунун негизи катары Ысык-Көлгө куюлуучу жер астындагы суулардын өзгөрүүсүн баалоонун теориялык моделдери иштелип чыккан.

Колдонуу даражасы: дарыялардын үстүңкү агымдарын натыйжалуу жөнгө салуу жана агын суунун азайышынын болжолдуу сценарийи башталганга чейин айылчарба өсүмдүктөрүн сугаруу технологияларын жаңыртуу жана чакан дарыялардын гидроэнергетикалык потенциалын өнүктүрүү жолу менен талааларды оптималдуу сугарууну уюштуруу сунушталат.

Колдонмолор: Кургак жердеги гидрология, суу жана мөңгү ресурстарын болжолдоо жана суу ресурстарын натыйжалуу башкаруу.

РЕЗЮМЕ

диссертации Сатылканова Рысбека Абылаевича "Современные изменения климата в Иссык-Кульской котловине, их влияние на водные ресурсы и разработка мер к их адаптации" на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **25.00.27** - Гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия

Ключевые слова: климатические изменения, Иссык-Кульский бассейн, деградация оледенения, ледниковый сток, аккумуляция, абляция, баланс массы, уровень озера, адаптация к изменениям климата.

Объект исследования – Иссык-Кульская котловина.

Предмет исследования – климатические изменения, водные и ледовые ресурсы, метеорологические условия.

Основная цель диссертационных исследований - выявить влияние климатических изменений, происходящих в Иссык-Кульской котловине, на водные и ледовые ресурсы и выработать меры к их адаптации.

Методы исследования: инструментальные, полевые, гляциогидрометеорологические измерения, оценка баланса массы ледников по стратиграфической системе STR, математическое моделирование, статистическая обработка.

Полученные результаты и их новизна:

1. Впервые обобщены и проанализированы основные климатические характеристики (температура и влажность воздуха, атмосферные осадки) по результатам восстановленного непрерывного 65-летнего ряда метеорологических наблюдений установлен тренд их изменения;
2. На примере ледника Кара-Баткак установлена деградация оледенения в Иссык-Кульской котловине в период 1956-2018 гг;
3. На примере рек Чон-Кызыл-Суу и Жууку выявлена связь водности горных рек с динамикой оледенения;

4. Установлены закономерности колебания уровня озера Иссык-Куль за весь период наблюдений;
5. На примере бассейна р.Жууку выработаны адаптационные меры к негативному воздействию изменений климата на водные ресурсы Иссык-Кульской котловины;
6. С помощью математического моделирования в основу управления режимом подземных вод и стабилизации уровня оз.Иссык-Куль разработаны теоретические модели оценки изменений притока подземных вод в оз.Иссык-Куль.

Степень использования: рекомендованы эффективное регулирование поверхностного стока рек и организация оптимального орошения полей путем модернизации технологий полива сельхозкультур и освоение гидроэнергетического потенциала малых рек до наступления прогнозного сценария уменьшения стока.

Область применения: Гидрология суши, прогнозирование водных и ледниковых ресурсов и эффективное управление водных ресурсов.

SUMMARY

of the dissertation of Satylkanov Rysbek Abylaevich "Modern climate changes in the Issyk-Kul basin, their impact on water resources and the development of measures for their adaptation" for the degree of candidate of technical sciences in specialty **25.00.27** - Land hydrology, water resources, hydrochemistry

Key words: climatic changes, Issyk-Kul basin, degradation of glaciation, glacial runoff, accumulation, ablation, mass balance, lake level, adaptation to climate change.

The object of research- the Issyk-Kul basin.

Research subjects - water and ice resources, meteorological conditions.

The main goal of the dissertation research - Identify the impact of climatic changes taking place in the Issyk-Kul basin on water and ice resources and to develop measures for their adaptation.

Research methods: instrumental, field, glacio-hydrometeorological measurements, assessment of the mass balance of glaciers using the STR stratigraphic system, mathematical modeling and statistical processing.

The results obtained and their novelty:

1. For the first time, the main climatic characteristics (air temperature and humidity, atmospheric precipitation) were summarized and analyzed, based on the results of the restored 65-year long series of meteorological observations, a trend of their change was established;
2. On the example of the Kara-Batkak glacier, the degradation of glaciation in the Issyk-Kul depression in the period 1951-2018 was established;
3. On the example of the Chon-Kyzyl-Suu and Zhuuku rivers, the connection between the water content of mountain rivers and the dynamics of glaciation was revealed;
4. Regularities of fluctuations in the level of Lake Issyk-Kul were established for the entire observation period;

5. Using the example of the Zhuuku river basin, adaptation measures have been developed to the negative impact of climate change on the water resources of the Issyk-Kul basin.
6. With the help of mathematical modeling, theoretical models for assessing changes in groundwater inflow into Lake Issyk-Kul have been developed as the basis for the management of the groundwater regime and stabilization of the level of Lake Issyk-Kul.

Degree of use: recommended effective regulation of surface river runoff and organization of optimal irrigation of fields by modernizing crop irrigation technologies and developing the hydropower potential of small rivers before the onset of the forecast scenario of a decrease in runoff.

Applications: Terrestrial hydrology, water and glacial resource forecasting and efficient water resource management.